

ГИС БАЗИРАНА ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКА АНАЛИЗА ПРОДУКЦИЈЕ БИОМАСЕ НА ПОДРУЧЈУ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Даворин Бајић¹, Драгутин Аџић¹ и Радослав Декић¹

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

Сажетак: У овом раду извршена је просторно-временска анализа продукције биомасе на подручју Републике Српске, коришћењем продуката даљинске детекције и географских информационих технологија. Основни улазни параметри, на основу којих је извршена анализа, су бруто примарна продуктивност (GPP) и нето примарна продукција (NPP). На основу GPP и NPP, као мјера продукције и акумулације угљеника у екосистемима, на индиректан начин извршено је мјерење продукције биомасе. Коришћени су сателитски снимци који се базирају на MODIS (енг. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) MOD17 производу, који у осмодневним и годишњим интервалима генерише GPP и NPP параметре, у виду ГИС растерских слојева. Анализа је извршена за десетогодишњи период од 2005. до 2014. године, коришћењем Google Earth Engine ВЕБ ГИС апликације и QGIS десктоп ГИС апликације. Резултати анализе продукције биомасе на подручју Републике Српске, у посматраном периоду, указују на одређена одступања и колебања у просторним и временским оквирима, зависно од типа екосистема, те у зависности од метеоролошких услова у појединим годинама посматрања.

Кључне ријечи: ГИС, биомаса, нето-примарна продукција, бруто-примарна продукција, даљинска детекција, Република Српска.

Original scientific paper

GIS-BASED SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF THE BIOMASS PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF SRPSKA TERRITORY

Davorin Bajić¹, Dragutin Adžić¹ and Radoslav Dekić¹

¹Faculty of Sciences, University of Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: The paper addresses a spatial-temporal analysis of the biomass production in the Republic of Srpska territory by using products of remote sensing and geographic information technologies. The basic input parameters on which the analysis is based are Gross Primary Production (GPP) and Net Primary Production (NPP). Based on GPP and NPP as measures of carbon production and accumulation in ecosystems, the biomass production was measured indirectly. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) MOD17 product-based satellite footage was used as it generates eight-day and yearly intervals of GPP and NPP parameters as GIS raster layers. The analysis was performed for the 2005-2014 ten-year period by using Google Earth Engine web GIS application and QGIS desktop GIS application. Results of the biomass production analysis in the Republic of Srpska territory during the target period indicate specific deviations and oscillations within spatial and temporal frameworks, depending on the ecosystem type and weather conditions during some of the observed years.

Key words: GIS, biomass, net primary production, gross primary production, remote sensing, the Republic of Srpska.

1. УВОД

Мјера ефикасности екосистема је величина његове органске продукције. Изражава се количином органске материје синтетисане у јединици времена на јединици површине/ запремине (Пешић, 2011). Копнена примарна продукција обезбјеђује енергију за одржавање структуре и функције екосистема, испоручује ресурсе: храну, дрво, горива и влакна неопходне за људско друштво.

Продукција биомасе може се посредно одређивати на више начина, као што су: мјерење количине ослобођеног кисеоника, мјерење количине утрошеног угљен-диоксида или мјерењем протока угљеника. У овом раду анализа продукције биомасе извршена је мјерењем протока и акумулације угљеника у екосистемима. Да би се расвијетлио основни механизам мјерења продукције биомасе у наставку је дат преглед и дефиниција основних појмова, те осврт на литературу у којима су ти појмови дефинисани.

Примарна продукција представља стопу соларне енергије претворене у биомасу процесом фотосинтезе или хомеосинтезе. Укупна претворена енергија фотосинтезом назива се бруто примарна продукција (GPP). Нето примарна продукција (NPP) резултат је разлике између бруто примарне продукције и потрошене енергије у процесу дисања (Campbell, 1990). Нето примарна продукција посматра се и као нето количина ускладиштеног угљеника (C) у биљкама, акумулираног као биомаса.

$$NPP = GPP - \text{Респирација}$$

Мјерење нето примарне продукције добија на значају када се проток енергије у екосистему може измјерити, након чега се на основу резултата мјерења може описати стање екосистема, те предвидјети одговор на промјене и поремећаје у истом (Whitten, et al., 1996). Истраживање нето примарне продукције има велики значај, јер представља кључни процес у кружењу угљеника и директно мјери количину производње у екосистему (Zhao and Running, 2008). Нето примарна продукција као алат за

1. INTRODUCTION

The measure of an ecosystem efficiency is the size of its organic production. It is expressed with the amount of organic matter synthesized in a unit of time over the unit of surface/volume (Pešić, 2011). The land primary production provides energy for the maintenance of an ecosystem's structure and function and delivers resources such as food, wood, fuel and fibres crucial for human society.

The biomass production may be indirectly determined in several different manners such as follows: measuring the quantity of released oxygen, measuring the quantity of used carbon dioxide, or measuring the carbon flow. The paper performs the analysis of biomass production by measuring the carbon flow and accumulation within ecosystems. In order to detect the primary mechanism for the biomass production measurement, we provide an outline and definition of primary terms and the bibliography in which these terms are defined.

The primary production is the rate of solar energy converted into biomass by the processes of photosynthesis or homeosynthesis. The total energy converted by photosynthesis is called gross primary production (GPP). The net primary production is a result of difference between the gross primary production and the energy spent during the breathing process (Campbell, 1990). The net primary production is regarded as a net amount of carbon (C) stored in plants and accumulated as biomass.

$$NPP = GPP - \text{Respiration}$$

Measurement of the net primary production is crucial once the energy flow within an ecosystem can be measured, after which it is possible to provide a description of the ecosystem condition and predict a response to changes and deviation based on the measurement results (Whitten, et al., 1996). The research on net primary production is pertinent as it is a key process

мјерење продукције и утврђивања количине акумулираног угљеника, може се користити за процјену утицаја природних поремећаја као и вјештачки изазваних (човјек) поремећаја који утичу на продуктивност у екосистему. На глобалном нивоу копнена нето примарна продукција, један је од највише моделованих еколошких параметара, са моделима који се значајно разликују у приступу и комплексности, често дајући сличне упоредиве процјене (Field et al., 1995).

Разумјевање односа између нето примарне продукције и кружења угљеника, кључно је за предвиђање и ублажавање негативних промјена животне средине.

Годишњи NPP или ускладиштена количина угљеника, може се користити за процјену раста биљака то јест биомасе (Jihye, et al., 2011).

Поред чињенице да није могуће извршити директна мјерења, постоји много модела заснованих на физиолошким принципима и глобалној Земљиној динамици (Cramer et al. 1999). Ови модели усвајају једну од три методологије: 1) проток угљеника базиран на одређеној структури вегетације, 2) проток угљеника и структура вегетација, 3) сателитски подаци даљинске детекције.

