

## Употреба сателитских снимака за праћење климатских промјена и управљање посљедицама

Даворин Бајић<sup>1</sup>, Лука Сабљић<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет  
davorin.bajic@pmf.unibl.org; luka.sabljić@pmf.unibl.org

**Сажетак.** Људска цивилизација живи у времену евидентних климатских промјена. Интензитет промјена је све израженији, што је примјетно кроз појаву све израженијих падавинских и температурних екстрема, поплава, суша, пожара, деградације шумских површина, пољопривредног земљишта и сл. У научној заједници велики се напори улажу за идентификацију климатских промјена у смислу параметризације и моделовања, са циљем праћења и предикције. Поред тога, значајни напори се улажу у развијање модела и система за управљање посљедицама климатских промјена. Савремени приступи за праћење и управљање посљедицама климатских промјена незамисливи су без употребе даљинске детекције и сателитских снимака. Помоћу сателитских снимака, у реалном времену, прикупља се значајан обим параметара, чијом се обрадом и анализом на ефикасан начин може вршити праћење климатских промјена, али и управљање њиховим посљедицама. У овом раду је дат преглед савремених достигнућа из области даљинске детекције и сателитских технологија у домену њихове примјене за праћење климатских промјена и управљање посљедицама.

**Кључне ријечи:** Климатске промјене, даљинска детекција, сателитски снимци, праћење, управљање.

---

*Цитирање:* Бајић Д, Сабљић Л (2023) Употреба сателитских снимака за праћење климатских промјена и управљање посљедицама. У: Јакуповић Е, Говедар З (уредници) Значај климатских промјена за животну средину. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Зборник радова: 77–90

---

*Cite as:* Bajić D, Sabljčić L (2023) Use of satellite images to monitor climate change and manage consequences. In: Jakupović E, Govedar Z (eds) Significance of forest ecosystems for the environment. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Proceedings: 77–90

## 1. Увод

Климатске промјене могу на више различитих начина да утичу на живот човјека. Утицај климатских промјена може се видјети кроз: подизање нивоа мора, екстремне временске догађаје, утицаје на здравље, безбједност хране и воде, губитак биодиверзитета, миграције и расељавање.

Подизање нивоа мора доводи до посљедица које се огледају у томе да су градови на обалама рањивији на поплаве, ерозију и олујне ударе, што доводи до оштећења инфраструктуре и расељавања становништва. Климатске промјене доводе до све чешћих и интензивнијих метеоролошких догађаја (нпр. урагани, поплаве, суше и топлотни таласи), који узрокују губитак људских живота, штету на инфраструктури, као и несташицу хране и воде. Такође, климатске промјене имају директан утицај на људско здравље кроз повећану изложеност човјека топлотном стресу и загађењу ваздуха. Оне доводе до губитка биодиверзитета и деградације екосистема. Климатске промјене исто тако доводе до расељавања становништва, посебно у рањивим областима, као што су приобална подручја, подручја са екстремном сушом, што доводи до повећане друштвене, економске и политичке нестабилности.

Људско друштво суочава се са великим изазовима који подразумевају смањење емисије штетних гасова, прилагођавање клими и заштиту најугроженије популације.

Идентификација климатских промјена укључује параметризацију и моделовање климатских елемената, као што су: температура, падавине, типови атмосферске циркулације итд. Параметризација подразумева дефинисање климатских елемената, као што је однос температуре и атмосферске циркулације. Климатски модели користе параметризоване односе за симулацију понашања климатског система у различитим условима. Они могу бити једноставни (нпр. употреба физичких једначина), или сложени (употреба алгоритама и велике количине података) (Forster et al., 2019). Циљ праћења и предвиђања климатских промјена је коришћење климатских параметара како би се разумијело тренутно стање климе, те идентификовале промјене, трендови и предвидјели будући климатски услови. Добијени резултати могу се користити у сврху доношења различити политика и одлука у областима као што су енергетика, пољопривреда, шумарство и сл.

Процес праћења и предвиђања климе може се побољшати употребом напредних технологија, као што је даљинска детекција. Даљинска детекција даје могућност сателитског посматрања Земље, које обезбјеђује упоредне и свеобухватне информације о површини Земље и атмосфери у скоро реалном времену. Интеграција података даљинске детекције са климатским моделима

може довести до бољег разумијевања климатског система и прецизнијег предвиђања истог.

