

ГИС БАЗИРАНИ МОДЕЛ КЛАСИФИКАЦИЈЕ КЛИМЕ ЗАСНОВАН НА ХИДРОТЕРМИЧКОМ КОЕФИЦИЈЕНТУ Г. Т. СЕЉАНИНА

Даворин Бајић^{1*} и Горан Трбић¹

¹Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

Сажетак: У овом раду приказан је иновативни методолошки поступак за класификацију климе. Аутори су развили ГИС базирани модел класификације климе заснован на хидротермичком коефицијенту Г. Т. Сељанина (*HTC*). Улазни параметри на основу којих се врши класификација су вриједности *HTC* и број мјесеци са просјечним температурама ваздуха већим од 10°C. Развијени ГИС модел омогућава аутоматизовану класификацију климе за било које подручје или временско раздобље. Поред разраде и описа модела у раду је дат примјер класификације климе на студији случаја за Босну и Херцеговину.

Кључне ријечи: ГИС, класификација климе, хидротермички коефицијент, вегетациони период.

Original scientific paper

EGIS-BASED MODEL OF CLIMATE CLASSIFICATION BASED ON HYDRO-THERMAL COEFFICIENT OF G. T. SELYANINOV

Davorin Bajić^{1*} and Goran Trbić¹

¹University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: This paper presents an innovative methodological procedure for climate classification. The authors have developed a GIS-based model of climate classification based on hydro-thermal coefficient of G. T. Selyaninov (*HTC*). The input parameters based on which classification is done are the *HTC* values and the number of months with average air temperatures higher than 10°C. The developed GIS model enables automated climate classification for any area or time period. In addition to the elaboration and description of the model, the paper gives an example of climate classification on a case study for Bosnia and Herzegovina.

Key words: GIS, climate classification, hydro-thermal coefficient, growing season.

УВОД

Развој ГИС технологија у великој мјери је олакшао развој нових и примјену постојећих климатолошких модела. ГИС модели засновани на анализама и визуализацији континуираних површи, приказаних у виду растерских модела података, незамјењиви су у климатолошким истраживањима. Проучавање климе, као континуиране просторне појаве, захтијева

INTRODUCTION

The development of GIS technologies has made the development of new and application of the existing climatological models much easier. The GIS models based on continuous surface analyses and visualization, presented in the form of raster data models are irreplaceable in climatological research. Studying climate, as a continuous spatial phenomenon,

* Аутор за кореспонденцију: Даворин Бајић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: davorin.bajic@pmf.unibl.org
Corresponding author: Davorin Bajić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: davorin.bajic@pmf.unibl.org

примјену модела који ће детерминисати климатске карактеристике на комплетном истраживаном подручју. С обзиром на то да се метеоролошка осматрања већег броја параметара врше на мањем и ограниченом простору (метеоролошке станице), детерминација климатских карактеристика захтијева примјену ГИС базираних геостатистичких и просторних модела интерполације, помоћу којих се климатске карактеристике приказују у виду континуираних површи. Са ГИС револуцијом посљедњих деценија, због претходно наведеног, дошло је и до револуције у примјени ГИС-а у просторним интерпретацијама климатолошких појава.

ГИС анализе се остварују преко анализа сетова дигиталних мапа, приказаних у виду слојева, у објектно-оријентисаном програмском окружењу, што омогућава стављање у статистичке и математичке односе сетове просторних варијабли, а тиме и продуковање нових сетова просторних података. ГИС базирани модели класификације климе су један од примјера примјене аналитичких функција ГИС-а. Примјеном статистичких и математичких функција ГИС-а могуће је улазне сетове података, који се односе на посматране просторне варијабле (температуре ваздуха, падавине итд.) ставити у међусобне односе тако да се креирају модели који дају нови квалитет и квантитет у виду излазних сетова података (мапе типова климе).

Класификација климе је проблематика којом се научници баве дужи период. Прву квантитативну класификацију климе извршио је Владимир Кепен (1846–1940) 1900. године (Kottek et al., 2006). До данас је било разних модела и различитих приступа у класификацији климе, поготово је ова проблематика актуелизована поменути развојем ГИС технологија. У овом раду приказаћемо ГИС базирани модел класификације климе заснован на модификованом хидротермичком коефицијенту Г. Т. Селјанина. Хидротермички коефицијент Селјанина (*HTC*), дефинисан тридесетих година прошлог вијека, још увијек је актуелан, чему свједоче и многобројни радови

requires the application of a model that will determine climate characteristics throughout the research area. Given the fact that the meteorological observations of a large number of parameters are made on a small and limited area (meteorological stations), in order to determine climate characteristics, it is necessary to apply GIS-based geostatistic and spatial interpolation models that present the climate characteristics in the form of continuous surfaces. Due to the reasons elaborated above, the GIS revolution of the last decades has led to another revolution, in the application of GIS in spatial interpretation of climatological phenomena.

GIS analyses are accomplished through the analyses of digital map sets, presented in the form of layers, in an object-oriented programming environment, which enables placing the sets of spatial variables in statistical and mathematical relationships, and thus producing new spatial data sets. GIS-based models of climate classification are an example of application of GIS analytical functions. With the application of statistical and mathematical GIS functions it is possible to correlate the input data sets relating to the observed spatial variables (air temperatures, precipitation, etc.) so that the models that give new quality and quantity in the form of output data sets (climate type maps) are created.