Процјена размјене угљендиоксида (CO_2) између биосфере и атмосфере, као и продукција вегетације на регионалном, континенталном и глобалном нивоу, може се постићи комбиновањем даљинске детекције (енг. Remote sensing) са информацијама о процесу кружења угљеника. Нето примарна продукција узима у обзир колико CO_2 узима вегетација током фотосинтезе и колико се CO_2 емитује током дисања, што представља процес у којем биљке користе шећере за производњу енергије. Нето количина CO_2 узета од стране вегетације, може се претворити у суву материју - биомасу (FAO, 2015).

NPP описује нето количину угљеника којег је вегетација апсорбовала као резултат асимилације (унутар) и респирације (изван). Количина C изражава се кроз масу по јединици површине (C kg/m^2). CO_2 представља извор угљеника у општој реакцији фотосинтезе у

in carbon circulation and it directly measures the production within an ecosystem (Zhao and Running, 2008). As a tool for measurement of production and amount of accumulated carbon, the net primary production may be used for the evaluation of impact of natural and artificial (human) divergence on the productivity within an ecosystem. Globally, the land net primary production is one of the mostly modelled ecological parameters with models that largely differ in their approach and complexity, often providing similar comparative evaluation (Field et al., 1995).

It is crucial to understand the relation between the net primary production and carbon circulation in order to predict and assuage negative environmental changes.

The annual NPP or the accumulated amount of carbon assimilated by biomass may be used for the estimation of plant growth, i.e. biomass (Jihye, et al., 2011).

Apart from the fact that it is not possible to perform direct measurements, there are many models based on physiological principles and global Earth dynamics (Cramer et al. 1999). These models adopt one of the three methodologies: 1) carbon flow based on a specific vegetation structure, 2) carbon flow and vegetation structure, and 3) satellite data collected from remote sensing.

The estimation of carbon-dioxide (CO_2) exchange between biosphere and atmosphere as well as vegetation production on regional, continental and global levels may be achieved by combining *remote sensing* and the information on the carbon circulation process. The net primary production considers how much CO_2 is absorbed by vegetation during photosynthesis and how much CO_2 is emitted during breathing, which is a process of plants consuming sugar for energy production. The net amount of CO_2 absorbed by vegetation may be converted into dry matter - biomass (FAO, 2015).

NPP refers to the net amount of carbon absorbed by vegetation as a result of assimilation (inward) and respiration

биљкама у којој се угљеник преводи у угљене хидрате (CH_2O), чинећи кључни елемент суве материје вегетације. С обзиром на стехиометријски однос молекулских маса CH_2O (као производа) и C (као полазне материје у реакцији) могуће је израчунати продукцију суве материје (CH_2O), односно продукцију суве биомасе (FAO, 2015). У поступку анализе продукције биомасе посебно су корисни сателитски изведени подаци, јер пружају механизме за процјене, праћење и евалуацију просторне и временске варијације продукције унутар копнених екосистема (Crabtree et al. 2009). У овом раду, за процјену NPP, коришћени су MODIS сателитски производи: MOD17A3H (MODIS/Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006)¹ и MYD17A2H (MODIS/Aqua Gross Primary Productivity 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid V006)².

На основу дефинисаних сателитских продуката извршено је генерисање показатеља NPP на годишњем нивоу, за сваку годину посебно у посматраном десетогодишњем периоду 2005-2014. година, у виду ГИС растерских мапа. Генерисане мапе биле су основа, улазни подаци, за модел просторно-временске анализе продукције биомасе. Поред генерисаних мапа, на годишњем нивоу, генерисани су и табеларни подаци који садрже временску дистрибуцију NPP на осмодневном нивоу, унутар једне године.

Преузимање наведених сателитских продуката и њихова обрада и прилагођавање за даљу анализу извршено је у Гугловом производу Google Earth Engine (GEE)³, која омогућава приступ и анализу већег броја скупова просторних података.

GEE је релативно нова технологија која представља веб базирану платформу намијењену праћењу и мјерењу промјена на Земљиној површини. Платформа нуди могућност бесплатног приступа каталогу података, то јест огромној бази података

(outward). The amount of C is expressed as the mass per surface unit (C kg/m^2). The CO_2 flow is a source of carbon within plants and the general photosynthesis equation determines if the carbon converts into carbon-hydrates (CH_2O), which makes it a key element of the vegetation dry matter. Depending on the molecular mass, C mass may convert into the production of dry matter (CH_2O) or the production of dry biomass (FAO, 2015).

The analysis of biomass production capitalizes on the satellite data as they provide mechanisms for the assessment, monitoring and evaluation of spatial and temporal production within land ecosystems (Crabtree et al. 2009). For the evaluation of NPP, our study uses the following MODIS satellite products: MOD17A3H (MODIS/Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006)¹ and MYD17A2H (MODIS/Aqua Gross Primary Productivity 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid V006)².

Based on the defined satellite products, we generated annual NPP indicators as GIS raster maps, separately for each year during the target 2005-2014 ten-year period. These generated maps were the basis, i.e. input information, for the model of spatial-temporal analysis of biomass production. Apart from the maps, we generated annual tables with information on temporal NPP distribution on the 8-day level within one year.

The collection, processing and adjustment of the satellite products were performed via Google Earth Engine (GEE)³, which enables access and analysis of a large number of sets of spatial data.

GEE is a recent technology which represents a web-based platform intended to monitor and measure changes in Earth's surface. The platform offers free access to an extensive data catalogue resulting from years of Earth observation. GEE calculations

1 https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod17a3h_v006

2 https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/myd17a2h_v006

3 <https://earthengine.google.com/>

1 https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod17a3h_v006

2 https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/myd17a2h_v006

3 <https://earthengine.google.com/>

насталој од вишегодишњег осматрања (опсервације) Земље. Рачунања у GEE изводе се помоћу Гуглове инфраструктуре, гдје су анализе аутоматски паралелизоване тако да паралелно могу бити укључени многи компјутерски процесори приликом одређеног рачунања. Каталог података GEE спаја петабајтне податке осматрања Земље и саму апликацију чиме се елиминише потреба за преузимањем и управљањем подацима на локалној инфраструктури. Ово је од изузетног значаја нарочито за обимне и захтјевне геопросторне анализе. GEE складишти изворне податке у својој оригиналној пројекцији са свим оригиналини подацима и метаподацима. Подаци из других извора могу се користити и GEE, те се могу репројектовати ако је то неопходно.