## **2. Даљинска детекција у функцији климатских промјена**

Даљинска детекција игра кључну улогу за праћење и управљање климатским промјенама. Обрадом сателитских снимака, као продукција даљинске детекције, могуће је глобално праћење климатских и еколошких параметара у реалном времену, што омогућава параметризацију и моделовање климатских параметара, управљање природним ресурсима и катастрофама, планирање инфраструктуре отпорне на климатске промјене, доношења одлука везаних за прилагођавање на климатске промјене и сл. У функцији праћења климе, даљинска детекција може обезбједити континуирана, упоредна и свеобухватна посматрања климатских елемената, која се могу користити у сврху праћења промјена у климатском систему.

Сателитски снимци добијени даљинском детекцијом могу се интегрисати са климатским моделима како би се побољшала тачност климатских предвиђања и обезбједила правовремена упозорења о потенцијалним климатским утицајима, као што су суше, поплаве, пожари или топлотни таласи (Hermans and McLeman, 2021). Кан са сарадницима (Khan et al., 2011) је представио методологију засновану на сателитским снимцима за развој и калибрацију хидролошког модела. Циљ рада представља симулација просторног обухвата плавлена, те процјена вјероватноће за откривање поплавлених подручја. У раду је истакнут значај имплементације система за предвиђање поплава у контексту њихове правовремене идентификације, те ублажавања посљедица овог примарног хидролошког хазарда. Такође, даљинску детекцију могуће је користити за праћење утицаја климатских промјена на природне ресурсе, као што су шуме (Negassa et al., 2020), водни ресурси (Chawla et al., 2020) или начин коришћења земљишта (Hussain and Kagirappan, 2021), пружајући информације о промјенама у вегетацијом покривачу, доступности воде и начинима коришћења земљишта.

Даљинска детекција може да упозори на природне катастрофе, као што су урагани (He et al., 2019), пожари, поплаве и клизишта (Zheng et al., 2022), као и да обезбједи подршку у процјенама штете након природних катастрофа (Costache et al., 2020). Бармопутис са сарадницима (Barmpoutis et al., 2020) даје преглед технологија из области даљинске детекције које се односе на сателите са оптичким сензорима, а који се могу користити у системима за правовремено упозоравање на пожаре. У раду је представљено опсежно истраживање за сателитску детекцију пламена и дима који се могу имплементирати у сврху правовременог упозорења на потенцијалне пожаре.

Значај даљинске детекције огледа се и у обезбјеђивању кључних информација о топографији, геологији и коришћењу земљишта дате области, а који се могу користити за подршку у планирању и пројектовању будућих инфраструктурних објеката који ће бити у складу са климатским промјенама (Shirazy et al., 2021; Govender et al., 2021). Даљинска детекција може да пружи значајне информације и за доносиоце одлука, као што су владине агенције и пословни лидери, како би исти подржали адекватне политике и одлуке у областима које се односе на климатске промјене (Pricore et al., 2019).

### **3. Сателитски снимци као производи даљинске детекције**

Сателитски снимци као производи даљинске детекције играју кључну улогу у процесима разумијевања и управљања климатским промјена. Сателити могу континуирано пратити и прикупљати податке о површини Земље и атмосфере кроз праћење основних климатских елемената. Они могу покрити велике географске области, укључујући удаљене и неприступачне регионе, те пружити информације о климатским обрасцима и промјенама широм свијета. Кроз анализу временских серија, сателити могу да обезбједе дугорочну евиденцију климатских промјена, која се може користити за идентификацију трендова и образаца, као и за предвиђања даљих климатских промјена.

Такође, сателитски снимци могу да пруже детаљне информације о стању природних ресурса, као што су шуме, водни ресурси и коришћење земљишта, те се исти могу користити за праћење утицаја климатских промјена на ове ресурсе. У том контексту, висок степене корисности сателитских снимака (Landsat и SPOT) за праћење различитих параметара код шумских површина утврдио је Боченек са сарадницима (Bochenek et al., 2017). На основу сателитских снимака израчунали су вегетационе индексе. Ови индекси описују различита стања биљака, као и структуру вегетације. У раду су анализирани вриједности вегетационих индекса који су добијени у различитим временским интервалима (вегетационим сезонама), а који су у спречи са метеоролошким параметрима. Свеобухватном анализом добијених података извршена је процјена утицаја промјенљивих климатских услова на шуме.