The climate classification is an issue that the scientists have been dealing with for a long time period. The first quantitative climate classification was done by Wladimir Koppen (1846–1940) in 1900 (Kottek et al., 2006). So far there have been different models and various approaches in climate classification, and this issue has received particular attention since the mentioned development of GIS technologies. In this paper we will present a GIS-based model of climate classification based on the modified hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninov. The Selyaninov's hydrothermal coefficient (*HTC*), defined in the 1930s, is still valid, as evidenced by numerous papers of more recent date that

новијег датума, у којима је коришћен и описиван овај коефицијент (Antoš, 2007; Auškalnienė et al., 2009; Dronin & Belinger, 2005; Gathara et al., 2006; Kazadjiev et al., 2012; Žmudzka, 2014). Актуелност хидротермичког коефицијента Сељанина произилази из неколико његових обиљежја: 1. коефицијентом се детерминише биланс влаге у вегетационом периоду, као један од најбитнијих предуслова биљне производње; 2. улазне варијабле које се користе у обрасцу за израчунавање *HTC* (температуре ваздуха и падавине) најдоступнији су климатолошки параметри који се редовно публикују; 3. израчун коефицијента релативно је једноставан.

Поред *HTC* у ГИС модел укључили смо и број мјесеци који имају средњу температуру ваздуха већу од 10°C (трајање вегетационог периода). Наиме, поред биланса влаге, који је исказан помоћу *HTC*, веома важан климатски параметар је и трајање вегетационог периода. Од дужине трајања вегетационог периода директно зависе услови аграрне производње. На основу *HTC* и дужине трајања вегетационог периода, као основних критеријума у моделу, креиран је ГИС алгоритам који извршава наредбу за класификацију климе.

Приказани ГИС модел и дефинисани алгоритам омогућавају аутоматизовану примјену и одређивање климатских типова за било које просторне цјелине или било које периоде. Израчунавањем и издвајањем климатских типова за различите периоде могуће је пратити интензитет и просторни обухват климатских промјена (на примјер, ширење сушних подручја). С обзиром на то да је модел базиран на климатским обиљежјима у вегетационом периоду, његова примјена може имати велики значај у планирању аграрне производње.

use and describe this coefficient (Antoš, 2007; Auškalnienė et al., 2009; Dronin & Belinger, 2005; Gathara et al., 2006; Kazadjiev et al., 2012; Žmudzka, 2014). The topicality of Selyaninov's hydrothermal coefficient stems from a number of its characteristics: 1. The coefficient determines the moisture balance in growing season, as one of the most important pre-conditions for crop production; 2. The input variables used in the *HTC* calculation form (air temperature and precipitation) are the most accessible climatological parameters that are regularly published; 3. Calculation of the coefficient is relatively simple.

In addition to *HTC*, we included in GIS model the number of months that have the mean air temperature higher than 10°C (the length of the growing season). Namely, in addition to water balance, which is presented by *HTC*, the length of the growing season is another important climate parameter. The conditions for agricultural production directly depend on the length of the growing season. Based on the *HTC* and the length of the growing season, as the basic criteria in the model, a GIS algorithm was created that executes the command for climate classification.

The presented GIS model and the defined algorithm enable the automated application and determining of climate types for any spatial unit or any time period. By calculating and extracting the climate types for different time periods it is possible to monitor the intensity and spatial extent of climate changes (e.g. spreading of arid regions). Given that the model is based on climate characteristics during the growing season, its application can be of great importance when it comes to planning the agricultural production.

МЕТОД И ОПИС МОДЕЛА СА
 АЛГОРИТМОМ

METHOD AND DESCRIPTION OF THE
 MODEL WITH ALGORITHM

Први корак у дефинисању модела представља дефинисање критеријума на основу којих ће се извршити класификација. Узета су у разматрање два критеријума. Први критеријум представља *HTC*, који приказује однос између количине падавина и потенцијалног испаравања, што се може узети као условна мјера биланса влаге у тлу (Mihailović, 2002). Потенцијално испаравање одређено је сумом средњих дневних температура ваздуха. *HTC* као мјеру односа падавина и температура ваздуха математички можемо дефинисати као:

$$HTC = \frac{10 \sum_{t_i \geq 10^\circ C} P_i}{\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T} \quad (1)$$

Значење симбола у једначини је сљедеће: *HTC* – хидротермички коефицијент, P_i – мјесечна количина падавина, t_i – средње мјесечне температуре ваздуха, T – средње дневне температуре ваздуха, i – мјесец у години ($i = \text{јануар...децембар}$). Коефицијент се може описати као однос суме падавина и суме средњих дневних температура ваздуха у периоду када су средње мјесечне температуре ваздуха једнаке или веће од $10^\circ C$ ($t_i \geq 10^\circ C$).

Суму средњих дневних температура ваздуха ($\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T$) добили смо множењем средњих мјесечних температура ваздуха (t_i) са бројем дана у односном мјесецу (nD_i):

$$\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T = \sum_{i=1}^{12} (t_i \times nD_i) \quad (2)$$

Број дана у односном мјесецу (nD_i) представља календарски број дана, изузев фебруара за који је узета вриједност 28.25 због броја дана у фебруару у преступним годинама.

Други критеријум који смо уврстили у модел односи се на број мјесеци који имају средњу мјесечну температуру ваздуха (t_i) једнаку или већу од $10^\circ C$ (трајање вегетационог периода). Трајање вегетационог периода, изражено у броју мјесеци (nT), можемо приказати као:

$$nT = \sum_{t_i \geq 10^\circ C} i \quad (3)$$

The first step in defining the model is to identify the criteria based on which classification will be done. Two criteria were taken into consideration. The first criterion represents *HTC*, which shows the relation between precipitation and potential evaporation, which can be taken as a conditional measure of soil water balance (Mihailović, 2002). Potential evaporation is determined by the sum of mean daily air temperatures. *HTC*, as a measure of relations of precipitation and air temperature can be defined in mathematical terms as:

$$HTC = \frac{10 \sum_{t_i \geq 10^\circ C} P_i}{\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T} \quad (1)$$

The meaning of the symbols in the equation is as follows: *HTC* – hydro-thermal coefficient, P_i – monthly precipitation, t_i – mean monthly air temperatures, T – mean daily air temperatures, i – month in the year ($i = \text{January...December}$). The coefficient may be described as the ratio of the precipitation sum and the sum of daily mean air temperatures during the period when the monthly mean air temperatures are equal to or higher than $10^\circ C$ ($t_i \geq 10^\circ C$).