Каталог података садржи скоро комплетан сет података од Ландсат 4, 5, 7 и 8 сателита, преузетих са “USGS Earth Resources Observation and Science”⁴ архиве, MODIS⁵ сателитске скупове података, Сентинел (Satellite Sentinel Project)⁶ сателитске податке, затим велики број дигиталних модела рељефа, атмосферских података, метеоролошких података и низ других скупова података⁷.

Постпроцесинг преузетих и обрађених података у облику просторно-временских анализа извршен је у QGIS десктоп ГИС апликацији.

2. ПОДАЦИ И МЕТОДЕ

2.1 Коришћени подаци

Коришћени подаци у овом раду базирани су на Насиним (енг. NASA) продуктима даљинске детекције, добијени са Тера Модис (енг. TERRA MODIS) и Аква Модис (енг. AQUA MODIS) сензора. Насин пројекат MOD17 обезбјеђује континуиране податке о GPP и NPP за цијелу Земљину површину, почев од 2004. године. Циљ

are performed via Google infrastructure, in which analyses are automatically parallelized so that specific calculations may parallelly cover multiple computer processors. The GEE data catalogue comprises 5-bit data on Earth observations and the application itself, so as a result, we eliminate data download and management on a local infrastructure. It is crucial for extensive and demanding geospatial analyses. GEE stores source data in its original projections along with all original information and metadata. Data from other sources may also be used and reprojected in GEE if necessary.

The data catalogue contains a complete set of data: Landsat 4, 5, 7 and 8 downloaded from “USGS Earth Resources Observation and Science”⁴ archive, MODIS⁵ satellite data sets, Satellite Sentinel Project⁶ data, many digital relief models, atmosphere data, weather information, and other data sets⁷.

Post-processing of downloaded and processed data in form of spatial-temporal analyses was performed in QGIS desktop GIS application.

2. DATA AND METHODS

2.1 Used data

The data used in this paper are based on NASA remote sensing products downloaded from TERRA MODIS and AQUA MODIS sensors. NASA’s MOD17 project has been providing continuous information on GPP and NPP for the whole Earth surface, starting with 2004. The objective of MOD17 is to

4 <https://www.usgs.gov/>

5 <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

6 <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>

7 <https://earthengine.google.com/datasets/>

4 <https://www.usgs.gov/>

5 <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

6 <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>

7 <https://earthengine.google.com/datasets/>

MOD17 пројекта је да се изврши континуирана процјена бруто/нето примарне продукције вегетације за цијелу Земљину површину. Излази MOD17 пројекта корисни су за управљање земљиштем, природним ресурсима, глобалну анализу кружења угљеника, мониторинга промјена животне средине и процјену статуса екосистема. MOD17⁸ је дио Насиног система за осматрање земље (енг. EOS-Earth Observing System) и први је сателитски изведен систем за праћење продукције вегетације на глобалном нивоу.

За рачунање и анализу трендова нето примарне продукције користили смо MODIS производе: годишњи кумулативни NPP MOD17A3H, затим MODIS производ (MYD17A2H) који представља кумулативни показатељ бруто примарне продукције (GPP) за сваких 8 дана. Оба производа су просторне резолуције од 500 м.

Истраживачка лабораторија NTSG (енг. Numerical Terradynamic Simulation Group) на Универзитету Монтана у Мисули (САД), обезбјеђује у континуитету процјене GPP и NPP на основу MODIS података (Zhao et al., 2005; Zhao and Running, 2010).

Ови подаци резултат су MOD17 алгоритма који се заснива на оригиналној логици Монтеит-а (Monteith, 1972) о ефикасности употребе радијације. Он сугерише да је годишња продукција усјева у условима добре наводњености и прихрањености, линеарно везана са количином апсорбоване сунчеве енергије коју биљке апсорбују током вегетационог периода. Ова логика комбинује просторна ограничења (расположива сунчева свјетлост која допире до одређене површине или мјеста) са еколошким ограничењима које се односи на површину листа који апсорбује сунчеву енергију (енг. Leaf area index), односно количину апсорбоване фотосинтетичке активне радијације (енг. Absorbed Photosynthetically Active Radiation-APAR).

За рачунање NPP, MOD17 процјењује на дневном нивоу респирацију (R_{lr}), затим годишњу респирацију прираста (R_g) и

continuously evaluate gross/net primary productions of the entire Earth vegetation. The outputs of MOD17 are usefull for the management of land and natural resources, the global analysis of carbon circulation, monitoring of environment changes, and assessment of ecosystem status. MOD17⁸ is a part of NASA Earth Observing System (EOS) and it is the first satellite system for monitoring global vegetation production.

We used the following MODIS products for calculating and analyzing the net primary production: annual cumulative NPP MOD17A3H, and MODIS-based MYD17A2H product which represents a cumulative indicator of gross primary production (GPP) for each eight days. Both these products have the spatial resolution of 500 m.

The NTSG (Numerical Terradynamic Simulation Group) research laboratory at the University of Missoula, Montana (USA) provides continuous assessment of GPP and NPP based on MODIS data (Zhao et al., 2005; Zhao and Running, 2010).

These data are a result of the MOD17 algorithm based on the original Monteith logic (Monteith, 1972) on the efficiency of radiation usage. The algorithm suggests that the annual production of crops, under the conditions of rich irrigation and nutrition, is linearly related to the amount of absorbed Sun energy captivated by plants during vegetation period. This logic combines spatial limitations (the available sunlight piercing through to the specific surface of location) with the ecological limitations related to leaf area absorbing the sunlight energy (Leaf area index), i.e. the amount of Absorbed Photosynthetically Active Radiation-APAR.

For the calculation of NPP, MOD17 evaluates the daily respiration (R_{lr}), the annual growth respiration (R_g) and annual respiration of live cells within the plant tissue (R_m).

By measuring the Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR),

⁸ <http://www.ntsg.umn.edu/project/mod17>

⁸ <http://www.ntsg.umn.edu/project/mod17>

годишњу респирацију живих ћелија у ткиву биљака (R_m).

Мјерењем апсорбоване фотосинтетичке активне радијације (APAR), интегрише се географска и сезонска варијабилност дужине дана са потенцијалним ометањима зрачења, као што је дневна облачност и пригушеност сунчеве свјетлости (аеросоли). Поред тога APAR имплицитно квантификује лисну површину која апсорбује радијацију (енг. Leaf area index).

Апсорбована фотосинтетичка активна радијација се трансформише у процјену продуктивности преко параметара ефикасности конверзије.

Ефикасност коришћења свјетлости - ϵ (енг. Light use efficiency), разликује се од типа вегетације и климатских услова. Алгоритам укључује разлике у максималној ϵ између типова вегетације и снижава се под условима недостатка воде (ScaleWater_Stress) или ниских температура (ScaleTemp)⁹.