Помоћу сателитских снимака могуће је посматрати промјене у поларним леденим крајевима, на глечерима и морском леду. На овај начин могу се добити кључни подаци о порасту нивоа мора, циркулацији океана и глобалној температури. Исто тако, могуће је пратити и мјерити промјене у количини и дистрибуцији вегетације. Ово је веома важно за разумијевање улоге шума и других екосистема у циклусу кружења угљеника у природи.

На основу сателитских снимака могу се пратити и природне катастрофе (нпр. урагани, поплаве и пожари), као и њихов утицај на животну средину и заједнице, а што може обезбиједити могућност за правовремено реаговање. Такође, помоћу сателитских снимака могуће је мапирати и пратити промјене у температури и киселости океана. Ови подаци су неопходни за разумијевање утицаја климатских промјена на морске екосистеме и биодиверзитет.

Сателитски снимци играју кључну улогу у процесима разумијевања и управљања климатским промјенама, тако што пружају драгоцене информације за праћење климе, предвиђање и доношење одлука, те су од суштинског значаја за побољшање тачности климатских модела, као и за подршку ефикасним стратегијама прилагођавања и ублажавања посљедица климатских промјена.

#### 4. Сателитски програми и мисије

Данас, постоји широк спектар сателитских мисија које се баве посматрањем појава и процеса, а који се односе на области праћења и управљања климатским промјенама. Овдје ће бити представљене само неке од њих и то: Sentinel, Landsat, MODIS, SMOS, GRACE и GOSAT сателитске мисије.

**Sentinel** сателитске мисије представљају саставни дио Коперникус програма, који имплементира Европска свемирска агенција. У програму постоји укупно седам *Sentinel* сателитских мисија. Неке од њих су активне, док неке тек треба да постану активне. Циљ *Sentinel* сателитских мисија јесте обезбјеђивање података високе резолуције за подршку широком спектру апликација, укључујући праћење и управљање климатским промјенама.

**Landsat** представља скуп сателитских мисија које су у функцији од 1972. године. Мисије обезбјеђују сателитске снимке високе резолуције. Користе се за праћење промјена у начину коришћења земљишта, праћење и управљање природним ресурсима итд.

**MODIS** (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) сателитска мисија састоји се од два сателита (Terra и Aqua). Сензор сателита омогућује снимке Земљине површине у високој резолуцији. Снимци се састоје од 36 бандова/опсега електромагнетног спектра. Користе се за праћење копнених и океанских екосистема, укључујући вегетацију, морски лед и температуру океана.

**SMOS** (Soil Moisture and Ocean Salinity) представља сателитску мисију Европске свемирске агенције. Покренута је 2009. године како би обезбједила глобално посматрање влаге у земљишту, као и салинитет океана. Подаци ове сателитске мисије користе се како би се унаприједило и проширило схватање улоге

влаге у земљишту, као и контроли времена и климе, те како би се подржало управљање слатководним ресурсима.

**GRACE** (Gravity Recovery and Climate Experiment) је заједничка мисија иницирана од стране NASA и Њемачког ваздушно-космичког центра. Покренута је 2002. године и била је оперативна до 2017. године. Обезбјеђивала је високо прецизна мјерења Земљиног гравитационог поља, а која су коришћена за праћење промјена у Земљиним леденом покривачу, глечерима, подземним водама, као и за праћење океанских струја и нивоа мора. Без обзира што сателитска мисија више није активна, могуће је користити податке који су прикупљени током рада исте.

**GOSAT** (Greenhouse Gases Observing Satellite) је Јапанска сателитска мисија покренута 2009. године. Основна сврха јој је обезбјеђивање глобалних просматрања гасова стаклене баште, укључујући угљендиоксид и метан. Подаци ове мисије користе се за праћење извора и понора гасова, као и за праћење угљеника између копна и атмосфере.