We obtained the sum of daily mean air temperatures ($\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T$) by multiplying the monthly mean air temperatures (t_i) with the number of days in the concerned month (nD_i):

$$\sum_{t_i \geq 10^\circ C} T = \sum_{i=1}^{12} (t_i \times nD_i) \quad (2)$$

The number of the days in the month in question (nD_i) represents the calendar number of days, except for February, for which the value 28.25 was taken due to the number of days in February in a leap year.

Another criterion that we included in the model relates to the number of months that have the monthly mean air temperature (t_i) equal to or higher than $10^\circ C$ (the length of the growing season). The length of the growing season, expressed in the number of months (nT) can be shown as:

$$nT = \sum_{t_i \geq 10^\circ C} i \quad (3)$$

гдје је i мјесец у години ($i =$ јануар...децембар).

Код уврштавања трајања вегетационог периода у модел узета је у обзир чињеница да од дужине трајања вегетационог периода директно зависе услови узгоја биљних култура, односно диверзификација узгоја биљних култура. Што је дужи вегетациони период са повољним билансом влаге, то је и израженија потенцијална диверзификација узгоја биљних култура. Мишљења смо да HTC добија пуни смисао тек ако се узме у обзир и други дефинисани критеријум. Наиме, теоретски је могуће да поједине просторне цјелине могу имати исте вриједности HTC , али међу њима може бити велика разлика у погледу дужине трајања вегетационог периода, што директно одражава и различитост услова за аграрну производњу.

Након дефинисања критеријума приступило се креирању алгорита за класификацију (Сл. 1). Алгоритам модела класификације климе реализован је у ГИС апликацији GRASS, верзија 6.4.3 (доступно на <http://grass.osgeo.org/>). За реализацију алгорита коришћен је GRASS модул *r.mapcalc* (доступно на <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.mapcalc.html>). Назначени модул заснован је на мапалгебри. Мапалгебра омогућава манипулисање мапама и сликама путем коришћења аритметичких и логичких оператора, као и математичких функција. Све мапе и слике са којима се манипулише у модулу *r.mapcalc* морају бити у растерском грид формату у облику дводимензионалних матрица. Основна синтакса модула *r.mapcalc* је $result=expression$, гдје су: *expression* – израз креиран коришћењем мапа, слика, аритметичких и логичких оператора, математичких функција и привремених варијабли; *result* – карта (излазни слој) настао евалуацијом израза за сваку ћелију (пиксел) у матрици.

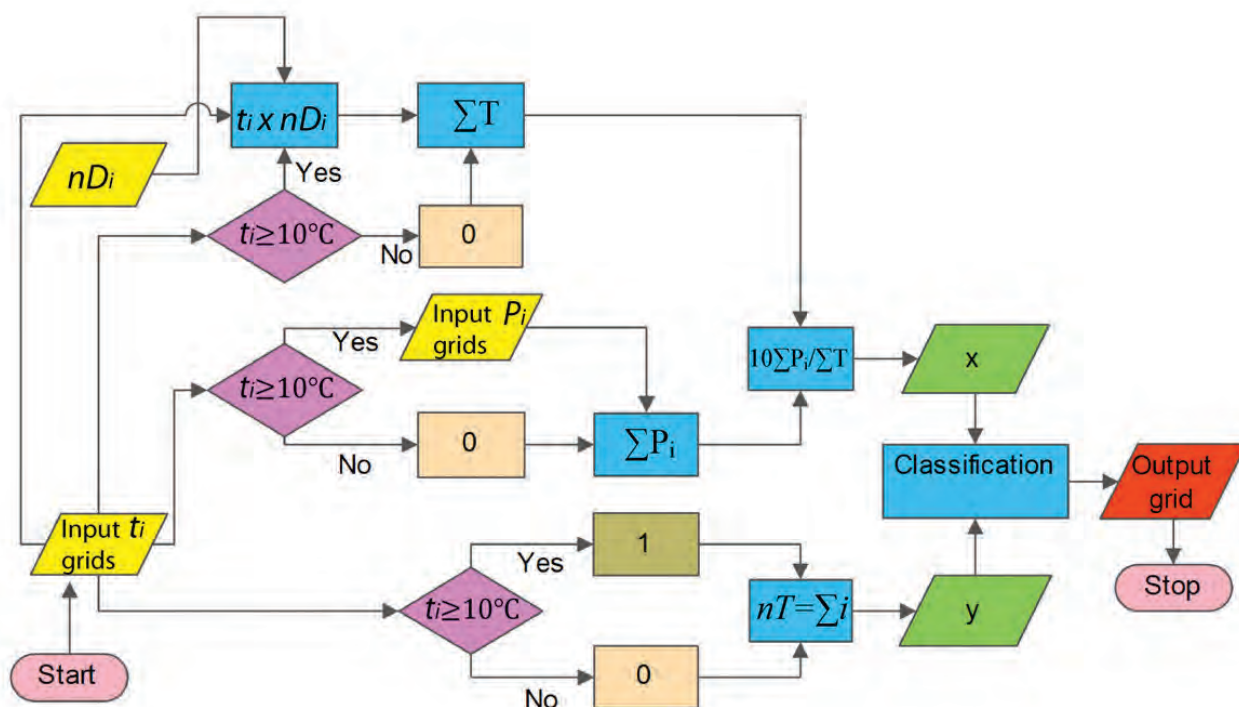
Први корак у реализацији алгорита представља креирање привремених варијабли X (HTC) и Y (nT). Улазне варијабле које се користе за креирање привремених варијабли су сетови растерских мапа у којима су садржане информације о средњим мјесечним температурама ваздуха и мјесечној количини

whereby i is the month in the year ($i =$ January... December).