Ефикасност конверзије ϵ , преводи APAR (у енергетске јединице) ка коначном расту ткива или NPP.

За добијање GPP и NPP кључни улазни подаци MOD17 алгоритма су:

Дио фотосинтетичког активног зрачења (FPAR), те индекс лисне површине (LAI) који су садржани у Модис производу MOD15 LAI/FPAR.

Температура, надлазеће сунчево зрачење и дефицит притиска водене паре који су изведени из метеоролошких података. Метеоролошки скупови података које користе различите верзије MOD17 алгоритма, односе се на производе Насине канцеларије за глобално моделовање и асимилацију (NASA Global Modeling and Assimilation Office and the NCEP/NCAR Reanalysis II).

Подаци класификације земљиног покривача-производ Модис MCD12Q1

Табела за претраживање параметара Биома (BPLUT) која садржи вриједности ϵ_{max} за различите типове вегетације, те низ других биом-специфичних физиолошких параметара

we integrate geographical and seasonal variabilities of day duration with the potential radiation disturbances, such as daily cloudiness and sunlight smother (aerosols). In addition, APAR implicitly quantifies the leaf area index.

The Absorbed Photosynthetically Active Radiation transforms into the assessment of productivity via the light use efficiency parameters.

The Light use efficiency - ϵ , varies depending on the vegetation type and weather conditions. The algorithm includes disparity in maximum ϵ among different vegetation types and decreases under the conditions of water shortage (ScaleWater_Stress) or low temperatures (ScaleTemp)⁹.

The Light use efficiency - ϵ , transforms APAR (into energy units) towards the final tissue growth or NPP.

For obtaining GPP and NPP, the key input data of MOD17 algorithm are as follows:

Fraction of photosynthetically active radiation (FPAR) and Leaf area index (LAI) both which are parts of MOD15 LAI/FPAR Modis product.

Temperature, sun radiation, and water-steam pressure deficit drawn from weather data. Weather data sets that use different versions of MOD17 algorithm refer to products of NASA Global Modeling and Assimilation Office and the NCEP/NCAR Reanalysis II.

Information on Earth Cover Classification - MCD12Q1 Modis product

The Biome Property Look-Up Table (BPLUT) that contains ϵ_{max} values for different vegetation types, and a whole range of other biome-specific physiological parameters crucial for respiration calculations.

A detailed insight into MOD17 algorithm is provided in the "Daily GPP and annual NPP" handbook (Zhao and Running, 2015).

The main output data of MOD17 product are as follows: 8-day GPP ($GPP = \epsilon_{max} * Temperature_Scalar * Water_Stress_Scalar *$

⁹ <http://www.ntsg.umd.edu/project/mod17>

⁹ <http://www.ntsg.umd.edu/project/mod17>

неопходних за израчунавање респирације.

Детаљни увид у MOD17 алгоритам дат је у корисничком упутству „Дневни GPP и годишњи NPP“ (Zhao and Running, 2015).

Главни излазни подаци MOD17 производа подразумевају: 8-дана GPP ($GPP = \varepsilon_{max} * Temperature_Scalar * Water_Stress_Scalar * APAR$), 8-дана нето фотосинтеза - Net Photosynthesis (PSNet = $GPP - R_{lr}$), годишњи NPP - Annual NPP ($NPP = PSNet_Sum - R_g - R_m$).

2.2 Методе

У GEE издвојени су из каталога података два MODIS производа: MOD17A3H (годишњи NPP) и MYD17A2H (GPP кумулативни за 8 дана) за унапријед одређен период осматрања (2005-2014). Како би анализирали кретање вриједности NPP током године, тачније сваких 8 дана, израчунат је NPP за сваких 8 дана. Кумулативни NPP за 8 дана узима у обзир одржавање, раст и дисање биљака током године и настао је из скупа података према вриједностима GPP за сваких 8 дана и сумом свих вриједности GPP у току године (GPP годишњи). Рачунање NPP 8 извршено је у GEE према формули:

$$NPP8 = (GPP8 / GPP_{god}) \times NPP_{god}$$

Вриједности NPP8 током године, извезене су из GEE у ексел формату у ком су презентоване у виду дијаграма.

NPP описује нето угљеник (C) којег је вегетација апсорбовала као резултат асимилације (унутар) и респирације (изван). Количина C изражава се кроз масу по јединици површине (kg/m^2). С обзиром на стехиометријски однос молекулских маса CH_2O (као производа) и C (као полазне материје у реакцији) израчуната је продукција суве материје (CH_2O), односно продукција суве биомасе према следећој формули (количина акумулираног угљеника се множи са односом молекулских маса угљених хидрата и угљеника) (FAO, 2015):

$$Биомаса = NPP \times 30/12$$

Вриједности продукције биомасе изражене

APAR), 8-day Net Photosynthesis (PSNet = $GPP - R_{lr}$), Annual NPP ($NPP = PSNet_Sum - R_g - R_m$).

2.2 Methods

In GEE, two MODIS products were extracted from the data catalogue: MOD17A3H (annual NPP) and MYD17A2H (GPP cumulative for 8-day period) for a predetermined observation period (2005-2014). In order to analyse the annual shift of NPP values, each 8 days more precisely, we calculated NPP for each 8 days. The cumulative NPP for 8 days takes into consideration the maintenance, growth, and breathing of plants during a year and it covers the data set in line with GPP values for each 8 days and the sum of all GPP values during a year (annual GPP). Calculation of NPP 8 was performed in line with the following formula:

$$NPP8 = (GPP8 / GPP_{god}) \times NPP_{god}$$

NPP8 values during a year were extracted from GEE in Excel format, in which they are presented in forms of diagrams.

NPP describes the net amount of carbon (C) absorbed by vegetation as a result of assimilation (inward) and respiration (outward). The amount of C is described as mass per surface unit (kg/m^2). The carbon-dioxide (CO_2) flow is the plant carbon source, and the general photosynthesis equation determines if the carbon converts into carbon-hydrates (CH_2O), thus being the key element of the vegetation dry matter. Considering its molecular weight, C weight may convert into dry matter production (CH_2O) or biomass production (FAO, 2015).

Conversion of carbon into dry matter or dry biomass was performed in line with the following formula (the amount of accumulated carbon multiplies with the molecular mass of carbon-hydrates) (FAO, 2015):

су у kg/m^2 суве биомасе и генерисане у виду растерских ГИС слојева у GEE апликацији. Ради даље обраде слојеви су експортирани у .tif формат. Комплетан изворни код за преузимање и обраду података у GEE апликацији дат је у прилогу 1.