У раду је наведено само неколико примјера сателитских мисија које се сматрају важним за управљање и праћење посљедицама климатских промјена. Постоји много више мисија, како тренутних, тако и планираних, које доприносе разумијевању климатског система Земље, као и развоју ефикасних стратегија за прилагођавање и ублажавање климатских промјена.

## 5. Copernicus програм и sentinel сателитске мисије

Због значаја који има и широке употребе података овдјећемо посебно истаћи Сентинел сателитске мисије у оквиру Коперникус програма Европске свемирске агенције. Програм Copernicus је пројекат који води Европска унија (ЕУ) и Европска свемирска агенција (ESA). Састоји се од сателита за посматрање Земље под називом *Sentinel*. Сателити из ове мисије пружају снимке високе резолуције са подацима о земљишту, океанима и атмосфери за широк спектар примјена, укључујући праћење и управљање климатским промјенама. Опремљени су напредним сензорима који су у стању да прикупљају податке о климатским елементима. Сателитски снимци се користе за побољшавање тачности климатских модела, за праћење и разумијевање утицаја климатских промјена, као и за подршку политикама и одлукама које се тичу климатских промјена.

Copernicus програм се састоји од укупно седам *Sentinel* сателитских мисија, и то: Sentinel-1, -2, -3, -4, -5P, -5 и -6. Неке од ових мисија су активне (сателити су лансирани и прикупљају податке), док ће неке од њих тек постати активне

у будућности. Свака од сателитских мисија на специфичан начин допринеси или тек треба да допринесе процесу праћења и управљања климатским промјенама.

### **SENTINEL-1**

Коперникус Sentinel-1 мисија се састоји од два сателита, и то: Sentinel-1A и Sentinel-1B. Сваки сателит има напредни радар SAR (Synthetic Aperture Radar). Захваљујући карактеристикама радара, сателитски снимци добијени од ових сателита користе се за праћење утицаја климатских промјена у сљедећим областима: ниво мора, ледени покривач, деформацији копна и океанским струјама.

Сателитски снимци Sentinel-1 мисије могу се користити за праћење нивоа мора. Ово је један од кључних индикатора климатских промјена. Мјерењем висине од површине океана, научници могу процијенити брзину раста нивоа мора, као и његов утицај на приобалне заједнице и екосистеме. Снимци ове мисије користе се и за праћење промјена у леденом покривачу (Nagler, 2015; Karvonen, 2018), укључујући топљење глечера, морски лед и сњежни покривач. Ови подаци су кључни за разумијевање утицаја климатских промјена на Земљину криосферу и глобални хидролошки циклус. Такође, сателитски снимци Sentinel-1 мисије пронашли су примјену и у праћењу промјена у деформацији копнене површине (Strozzi et al., 2018; Hakim et al., 2020; Chen et al., 2022). Значајни су за разумијевање утицаја климатских промјена на инфраструктуру, пољопривреду и друге људске активности. Користе се и за праћење промјена у океанским струјама, укључујући брзину и правац океанских струја (Johnsen et al., 2016; Elyouncha, 2019; Moiseev et al., 2020;). Кључни су за разумијевање утицаја климатских промјена на начине кретања океанске воде односно глобалног хидролошког кретања.

### **SENTINEL-2**

Copernicus Sentinel-2 мисија састоји се од два сателита, и то Sentinel-2A и Sentinel-2B. Сателити се налазе у поларној орбити, смјештени су у истој сунчевој-синхроној орбити, те су распоређени под углом од 180° један према другом. Опремљени су мултиспектралним инструментом за снимање који обезбјеђује сателитске снимке високе резолуције. Подаци добијени захваљујући овој сателитској мисији, користе се за праћење утицаја климатских промјена у сљедећим областима: начинима коришћења земљишта/земљишном покривачу, вегетацији, приобалним подручјима и влажности земљишта.

Сателитски снимци Sentinel-2 мисије могу се користити за праћење промјена у земљишном покривачу односно начину коришћења земљишта (Abdi, 2019;

Phiri et al., 2020;), укључујући крчење шума, урбану експанзију и пољопривреду. Такође, ови снимци могу се користити и за праћење промјена у вегетационом покривачу, укључујући фенологију и биомасу (Misra et al., 2020; Zhang et al., 2022). Кључни су за разумијевање утицаја климатских промјена на вегетацију и глобални хидролошки циклус.