When including the length of the growing season in the model, we took into account that the conditions for cultivating plant varieties, i.e. the diversification of cultivation of plant varieties, directly depend upon the length of the growing season. The longer the growing season with a favorable water balance, the more prominent potential diversification of crops production. We believe that the HTC will make full sense only if the both defined criteria are taken into account. Namely, it is theoretically possible for certain spatial units to have the same HTC values, however, there can be a big difference between them in terms of the length of the growing season, which directly reflects the different conditions for agricultural production.

Having defined the criteria, we proceeded to creating the classification algorithm (Fig. 1). The algorithm of climate classification model was executed in GIS application GRASS, version 6.4.3 (available at <http://grass.osgeo.org/>). GRASS module *r.mapcalc* (available at <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.mapcalc.html>) was used for the realization of the algorithm. This module was based on Map Algebra. Map Algebra enables the manipulation of maps and images by using the arithmetic and logical operators, as well as mathematical functions. All maps and images being manipulated in *r.mapcalc* module must be in raster grid format in the form of two-dimensional matrices. The basic module syntax is $result=expression$, whereby: *expression* is created by using the maps, arithmetic and logical operators, mathematical functions and temporary variables; *result* – map (output layer) obtained by the evaluation of the expression for every cell (pixel) in the matrix.

The first step in the realization of the algorithm is presented by creating temporary variables X (HTC) and Y (nT). The input variables that are used for creating temporary variables are the sets of raster maps that contain the information about the monthly



Сл. 1. Алгоритам модела класификације климе (за детаљнија објашњења појединих симбола и корака у алгоритму видјети Таб. 3)

Fig. 1. Algorithm of the climate classification model (for more detailed explanation of certain symbols and steps in the algorithm please see Tab. 3)

падавина за све мјесеце у години ($T_{I..T_XII}$; $P_{I..P_XII}$). Коришћењем *r.marcalc* модула написан је израз који рјешава овај први корак алгоритма (Таб. 2).

Прије спровођења другог корака из алгоритма, непходно је дефинисати класификационе интервале резултата два дефинисана критеријума. Резултати критеријума *HTC* класификовани су у десет интервалних група (0.00–0.25; 0.26–0.50; 0.51–0.75; 0.76–1.00; 1.01–1.25; 1.26–1.50; 1.51–2.00; 2.01–2.50; 2.51–3.00; > 3.00), док су резултати критеријума *nT* класификовани у шест интервалних група (0–2; 3–4; 5–6; 7–8; 9–10; 11–12). Издвајање интервалних група засновано је на статистичком принципу једнаких интервала. Свакој интервалној групи за критеријум *HTC* додјељен је словни симбол, док је свакој интервалној групи за критеријум *nT* додјељен бројчани симбол (Таб. 1).

mean air temperatures and monthly quantity of precipitation for all the months in the year ($T_{I..T_XII}$; $P_{I..P_XII}$). By using the *r.marcalc* module an expression was written that solves this first step of the algorithm (Tab. 2).

Before executing the second step of the algorithm, it is necessary to define the classification intervals of the results of two defined criteria. The results of the *HTC* criteria are classified in ten interval groups (0.00–0.25; 0.26–0.50; 0.51–0.75; 0.76–1.00; 1.01–1.25; 1.26–1.50; 1.51–2.00; 2.01–2.50; 2.51–3.00; > 3.00), while the results of the *nT* criterion are classified in six interval groups (0–2; 3–4; 5–6; 7–8; 9–10; 11–12). Separation of the interval groups is based on the statistical principle of equal intervals. A letter symbol was assigned to each interval group for criterion *HTC*, while a numeric symbol was assigned to each interval group for criterion *nT* (Tab. 1).

Таб. 1. Модел класификације климе – Класификациони интервали
 Tab. 1. Climate classification model – Classification intervals

<i>HTC</i>										
Интервална група / Interval group	0-0.25	0.26-0.5	0.51-0.75	0.76-1	1.01-1.25	1.26-1.5	1.51-2	2.01-2.5	2.51-3	>3
Симбол / Symbol	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>nT</i>										
Интервална група / Interval group	0-2		3-4	5-6	7-8	9-10	11-12			
Симбол / Symbol	1		2	3	4	5	6			

Након што су дефинисани класификациони интервали, употребом мапалгебре у модулу *r.mapcalc*, написан је код који рјешава други корак у постављеном алгоритму, у Таб. 2 означен као *Classification*. Уважавајући дефинисане класификационе интервале, класификација и издвајање типова климе извршена је по принципу припадности појединих ћелија (пиксела) из привремених варијабли издвојеним интервалним групама. Класификација је урађена по принципу “преклапања” ћелија сваке интервалне групе са сваком.

Улазне варијабле које се користе у изразу су средње мјесечне температуре ваздуха (T) и мјесечне количине падавина (P) приказане по мјесецима (I, II, III...XII), дате у растерском (грид) формату. *HTC* (1) и *nT* (3) као критеријуми модела у изразу су садржани у виду привремених варијабли X и Y . У креирању израза коришћени су аритметички и логички оператори у модулу *r.mapcalc*: “+” (*addition*), “/” (*division*), “*” (*multiplication*), “>” (*greater than*), “>=” (*greater than or equal*), “<=” (*less than or equal*) и “&” (*and*). Поред оператора коришћене су и функције: “*eval*” (*eval([x,y,...],z; evaluate values of listed expr, pass results to z)*), и “*if*” (*if(x,a,b); a if x not zero, b otherwise*). Замјеном дијелова кода који се односе на улазне варијабле (T и P) са одговарајућим замјенским варијаблама могуће је извршити класификацију климе за различите просторне цјелине и временске интервале.