Након што су преузети, обрађени и експортирани подаци, коришћењем GEE апликације, исти су увезени у QGIS десктоп ГИС апликацију, у чему је извршена анализа просторно-временских обиљежја продукције биомасе на подручју Републике Српске.

$$\text{Biomass} = \text{NPP} \times 30/12$$

Values of biomass production are expressed in kg/m^2 of dry biomass and generated as raster GIS layers in GEE application. Due to a thorough processing, the layers were exported in .tif format. The whole source code for downloading and processing of data in the GEE application is provided in Appendix 1.

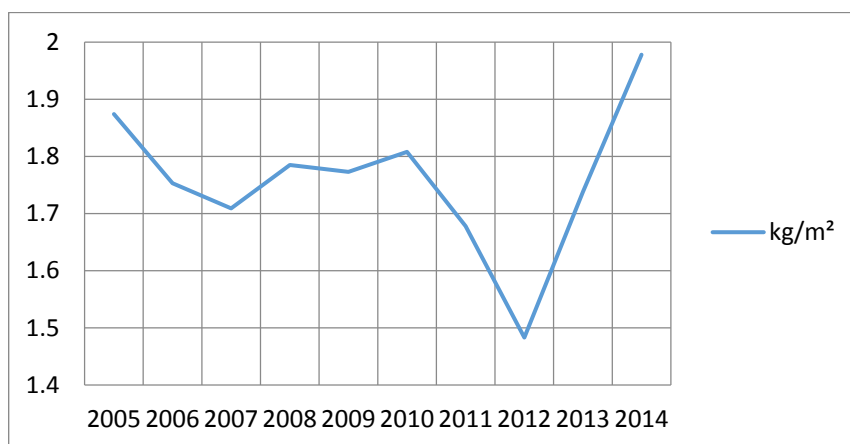
Once they were downloaded, processed and exported by using GEE application, the data were entered in the QGIS desktop GIS application and the analysis of spatial-temporal features of biomass production in the Republic of Srpska was performed.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На дијаграму 1 приказана је просјечна годишња продукција суве биомасе, изражена у kg/m^2 , на подручју Републике Српске, у посматраном десетогодишњем периоду. Са дијаграма се може уочити да је у посматраном периоду продукција биомасе варирала од 1,48 до 1,98 kg/m^2 . Обзиром да продукција биомасе директно зависи од климатских услова, може се претпоставити да је у сушнијим годинама (годинама са мањом количином падавина) продукција биомасе била на nižем нивоу. У том погледу посебно се истичу 2011. и 2012. година.

3. RESEARCH RESULTS

Diagram 1 displays the average annual dry biomass production in the Republic of Srpska expressed in kg/m^2 during the observed ten-year period. The diagram shows that the biomass production during the observed period varied from 1,48 to 1,98 kg/m^2 . Since the biomass production directly depends on climate conditions, we may assume that in the dry years (years with poor precipitation), the biomass production was lower. Hence, the years of 2011 and 2012 are specific.



Дијаграм 1 - Просјечна годишња продукција суве биомасе на подручју Републике Српске (2005-2014)
Diagram 1 – Average annual dry biomass production in the Republic of Srpska (2005-2014)

На карти 1 приказана је просторна расподјела просјечне годишње продукције суве биомасе на подручју Републике Српске, у посматраном десетогодишњем периоду. Просторна расподјела продукције биомасе зависи од више фактора, најважнији су начини коришћења земљишта и климатски услови. Са карте се може уочити да је продукција биомасе израженија у шумским подручјима, нарочито у зонама листопадних шума. Четинарске шуме, због своје физиологије, имају нешто мању продукцију биомасе. У подручјима која су приведена интензивној аграрној производњи уочава се снижени обим продукције биомасе. Ово запажање се може објаснити чињеницом да се у природним екосистемима продукција одвија током цијелог вегетационог периода, док се у вјештачким екосистемима (пољопривредне површине) продукција одвија само у једном дијелу вегетационог периода (од садње/сијања до брања/жетве).

На дијаграму 2 приказана је временска расподјела продукције суве биомасе унутар појединих посматраних година. Јасно се може закључити да се интензивна продукција биомасе на подручју Републике Српске одвија у вегетационом периоду (март-октобар), што је директно одређено климатским условима (температурним условима). Унутар појединих година виде се одређена одступања, знатна снижења продукције у љетним мјесецима, што је директно условљено режимом падавина. Такође, може се уочити период почетка интензивне продукције. Зависно од температурних услова у прољеће, почетак интензивне продукције креће се од почетка марта, до краја априла.

На карти 2 приказана су одступања годишње продукције суве биомасе од просјечне годишње продукције у посматраном десетогодишњем периоду, за сваку посматрану годину посебно. На карти су приказана позитивна (већа продукција у односу на просјечну) и негативна (мања продукција у односу на просјечну) одступања. Из прилога се може јасно уочити временска и просторна дистрибуција дефинисаних одступања. Посебно се издвајају