Пронашли су своју примјену и у праћењу промјена у обланим зонама (ерозија плажа и продор слане воде). У том контексту, значајни су за разумијевање утицаја климатских промјена на обалне екосистеме и људске заједнице. Исто тако, снимци се могу користити и за мониторинг влажности земљишта, као и за мониторинг суше или плављења. Њихов значај у овој области огледа се у разумијевању утицаја климатских промјена како на пољопривреду, тако и на безбједност хране.

### **SENTINEL-3**

Сателит Copernicus Sentinel-3 мисије опремљен је скупом инструмената, који укључују радарски алтиметар са синтетичим отвором (Synthetic aperture radar altimeter – SRAL), инструмент за боју океана и копна (Ocean and land color instrument – OLCI) и термални инфрацрвени сензор (Thermal infrared sensor – SLSTR). Подаци добијени радом овог сателита могу се користити за праћење утицаја климатских промјена у сљедећим областима: кретање и динамика океана, ниво мора, боја океана и температура површине земље.

Сателитски снимци Sentinel-3 мисије користе се у праћењу промјена у начинима кретања океана, као и површинске температуре мора, укључујући океанске струје, вртлоге и уздизања (Sobrino, 2016; Yang, 2020). Информације добијене из ових података су значајне за разумијевање утицаја климатских промјена на циркулацију океана и глобални хидролошки циклус. Такође, снимци ове мисије могу се користити за праћење промјене у погледу нивоа мора. Промјена нивоа мора представља један од кључних индикатора климатских промјена. Мјерењем површине океана, научници могу процијенити брзину пораста нивоа мора и његов утицај на приобалне заједнице и екосистеме.

Сателитски снимци ове мисије пронашли су своју примјену и у праћењу промјена које се односе на боју океана, а која укључује анализу концентрације хлорофила, као и идентификацију фитопланктона. У том контексту, сателитски снимци су значајни за разумијевање утицаја климатских промјена на биолошки сегмент океана. Такође, сателитски снимци ове мисије користе се и за праћење промјена у површинској температури копна, а које укључују алbedo површине копна, евотранспирацију и енергетски биланс. Ове информације су кључне за разумијевање утицаја климатских промјена на површину Земље и глобални хидролошки циклус.



#### **SENTINEL-4**

Copernicus Sentinel-4 мисија још увијек није лансирана у свемир, а њено лансирање очекује се током 2024. године. Главна сврха ове мисије представљаће обезбјеђивање континуираног проматрања Земљине атмосфере са акцентом на састав атмосфере и мониторинг климе. Очекује се да ће сателит из ове мисије бити опремљен напредним инструментима за снимање и спектрометрију, а који ће мјерити кључне параметре који се односе на квалитет вазуха и климу и то: гасове стаклене баште, квалитет ваздуха, аеросоли и својства облака.

Подаци Sentinel-4 мисије користиће се за праћење концентрације гасова стаклене баште, укључујући угљен-диоксид, метан и оксиде азота. Ове информације биће значајне за разумијевање утицаја климатских промјена на атмосферу и циклус угљеника. Такође, сателитски снимци ове мисије ће имати своју примјену и у мониторингу квалитета ваздуха (Courreges-Lacoste et al., 2017), укључујући праћење концентрације озона, азот-диоксида и честица. Ови подаци биће значајни за разумијевање утицаја климатских промјена на људско здравље.

Сателитски снимци Sentinel-4 мисије требали би да пронађу своју примјену и у праћењу аеросола, као и прашине, дима и морске соли. Ови снимци биће значајни за разумијевање утицаја климатских промјена на равнотежу у атмосфери, као и за глобалне хидролошке циклусе. Исто тако, снимци ће бити коришћени и за праћење својстава облака, укључујући висину облака, покривач облака и тип облака. Ове информације биће значајне за разумијевање утицаја климатских промјена на равнотежу атмосфере и глобални хидролошки циклус.