Рјешавањем постављеног алгоритма, кроз *r.mapcalc* израз, добије се мапа у грид формату на којој су издвојене класификационе групе (типови климе) са дефинисаним грид кодовима.

After the classification intervals were defined, using the Map Algebra in *r.mapcalc* module, a code that solves the second step in the set algorithm was written, which is marked in Tab. 2 as *Classification*. By taking into account the defined classification intervals, the classification and singling out the climate types was done according to the principle of belonging of individual cells (pixels) from temporary variables to separated interval groups. The classification was done according to the principle of “overlapping” of cells of each interval group with another interval group.

The input variables that are used in the expression are the mean monthly air temperatures (T) and the monthly precipitation (P) presented by months (I, II, III...XII), given in raster (grid) format. *HTC* (1) and *nT* (3) as the model criteria in the expression are contained in the form of temporary variables X and Y . In creating the expressions, the arithmetic and logical operators in *r.mapcalc* module were used: “+” (*addition*), “/” (*division*), “*” (*multiplication*), “>” (*greater than*), “>=” (*greater than or equal*), “<=” (*less than or equal*) and “&” (*and*). In addition to the operators, the following functions were used too: “*eval*” (*eval([x,y,...],z; evaluate values of listed expr, pass results to z)*) and “*if*” (*if(x,a,b); a if x not zero, b otherwise*). By replacing the parts of the code that relate to the input variables (T and P) with appropriate replacement variables, it is possible to do the climate classification for different spatial units and time intervals.

By solving the set algorithm, through the *r.mapcalc* expression, a map in the grid format is obtained, on which the classification groups are separated (climate types) with the defined grid codes.

Таб. 2. Модел класификације климе – GRASS r.mapcalc израз
Tab. 2. The model of classification climate – GRASS r.mapcalc expression

<pre>Climate_types = \ ##### HTC ##### eval(x = ((if(T_I>=10, P_I, 0) + if(T_II>=10, P_II, 0) + if(T_III>=10, P_III, 0) + if(T_IV>=10, P_IV, 0) + if(T_V>= 10, P_V, 0) + if(T_VI>=10, P_VI, 0) + if(T_VII>=10, P_VII, 0) + if(T_VIII>=10, P_VIII, 0) + if(T_IX>=10, P_IX, 0) + if(T_X>=10, P_X, 0) + if(T_XI>=10, P_XI, 0) + if(T_XII>=10, P_XII, 0)) / (if(T_I>=10, (31 * T_I), 0) + if(T_II>= 10, (28.25 * T_II), 0) + if(T_III>=10, (31 * T_III), 0) + if(T_IV>=10, (30 * T_IV), 0) + if(T_V>=10, (31 * T_V), 0) + if(T_ VI>=10, (30 * T_VI), 0) + if(T_VII>=10, (31 * T_VII), 0) + if(T_VIII>=10, (31 * T_VIII), 0) + if(T_IX>=10, (30 * T_IX), 0) + if(T_X>=10, (31 * T_X), 0) + if(T_XI>=10, (30 * T_XI), 0) + if(T_XII>=10, (31 * T_XII), 0))) * 10, \ ##### nT ##### y = if(T_I>=10, 1, 0) + if(T_II>=10, 1, 0) + if(T_III>=10, 1, 0) + if(T_IV>=10, 1, 0) + if(T_V>=10, 1, 0) + if(T_ VI>=10, 1, 0) + if(T_VII>=10, 1, 0) + if(T_VIII>=10, 1, 0) + if(T_IX>=10, 1, 0) + if(T_X>= 10, 1, 0) + if(T_XI>=10, 1, 0) + if(T_XII>=10, 1, 0), \ ##### Classification ##### (if((x<=0.25) & (y<=2), 1, 0)) + (if((x<=0.25) & (y>2) & (y<=4), 2, 0)) + (if((x<=0.25) & (y>4) & (y<=6), 3, 0)) + (if((x<=0.25) & (y>6) & (y<=8), 4, 0)) + (if((x<=0.25) & (y>8) & (y<=10), 5, 0)) + (if((x<=0.25) & (y>10) & (y<=12), 6, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y<=2), 7, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y>2) & (y<=4), 8, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y>4) & (y<=6), 9, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y>6) & (y<=8), 10, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y>8) & (y<=10), 11, 0)) + (if((x>0.25) & (x<=0.5) & (y>10) & (y<=12), 12, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y<=2), 13, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y>2) & (y<=4), 14, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y>4) & (y<=6), 15, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y>6) & (y<=8), 16, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y>8) & (y<=10), 17, 0)) + (if((x>0.5) & (x<=0.75) & (y>10) & (y<=12), 18, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y<=2), 19, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y>2) & (y<=4), 20, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y>4) & (y<=6), 21, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y>6) & (y<=8), 22, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y>8) & (y<=10), 23, 0)) + (if((x>0.75) & (x<=1) & (y>10) & (y<=12), 24, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y<=2), 25, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y>2) & (y<=4), 26, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y>4) & (y<=6), 27, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y>6) & (y<=8), 28, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y>8) & (y<=10), 29, 0)) + (if((x>1) & (x<=1.25) & (y>10) & (y<=12), 30, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y<=2), 31, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y>2) & (y<=4), 32, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y>4) & (y<=6), 33, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y>6) & (y<=8), 34, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y>8) & (y<=10), 35, 0)) + (if((x>1.25) & (x<=1.5) & (y>10) & (y<=12), 36, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y<=2), 37, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y>2) & (y<=4), 38, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y>4) & (y<=6), 39, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y>6) & (y<=8), 40, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y>8) & (y<=10), 41, 0)) + (if((x>1.5) & (x<=2) & (y>10) & (y<=12), 42, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5)) & (y<=2), 43, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5) & (y>2) & (y<=4), 44, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5) & (y>4) & (y<=6), 45, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5) & (y>6) & (y<=8), 46, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5) & (y>8) & (y<=10), 47, 0)) + (if((x>2) & (x<=2.5) & (y>10) & (y<=12), 48, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y<=2), 49, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y>2) & (y<=4), 50, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y>4) & (y<=6), 51, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y>6) & (y<=8), 52, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y>8) & (y<=10), 53, 0)) + (if((x>2.5) & (x<=3) & (y>10) & (y<=12), 54, 0)) + (if((x>3) & (y<=2), 55, 0)) + (if((x>3) & (y>2) & (y<=4), 56, 0)) + (if((x>3) & (y>4) & (y<=6), 57, 0)) + (if((x>3) & (y>6) & (y<=8), 58, 0)) + (if((x>3) & (y>8) & (y<=10), 59, 0)) + (if((x>3) & (y>10) & (y<=12), 60, 0))</pre>