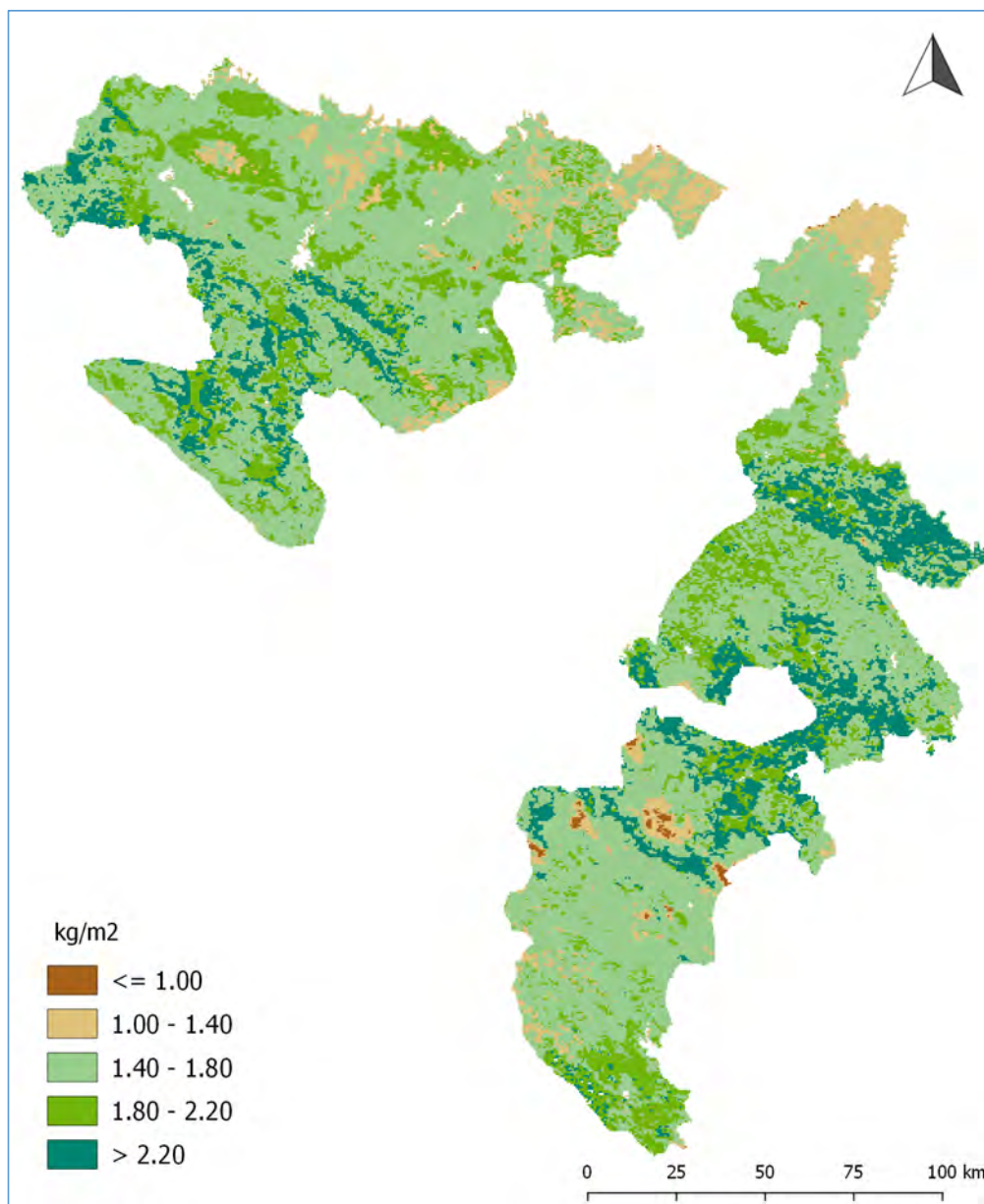
Map 1 displays the spatial distribution of average annual dry biomass production in the Republic of Srpska during our target ten-year period. The spatial distribution of biomass production depends on several factors, and the most pertinent ones are land use and climate conditions. The map indicates that biomass production is more pronounced in forest areas, especially in zones of deciduous woods. Due to their physiology, conifer woods produce somewhat less biomass. In zones of intensive agrarian production, there is a low biomass production. This observation may be accounted for by the fact that, in natural ecosystems, the production takes place during the whole vegetation period, whereas in artificial ecosystems (arable land) the production takes place only during a part of vegetation period (from sieving until harvest).

Diagram 2 displays a temporal distribution of dry biomass production during specific observed years. We may clearly infer that the intensive biomass production in the Republic of Srpska takes place during vegetation period (March-October), which is directly conditioned by weather conditions (temperatures). During specific years, we observe slight deviations in production in summer season, which is directly affected by precipitation regime. Furthermore, we may clearly conclude about the start of intensive production. Depending on the temperature in spring, the intensive production starts in early March/late April.

Map 2 displays deviations of annual dry biomass production from the average annual production during the observed ten-year period, for each year individually. The map shows positive (production larger than average) and negative (production smaller than average) deviations. Hence, we may clearly see the temporal and spatial distribution of the defined deviations. Years 2010 and 2014 are the years of the above average biomass production in the Republic of Srpska. On the other hand, year 2012 is the year of the below average biomass production

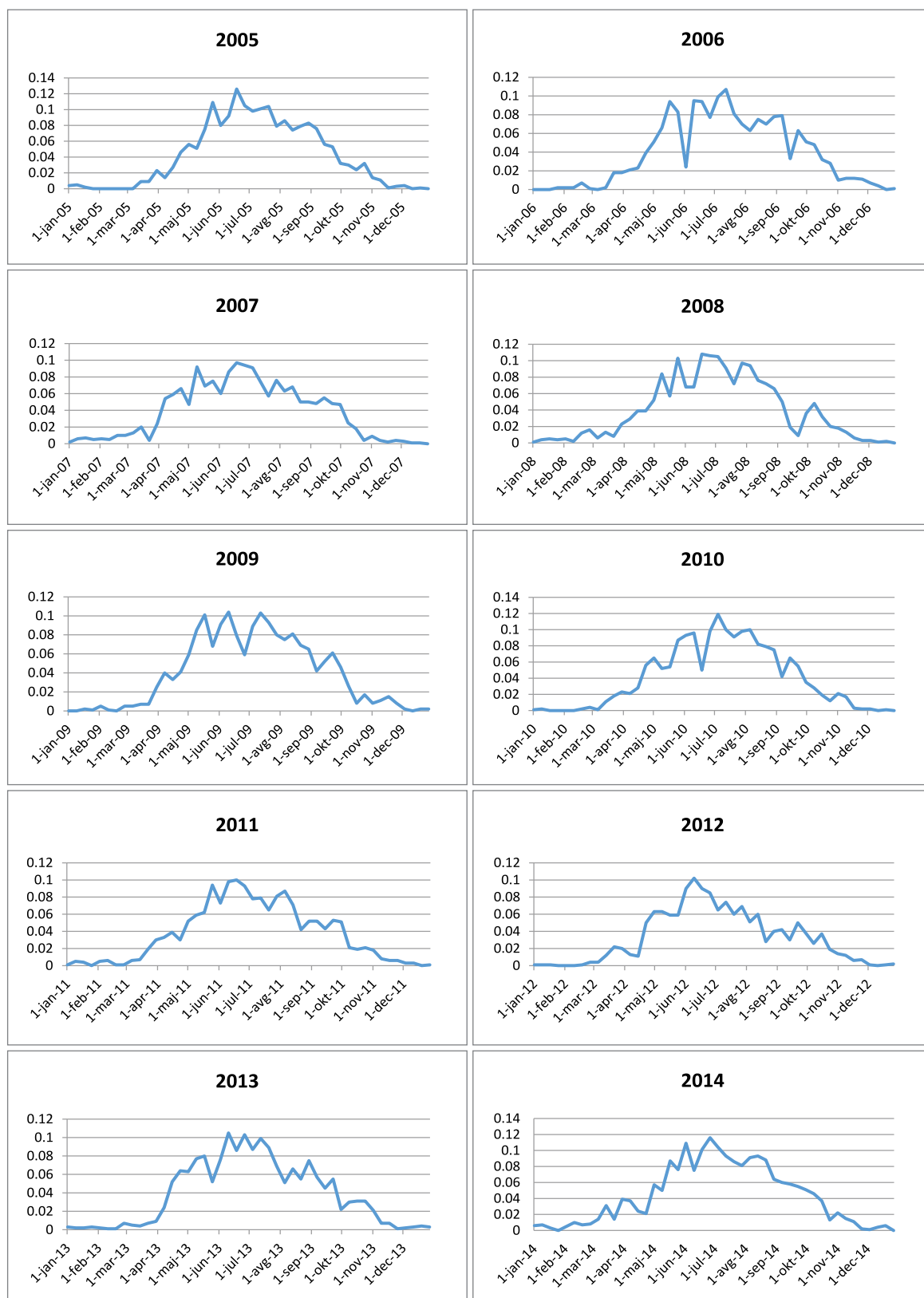
2010. и 2014. година, као године у којима ја на подручју цијеле Републике Српске била изнадпросјечна продукција биомасе. Док се 2012. година одликује, на цијелом посматраном подручју, исподпросјечном продукције. У 2011. години сниженом продукцијом одликује се сјеверни дио Републике Српске, док је у 2008. години ситуација била обрнута, јужни дио се одликовао смањеном продукцијом.