#### **SENTINEL-5P**

Sentinel-5P представља претечу Sentinel-5 мисије. Ова мисија је посевећена мониторингу Земљине атмосфере, са фокусом на разумијевање утицаја климатских инструмената. Сателит ове мисије на себи има инструмент под називом TROPOMI, који мјери кључне параметре који се односе на квалитет ваздуха и климе. Подаци ове мисије значајни су за сљедеће области: концентрације гасова у атмосфери (Liu et al., 2021; Oureghi et al., 2022), квалитет ваздуха, аеросоли и својства облака.

#### **SENTINEL-6**

Један од два сателита Copernicus Sentinel-6 мисије лансиран је крајем 2020. године, док се лансирање другог сателита очекује током 2025. године. Сателит на себи носи радарски висиномјер за мјерење глобалне висине морске површине (Donlon et al., 2021). Дакле, сателитски снимци ове мисије намијењени су првенствено мониторингу нивоа мора.

Сателитски снимци биће значајни за разумијевање утицаја климатских промјена на океане, као и за побољшање нашег разумијевања циркулације океана и његове улоге у глобалном климатском систему. Подаци ове мисије користиће се и за подршку у управљању и планирању приобалних подручја, као и за предвиђање будућег раста нивоа мора, те његовог утицаја на обалне заједнице.

## **6. Закључак**

Сателитски снимци играју значајну улогу у праћењу и управљању климатским промјенама. Између осталог, они пружају основне податке и информације о различитим аспектима животне средине, као што су температура, падавине, ниво мора, начин коришћења земљишта и квалитет ваздуха. Употреба сателитских снимака у контексту климатских промјена, поставила је нове стандарде у проучавању и праћењу истих. Сателитски снимци постали су суштински незамјењив алат за разумијевање и ријешавање изазова које постављају климатске промјене. Доступност података високе резолуције од више различитих сателита, као што су сателитске мисије Sentinel, омогућила је научницима и креаторима различитих политика да донесу свеобухватније одлуке о томе како да се позабаве утицајима климатских промјена. У раду је дат преглед појединих сателитских мисија, њихових карактеристика, као и преглед најновијих научних истраживања које се заснивају на подацима добијеним од поменутих сателитских мисија. Континуирани развој и правилан приступ у распоређивању надлазећих сателитских мисија биће од виталног значаја за разумијевање и ублажавање посљедица климатских промјена на планети у будућности.

## **Литература**

- Abdi AM (2020) Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. *GI Science & Remote Sensing*, 57(1): 1–20. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1650447>
- Barmpoutis P, Papaioannou P, Dimitropoulos K, Grammalidis N (2020) A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing. *Sensors*, 20(22): 6442. <https://doi.org/10.3390/s20226442>
- Bhangale U, More S, Shaikh T, Patil S, More N (2020) Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery. *Procedia Computer Science*, 171: 2645–2654. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.287>

- Bochenek Z, Ziolkowski D, Bartold M, Orłowska K, Ochtyra A (2018) Monitoring forest biodiversity and the impact of climate on forest environment using high-resolution satellite images. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 166–181. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1414573>
- Chawla I, Karthikeyan L, Mishra AK (2020) A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585: 124826. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>
- Chen J, Wu T, Zou D, Liu L, Wu X, Gong W, Zhu X, Li R, Hao J, Hu G, Pang Q, Zhang J, Yang S (2022) Magnitudes and patterns of large-scale permafrost ground deformation revealed by Sentinel-1 InSAR on the central Qinghai-Tibet Plateau. *Remote Sensing of Environment*, 268: 112778. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112778>
- Costache R, Pham QB, Sharifi E, Linh NTT, Abba SI, Vojtek M, Vojtekova J, Nhi PTT, Khoi DN, (2020) Flash-Flood Susceptibility Assessment Using Multi-Criteria Decision Making and Machine Learning Supported by Remote Sensing and GIS Techniques. *Remote Sensing*, 12(1): 106. <https://doi.org/10.3390/rs12010106>
- Courreges-Lacoste GB, Sallusti M, Bulsa G, Bagnasco G, Gulde S, Kolm MG, Smith DJ, Maurer R (2017) Knowing what we breathe: Sentinel 4: a geostationary imaging UVN spectrometer for air quality monitoring. *Proceedings SPIE 10562, International Conference on Space Optics — ICSO 2016*, 105621J. <https://doi.org/10.1117/12.2296106>
- Donlon CJ, Cullen R, Giulicchi L, Vuilleumier P, Richard Francis C, Kuschnerus M, Simpson W, Bouridah A, Caleno M, Bertoni R, Roncano J, Pourier E, Hyslop A, Mulcahy J, Knockaert R, Hunter C, Webb A, Fornari M, Vaze P, Brown S ... Tavernier G (2021) The Copernicus Sentinel-6 mission: Enhanced continuity of satellite sea level measurements from space. *Remote Sensing of Environment*, 258: 112395. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112395>
- Elyouncha A, Eriksson LEB, Johnsen H, Ulander LMH (2019) Using Sentinel-1 Ocean Data for Mapping Sea Surface Currents Along the Southern Norwegian Coast. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 8058–8061. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898468>
- Forster PM, Maycock AC, McKenna CM, Smith CJ (2019) Latest climate models confirm need for urgent mitigation. *Nature Climate Change*, 10: 7–10. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0660-0>
- Govender T, Dube T, Shoko C, (2022) Remote sensing of land use-land cover change and climate variability on hydrological processes in Sub-Saharan Africa: key scientific strides and challenges. *Geocarto International*. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2043451>
- Hakim WL, Achmad AR, Eom J, Lee CW. Land Subsidence Measurement of Jakarta Coastal Area Using Time Series Interferometry with Sentinel-1 SAR Data. *Journal of Coastal Research*, 102: 75–81. <https://doi.org/10.2112/SI102-010.1>