У систему од 6 × 10 интервалних група теоретски је могуће издвојити 60 класификационих група, односно 60 типова климе. Свакој класификационој групи додјељена је вриједност пиксела (грид код) у интервалу 1–60, тако да сваки грид код представља један тип климе (Таб. 3). У Таб. 3 *HTC* (1) и *nT* (3) означени су са *X* и *Y*. Сваком климатском типу додјељена је ознака, која се састоји од једног словног и једног бројчаног симбола. Словни дио ознаке указује на биланс воде према *HTC*, док бројчани дио ознаке указује на трајање вегетационог периода према *nT* (на примјер, симбол “А” означава вриједност *HTC* ≤ 0.25 док симбол “3” у ознаци указује да се ради о подручју на којем вегетациони период траје 4–6 мјесеци). Ознаке климатских типова из Таб. 3 одговарају ознакама интервалних група из Таб. 1.

In the system of 6 × 10 interval groups it is theoretically possible to separate 60 classification groups, i.e. 60 climate types. The pixel value (grid code) in the interval 1–60 was assigned to each classification group, so that every grid code represents one climate type (Tab. 3). In Tab. 3, *HTC* (1) and *nT* (3) are denoted with *X* and *Y*. A code was assigned to each climate type, consisting of one letter and one numerical symbol. The letter part of the code indicates the moisture balance according to *HTC*, while the numeric part of the code indicates the duration of the growing season according to *nT* (e.g. symbol “A” signifies the value of *HTC* ≤ 0.25, while symbol “3” in the code indicates that this is an area in which the growing season lasts for 4–6 months). The designations of climate types in Tab. 3 correspond to the interval group designations in Tab. 1.

Таб. 3. Критеријуми, класификационе групе, опис и ознаке типова климе
 Tab. 3. Criteria, classification groups, description and designations of climate types

Хидротермички коэффициент / Hydrotermic coefficient (HTC (x))	Трајање вегетационог периода, мјесеци / Duration of the growing season, months (nT (y))	Грид код / Grid Code	Климатски тип / Climate Type	Опис климе / Climate Description
$x \leq 0.25$	$y \leq 2$	1	A1	Екстремно сува и екстремно хладна подручја / Extremely dry and extremely cold areas
$x \leq 0.25$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	2	A2	Екстремно сува и хладна подручја / Extremely dry and cold areas
$x \leq 0.25$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	3	A3	Екстремно сува и умјерено топла подручја / Extremely dry and moderately warm areas
$x \leq 0.25$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	4	A4	Екстремно сува и топла подручја / Extremely dry and warm areas
$x \leq 0.25$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	5	A5	Екстремно сува и веома топла подручја / Extremely dry and very hot areas
$x \leq 0.25$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	6	A6	Екстремно сува и екстремно топла подручја / Extremely dry and extremely hot areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$y \leq 2$	7	B1	Изузетно сува и екстремно хладна подручја / Exceptionally dry and extremely cold areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	8	B2	Изузетно сува и хладна подручја / Exceptionally dry and cold areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	9	B3	Изузетно сува и умјерено топла подручја / Exceptionally dry and moderately warm areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	10	B4	Изузетно сува и топла подручја / Exceptionally dry and warm areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	11	B5	Изузетно сува и веома топла подручја / Exceptionally dry and very hot areas
$(x > 0.25) \& (x \leq 0.5)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	12	B6	Изузетно сува и екстремно топла подручја / Exceptionally dry and extremely hot areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$y \leq 2$	13	C1	Веома сува и екстремно хладна подручја / Very dry and extremely cold areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	14	C2	Веома сува и хладна подручја / Very dry and cold areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	15	C3	Веома сува и умјерено топла подручја / Very dry and moderately warm areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	16	C4	Веома сува и топла подручја / Very dry and warm areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	17	C5	Веома сува и веома топла подручја / Very dry and very hot areas
$(x > 0.5) \& (x \leq 0.75)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	18	C6	Веома сува и екстремно топла подручја / Very dry and extremely hot areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$y \leq 2$	19	D1	Сува и екстремно хладна подручја / Dry and extremely cold areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	20	D2	Сува и хладна подручја / Dry and cold areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	21	D3	Сува и умјерено топла подручја / Dry and moderately warm areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	22	D4	Сува и топла подручја / Dry and warm areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	23	D5	Сува и веома топла подручја / Dry and very hot areas
$(x > 0.75) \& (x \leq 1)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	24	D6	Сува и екстремно топла подручја / Dry and extremely hot areas
$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$y \leq 2$	25	E1	Недовољно влажна и екстремно хладна подручја / Insufficient wet and extremely cold areas
$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	26	E2	Недовољно влажна и хладна подручја / Insufficient wet and cold areas
$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	27	E3	Недовољно влажна и умјерено топла подручја / Insufficient wet and moderately warm areas
$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	28	E4	Недовољно влажна и топла подручја / Insufficient wet and warm areas