in the whole target territory. In addition, 2011 was the year of low production in north Republic of Srpska and 2008 was the year of low production in south of the territory.



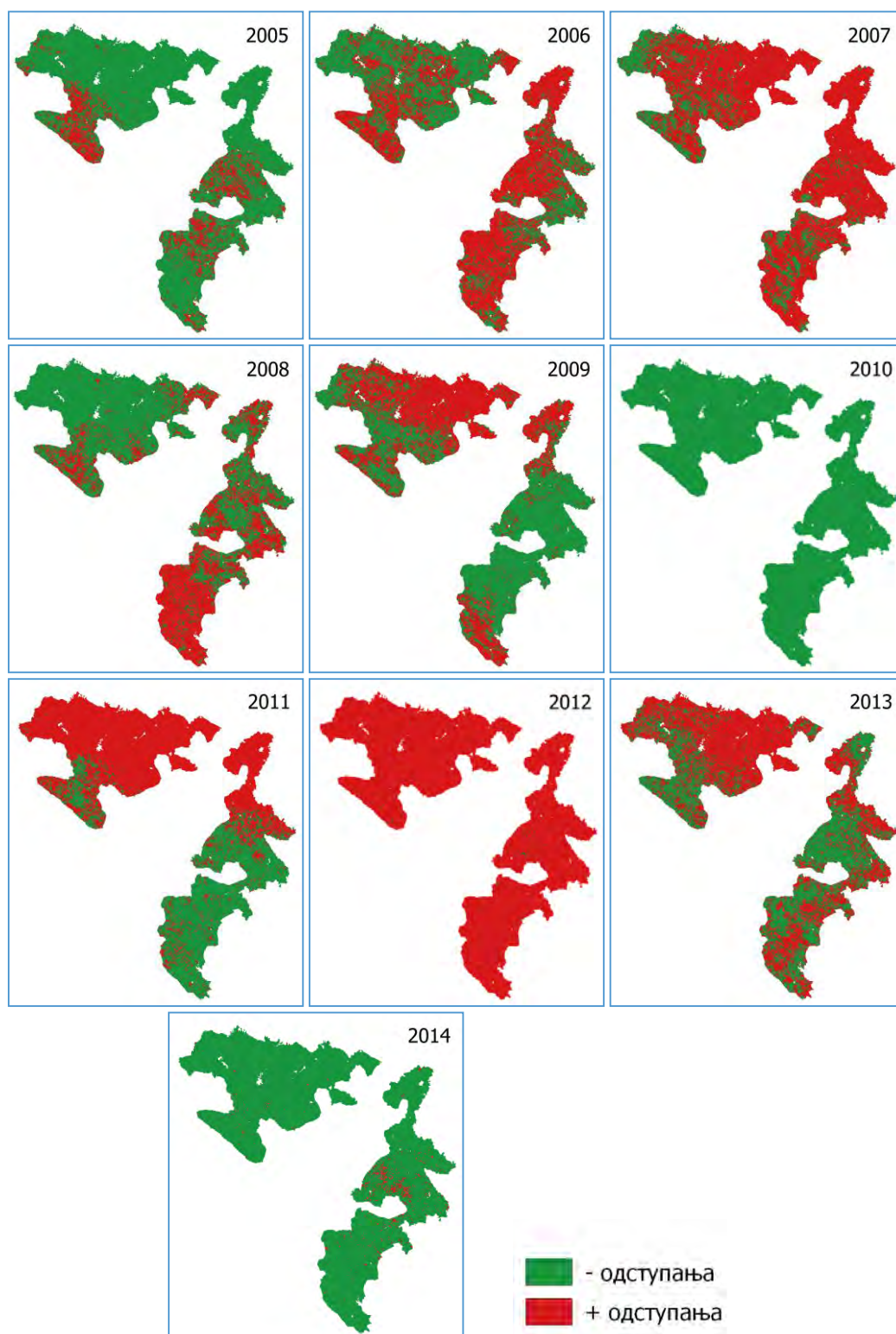
Карта 1 - Просторна расподела просјечне годишње продукције суве биомасе на подручју Републике Српске (2005-2014)

Map 1 – Spatial distribution of average annual dry biomass production in the Republic of Srpska (2005-2014)



Дијаграм 2 - Временска расподела просјечне продукције суве биомасе по годинама у посматраном периоду (kg/m^2)

Diagram 2 – Temporal distribution of average dry biomass production per years during the observed period (kg/m^2)



Карта 2 - Позитивна и негативна одступања годишње продукције биомасе у односу на просјечну продукцију у десетогодишњем периоду
Map 2 – Positive and negative deviations of the annual biomass production in contrast with the average ten-year production

3. ЗАКЉУЧЦИ

Просторно-временска истраживања продукције биомасе имају велики значај и примјену у различитим аспектима људског дјеловања, као што су: праћење стања екосистема, праћење климатских промјена, праћење утицаја климатских промјена на модификацију екосистема, доношење одлука о прилагођавању на климатске промјене, управљању екосистемима, планирању искоришћавања екосистема и сл.

Савремене информационе технологије омогућавају ефикасан приступ у спровођењу просторно-временских анализа продукције биомасе, гдје се посебно истичу географске информационе технологије и даљинска детекција, у смислу прикупљања и анализе података.

У овом раду је дат преглед и описан поступак преузимања и обраде продуката даљинске детекције, који су коришћени за идентификацију и анализу продукције биомасе на подручју Републике Српске, те су приказани резултати истраживања.

У посматраном десетогодишњем приоду уочено је да постоје одређена просторна и временска одступања у расподјели продукције суве биомасе на подручју Републике Српске. Одступања се могу довести у везу са климатским условима (температурним и падавинским режимима), начинима коришћења земљишта, те здравственим билансом појединих екосистема.