- He J, Chen H, Zhang S, Li N (2019) Observations and Forecasting Analysis of Hurricane Sandy Using Satellite Microwave Remote Sensing. IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 7552–7555. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8899192>
- Hermans K, McLeman R (2021) Climate change, drought, land degradation and migration: exploring the linkages. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50: 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.013>
- Hussain S and Karuppappan S (2021) Land use/land cover changes and their impact on land surface temperature using remote sensing technique in district Khanewal, Punjab Pakistan. *Geology, Ecology, and Landscapes*. <https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923272>
- Johnsen H, Nilsen V, Engen G, Mouche AA, Collard F (2016) Ocean doppler anomaly and ocean surface current from Sentinel 1 tops mode. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 3993–3996. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730038>
- Karvonen J (2018) Estimation of Arctic land-fast ice cover based on dual-polarized Sentinel-1 SAR imagery. *The Cryosphere*, 12:2595–2607. <https://doi.org/10.5194/tc-12-2595-2018>
- Khan S. I, Hong Y, Wang J, Yilmaz K. K, Gourtey JJ, Adler RF, Brakenridge GR, Policelli F, Habib S, Irwin, D (2011) Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49: 85–95. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2057513>
- Lee SH, Han KJ, Lee K, Lee KJ, Oh KY, Lee MJ (2020) Classification of Landscape Affected by Deforestation Using High-Resolution Remote Sensing Data and Deep-Learning Techniques. *Remote Sensing*, 12(20): 3372. <https://doi.org/10.3390/rs12203372>
- Liu M, van der AR, van Weele M, Eskes H, Lu X, Veeffkind P, de Laat J, Kong H, Wang J, Sun J, Ding J, Zhao Y, Weng H (2021) A New Divergence Method to Quantify Methane Emissions Using Observations of Sentinel-5P TROPOMI. *Geophysical Research Letters*, 48(18): e2021GL09415. <https://doi.org/10.1029/2021GL094151>
- Misra G, Cawkwell F, Wingler A (2020) Status of Phenological Research Using Sentinel-2 Data: A Review. *Remote Sensing*, 12(17): 2760. <https://doi.org/10.3390/rs12172760>
- Moiseev A, Johnsen H, Hansen MW, Johannessen JA (2020) Evaluation of Radial Ocean Surface Currents Derived From Sentinel-1 IW Doppler Shift Using Coastal Radar and Lagrangian Surface Drifter Observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125: e2019JC015743. <https://doi.org/10.1029/2019JC015743>
- Nagler T, Rott H, Hetzenecker M, Wuite J, Potin P (2015) The Sentinel-1 Mission: New Opportunities for Ice Sheet Observations. *Remote Sensing*, 7(7): 9371–9389. <https://doi.org/10.3390/rs70709371>
- Negassa MD, Mallie DT, Gemedo DO (2020) Forest cover change detection using Geographic Information Systems and remote sensing techniques: a spatio-temporal study on Komto Protected forest priority area, East Wollega Zone, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-020-0163-z>