ДАВОРИН БАЈИЋ И ГОРАН ТРБИЋ
DAVORIN BAJIĆ AND GORAN TRBIĆ

$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	29	E5	Недовољно влажна и веома топла подручја / Insufficient wet and very hot areas
$(x > 1) \& (x \leq 1.25)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	30	E6	Недовољно влажна и екстремно топла подручја / Insufficient wet and extremely hot areas
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$y \leq 2$	31	F1	Умјерено влажна и екстремно хладна подручја / Moderately wet and extremely cold areas
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	32	F2	Умјерено влажна и хладна подручја / Moderately wet and cold areas
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	33	F3	Умјерено влажна и умјерено топла подручја / Moderately wet and moderately warm areas
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	34	F4	Умјерено влажна и топла подручја / Moderately wet and warm areas /
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	35	F5	Умјерено влажна и веома топла подручја / Moderately wet and very hot areas
$(x > 1.25) \& (x \leq 1.5)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	36	F6	Умјерено влажна и екстремно топла подручја / Moderately wet and extremely hot areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$y \leq 2$	37	G1	Влажна и екстремно хладна подручја / Wet and extremely cold areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	38	G2	Влажна и хладна подручја / Wet and cold areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	39	G3	Влажна и умјерено топла подручја / Wet and moderately warm areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	40	G4	Влажна и топла подручја / Wet and warm areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	41	G5	Влажна и веома топла подручја / Wet and very hot areas
$(x > 1.5) \& (x \leq 2)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	42	G6	Влажна и екстремно топла подручја / Wet and extremely hot areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$y \leq 2$	43	H1	Веома влажна и екстремно хладна подручја / Very wet and extremely cold areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	44	H2	Веома влажна и хладна подручја / Very wet and cold areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	45	H3	Веома влажна и умјерено топла подручја / Very wet and moderately warm areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	46	H4	Веома влажна и топла подручја / Very wet and warm areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	47	H5	Веома влажна и веома топла подручја / Very wet and very hot areas
$(x > 2) \& (x \leq 2.5)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	48	H6	Веома влажна и екстремно топла подручја / Very wet and extremely hot areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$y \leq 2$	49	I1	Изузетно влажна и екстремно хладна подручја / Exceptionally wet and extremely cold areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	50	I2	Изузетно влажна и хладна подручја / Exceptionally wet and cold areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	51	I3	Изузетно влажна и умјерено топла подручја / Exceptionally wet and moderately warm areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	52	I4	Изузетно влажна и топла подручја / Exceptionally wet and warm areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	53	I5	Изузетно влажна и веома топла подручја / Exceptionally wet and very hot areas
$(x > 2.5) \& (x \leq 3)$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	54	I6	Изузетно влажна и екстремно топла подручја / Exceptionally wet and extremely hot areas
$x > 3$	$y \leq 2$	55	J1	Екстремно влажна и екстремно хладна подручја / Extremely wet and extremely cold areas
$x > 3$	$(y > 2) \& (y \leq 4)$	56	J2	Екстремно влажна и хладна подручја / Extremely wet and cold areas
$x > 3$	$(y > 4) \& (y \leq 6)$	57	J3	Екстремно влажна и умјерено топла подручја / Extremely wet and moderately warm areas
$x > 3$	$(y > 6) \& (y \leq 8)$	58	J4	Екстремно влажна и топла подручја / Extremely wet and warm areas
$x > 3$	$(y > 8) \& (y \leq 10)$	59	J5	Екстремно влажна и веома топла подручја / Extremely wet and very hot areas
$x > 3$	$(y > 10) \& (y \leq 12)$	60	J6	Екстремно влажна и екстремно топла подручја / Extremely wet and extremely hot areas

СТУДИЈА СЛУЧАЈА – КЛАСИФИКАЦИЈА КЛИМЕ БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ

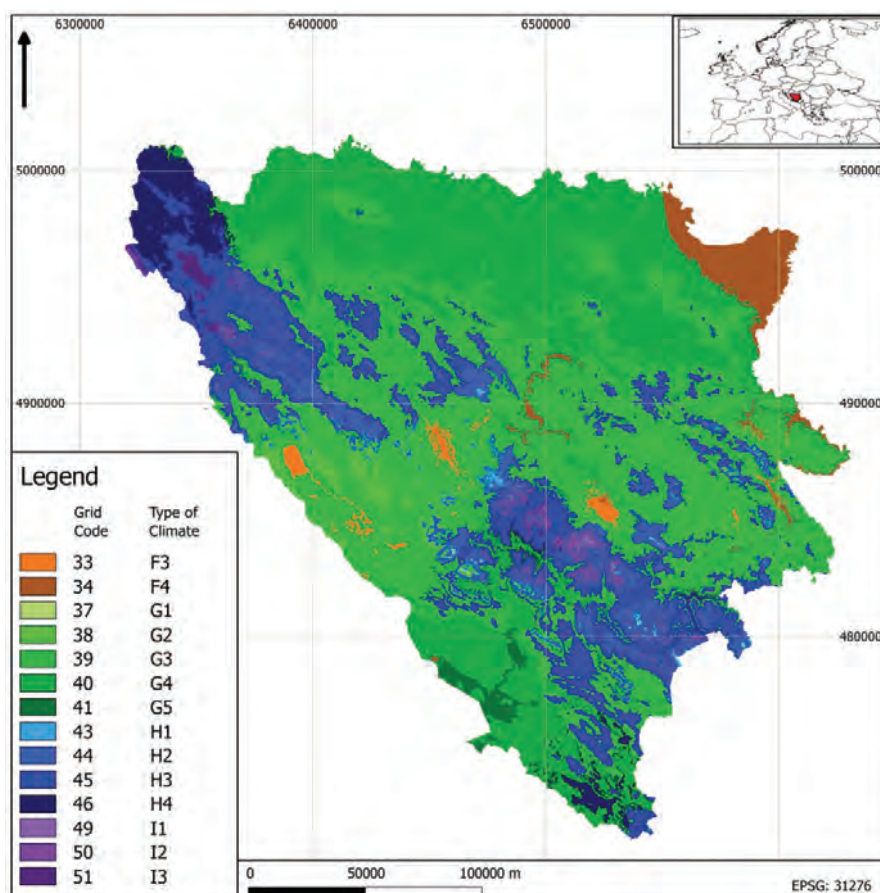
Приказани модел класификације климе примијењен је за простор Босне и Херцеговине. Климатолошки период осматрања, за који је урађена класификација климе, је период 1961–1990. године. Као улазне варијабле модела коришћене су мапе средњих мјесечних температура ваздуха и просјечних мјесечних количина падавина у ГИС растерском формату, преузете из *Климатског атласа Босне и Херцеговине* (Вајић & Трбић, 2011, 2016).