Примјењена методологија у овом раду и приказани резултати могу послужити у теоретске и практичне сврхе, у областима: екологије, заштите животне средине, климатологије, аграра, шумарства, просторног планирања и сл.

3. CONCLUSION

Spatial-temporal research on the biomass production are highly pertinent and applicable in different aspects of human actions such as the ecosystem condition monitoring, climate change monitoring, tracking the impact of climate changes on the ecosystem modification, decision making on the adjustment to climate changes, ecosystem management, ecosystem usage planning, etc.

Modern information technologies enable an efficient access to performing spatial-temporal analyses on biomass production, especially geographical information technologies and remote sensing that are crucial for data collection and analysis.

The paper outlined and described the procedure of downloading and processing of remote sensing products, which were used to identify and analyze biomass production in the Republic of Srpska and finally, displayed the research results.

The observed ten-year period showed specific spatial and temporal deviations in distribution of dry biomass production in the Republic of Srpska territory. These deviations may be connected with climate conditions (temperatures and precipitation), land use, and health balance of specific ecosystems.

The methodology applied in the paper and the results displayed may be of both theoretical and practical use within the fields of ecology, environment protection, climatology, agrarian production, forestry, spatial planning, etc.

ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ/REFERENCES

- Campbell, N. A. (1990). *Biology*. Redwood City, CA, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Crabtree, R., Potter, C., Mullen, R., Sheldon, J., Huang, S., Harmsen, J., Rodman, A., Jean, C. (2009). A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator. *Remote Sensing of Environment* 113 (2009) 1486–1496. Elsevier Science Inc., 2009.
- Cramer, W., and C. B. Field. 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): introduction. *Global Change Biology* 5(Supplement 1):iii–iv.
- FAO project TCP /AFG/3402, 2015. Water accounting through Remote Sensing (WA+) in Helmand River Basin. Analysis on water availability and uses in Afghanistan river basins.
- Field, C. B., Randerson, J. T., and Malmstrom, C. M. (1995). Global net primary production: Combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 51:74-88 (1995) Elsevier Science Inc., 1995.
- Hansen, M., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S., Loveland, T., et al., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342 (6160), 850–853.
- Jihye, L., Sinkyu, K., Keunchang, J., Jonghan, K., Sukyoung, H. (2011). Monitoring of Gross Primary Productivity (GPP) and Crop Yield via MODIS in Soyang River Basin, South Korea. 2011 TERRECO Science Conference October 2 – 7, 2011; Karlsruhe Institute of Technology, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
- Whitten T, Whitten A, Soeriaatmadja R, Afiff S (1996) *The ecology of Java and Bali*. Oxford University Press, Oxford
- Zhao, M., & Running, S. W. (2008). Remote sensing of terrestrial primary production and carbon cycle. In *M Advances in Land Remote Sensing* (pp. 423-444). Springer Netherlands. Zhao, T., Brown, D.
- Zhao, M., & Running, S. W. (2008). User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. Version 3.0 For Collection 6 October 7, 2015. NASA DAAC.
- Пешић, Б. С. (2011). *Основи екологије*. Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет

ПРИЛОГ 1 - Изворни код за преузимање и обраду података у GEE
APPENDIX 1 - Source code for download and processing of data in GEE

```
// import the sub basins as a fusion table

1. var RS = ee.FeatureCollection('ft:1D0zP0EjQis7THjO2gwE0xa-  
RdZRWStqi3WKCBOmi').geometry();
2.
3. // set location and zoom level
4. Map.centerObject(RS,6);
5.
6. // add the layer
7. Map.addLayer(RS,false,"Republika Srpska");
8.
9.
10. // Define period
11. var startdate = ee.Date.fromYMD(2005,1,1);
12. var enddate = ee.Date.fromYMD(2005,12,31);
13.
14. // filter npp
15. var nppCollection = npp.filterDate(startdate, enddate)
16.                          .filterBounds(RS)
17.                          .select("Npp");
18. // filter gpp
19. var gppCollection = gpp.filterDate(startdate, enddate)
20.                          .filterBounds(RS)
21.                          .select("Gpp");
22.
23.
24. // calculate the npp8
25. var myNpp = function(myimg){
26.   // get date
27.   var d = ee.Date(myimg.get('system:time_start'))
28.   // get year
29.   var y = d.get('year').toInt();
30.
31.   // filter for year for GPP and NPP
32.   var GPPy = ee.Image(gppCollection.filter(ee.Filter.calendarRange(y, y,
'year')).sum());
33.   var NPPy = ee.Image(nppCollection.filter(ee.Filter.calendarRange(y, y,
'year')).mean());
34.   var npp8 = myimg.expression('(GGP8 / GPPy) * NPPy',
35.   {
36.     GGP8: myimg,
37.     GPPy: GPPy,
38.     NPPy: NPPy
39.   });
40.
41.   // multiply with scale factor
42.   npp8 = npp8.multiply(0.0001);
43.
44.   return npp8.copyProperties(myimg,['system:time_start'])
45. }
46.
47. var npp8Collection = ee.ImageCollection(gppCollection.map(myNpp));
48.
49. // calculate the Biomass
50.
51. var Biomass = function(myimg){
52. var biomass = myimg.multiply(2.5);
```



```
53. return biomass.copyProperties(myimg,['system:time_start']);
54. }
55. // map biomass production
56. var biomassCollection = npp8Collection.map(Biomass);
57.
58. // create vizualtion settings
59. var biomass_viz = {min:300.0, max:800, palette:"b27c00,ffff33,58ff33,146003
    "};
60.
61. // add the image
62. Map.addLayer(biomassCollection.sum().clip(RS),biomass_viz,"npp RS")
63.
64.
65. // Predefine the chart titles.
66. var title = {
67.   title: 'Produkcija biomase u Republici Srpskoj',
68.   hAxis: {title: 'Time'},
69.   vAxis: {title: 'Biomasa (kg/m2)'},
70. };
71.
72. print(biomassCollection)
73.
74. // create chart
75. var biomassChartRS = ui.Chart.image.seriesByRegion(biomassCollection,
76.                                                       RS,
77.                                                       ee.Reducer.mean(),
78.                                                       'Gpp',
79.                                                       500,
80.                                                       'system:time_start').setOptions(
    title);
81. // plot chart
82. print(biomassChartRS)
83.
84. // Export the image, specifying scale and region.
85. var suma = biomassCollection.sum().clip(RS);
86. Export.image.toDrive({
87.   image: suma,
88.   description: '2005',
89.   scale: 500,
90. });
```