- Ouerghi E, Ehret T, de Franchis C, Facciolo G, Lauvaux T, Meinhardt E, Morel JM (2022) Automatic Methane Plumes Detection in Time Series of Sentinel-5P L1B Images. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 3: 147–154.
- Phiri D, Simwanda M, Salekin S, Nyirenda VR, Murayama Y, Ranagalage M (2020) Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sensing*, 12(14): 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Pricope GN, Mapes KL, Woodward KD, (2019) Remote Sensing of Human–Environment Interactions in Global Change Research: A Review of Advances, Challenges and Future Directions. *Remote Sensing*, 11(23): 2783. <https://doi.org/10.3390/rs11232783>
- Shirazy A, Shirazy A, Nazerian H (2021) Application of Remote Sensing in Earth Sciences – A Review. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 10(5): 45–51.
- Sobrinho JA, Jimenez-Munoz JC, Soria G, Ruescas AB, Danne O, Brockmann C, Ghent D, Remedios J, North P, Merchant C, Berger M, Mathieu PP, Gottsche FM (2016) Synergistic use of MERIS and AATSR as a proxy for estimating Land Surface Temperature from Sentinel-3 data. *Remote Sensing of Environment*, 179: 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.035>
- Strozzi T, Antonova S, Gunther F, Matzler E, Vieira G, Wegmuller U, Westermann S, Bartsch A (2018) Sentinel-1 SAR Interferometry for Surface Deformation Monitoring in Low-Land Permafrost Areas. *Remote Sensing*, 10(9): 1360. <https://doi.org/10.3390/rs10091360>
- Sun J, Cheng G, Li W, Sha Y, Yang Y (2013) On the Variation of NDVI with the Principal Climatic Elements in the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 5(4): 1894–1911. <https://doi.org/10.3390/rs5041894>
- Yang J, Zhou J, Gottsche FM, Long Z, Ma J, Luo R (2020) Investigation and validation of algorithms for estimating land surface temperature from Sentinel-3 SLSTR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91: 102136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102136>
- Yoon SU, Ahn J, Kim YS, Han GD, Chung YS, Lee SJ (2022) Monitoring Temperature Variation in Rising Small Defunct Volcano on Jeju Island, Republic of Korea, Using High-Resolution Sentinel-2 Images. *Atmosphere*, 13(14): 576. <https://doi.org/10.3390/atmos13040576>
- Zhang Z, Dong X, Tian J, Tian Q, Xi Y, He D (2022) Stand density estimation based on fractional vegetation coverage from Sentinel-2 satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108: 102760. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102760>
- Zheng K, Chen G, Xia Y, Wang S (2022) An Ensemble-Based, Remote-Sensing-Driven, Flood-Landslide Early Warning System. *In: Zhang K., Hong Y., AghaKouchak A. (Ed.) Geophysical Monograph Series*. <https://doi.org/10.1002/9781119159131.ch7>

## **Use of satellite images to monitor climate change and manage consequences**

Davorin Bajić, Luka Sabljic

### **Summary**

Human civilization lives in a time of evident climate changes. The intensity of changes is becoming more and more pronounced, which is noticeable through the appearance of increasingly pronounced precipitation and temperature extremes, floods, droughts, fires, degradation of forest areas, agricultural land, etc. In the scientific community, great efforts are being made to identify climate change in terms of parameterization and modeling, with the aim of monitoring and prediction. In addition, significant efforts are being made to develop models and systems for managing the consequences of climate change. Modern approaches for monitoring and managing the consequences of climate change are unthinkable without the use of remote sensing and satellite imagery. With the help of satellite images, in real time, a significant volume of parameters is collected, with the processing and analysis of which it is possible to effectively monitor climate changes, as well as manage their consequences. This paper provides an overview of modern achievements in the field of remote sensing and satellite technologies in the domain of their application for monitoring climate change and managing its consequences.

**Keywords:** Climate change, remote sensing, satellite images, monitoring, management.