Према дефинисаном моделу класификације на простору Босне и Херцеговине, у посматраном периоду 1961–1990. године, идентификовано је 14 климатских типова (Сл. 2). Према билансу влаге типови климе дистрибуирани су од умјерено влажних до веома влажних. Док су према броју мјесеци у вегетационом периоду типови климе дистрибуирани од екстремно хладних до веома топлних.

CASE STUDY – CLASSIFICATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA CLIMATE

The presented model of climate classification was applied to the area of Bosnia and Herzegovina. The observed climatological period for which the climate classification was done is 1961–1990. The maps of mean monthly air temperatures and average monthly precipitation in GIS raster format, taken from the *Climate Atlas of Bosnia and Herzegovina* (Bajić & Trbić, 2011, 2016), were used as input variables for the model.

According to the defined classification model in the area of Bosnia and Herzegovina, during the observed period 1961–1990, 14 climate types were identified (Fig. 2). According to the humidity balance, the climate types were distributed from moderately humid to very humid. According to the number of months during the growing season, the climate types were distributed from extremely cold to very warm.



Сл. 2. Босна и Херцеговина – класификација климе
Fig. 2. Bosnia and Herzegovina – climate classification

ЗАКЉУЧАК

Представљени модел класификације климе сублимира варијабле које се односе на температуру ваздуха, падавине и трајање вегетационог периода. Модел и дефинисани алгоритам омогућавају аутоматизовану примјену и одређивање типова климе, за било који простор или период.

Класификацијом климе описаном методологијом за различите климатолошке периоде могуће је пратити правце и просторни распон климатских промјена, на примјер ширење сушних подручја и слично.

Температуре ваздуха, падавине и трајање вегетационог периода су веома битни климатолошки елементи аграрне производње. С обзиром на ту чињеницу дефинисана класификација климе је својеврсна агроклиматска рејонизација гдје сваки издвојени климатски тип представља подручје са одређеним агроклиматским условима.

Практична примјена модела класификације климе извршена је на примјеру Босне и Херцеговине. На основу добијених резултата може се извести закључак да издвојени типови климе на подручју Босне и Херцеговине у великој мјери одговарају просторној диференцијацији аграрне производње.

CONCLUSION

The presented model of climate classification sublimates the variables relating to air temperature, precipitation and the length of the growing season. The model and the defined algorithm enable the automated application and identification of the climate type, for any area or time period.

By classifying the climate by the described methodology for different climatological periods, it is possible to trace the directions and spatial range of climate change, e.g. the spread of arid areas, etc.

Air temperatures, precipitation and the duration of the growing season are very important climatological elements of agricultural production. Given that fact, the defined climate classification is a kind of agro-climatic zoning where each designated climate type represents an area with specific agro-climatic conditions.

Practical application of the climate classification model was made on the example of Bosnia and Herzegovina. Based on the obtained results, one may conclude that the designated climate types in Bosnia and Herzegovina largely correspond to the spatial differentiation of agricultural production.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Antoš, O. (2007). Selected Agro-Climatic Characteristics and Wine-Grape Yields in the Southern Moravia. *Dela*, 27, 279–287. <https://doi.org/10.4312/dela.27.15.279-287>
- Auškalnienė, O., Kadžys, A., Auškalnis, A., & Pšibišauskienė, G. (2009). Weed Emergence and Survival in Spring Barley. *Agronomy Research*, 7(Special issue I), 169–174.
- Bajić, D., & Trbić, G. (2011). Application of GIS and Regression Models in Modeling Temperature Changes on the Example of Republika Srpska. *Herald*, 14, 91–99. <https://doi.org/10.7251/HER1014091B>
- Bajić, D., & Trbić, G. (2016). *Klimatski atlas Bosne i Hercegovine*. Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet. http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/klimatski_atlas.pdf
- Dronin, N., & Belinger, E. (2005). *Climate Dependence and Food Problems in Russia, 1900–1990: The Interaction of Climate and Agricultural Policy and Their Effect on Food Problems*. Central European University Press.

- Gathara, S. T., Gringof, L. G., Mersha, E., Sinha Ray, K. C., & Spasov, P. (2006). *Impacts of Desertification and Drought and Other Extreme Meteorological Events* (WMO/TD No. 1343). World Meteorological Organization, Commission for Agricultural Meteorology. <http://www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM101.pdf>
- Kazadjiev, V., Moteva, M., & Georgieva, V. (2012, May 7–10). *Near and Far Future Hydro-Thermal Tendencies for Crop Growing in Bulgaria* [Conference presentation]. Sixteenth International Water Technology Conference, Istanbul, Turkey.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Mihailović, D. T. (2002). *Uvod u meteorologiju*. Univerzitet u Novom Sadu.
- Žmudzka, E. (2004). The Climatic Background of Agricultural Production in Poland (1951–2000). *Miscellanea Geographica*, 11(1), 127–137. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2004-0015>