

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ ОТ SENTINEL-2 ЗА МОНИТОРИНГ НА СНЕЖНАТА ПОКРИВКА НА ТЕРИТОРИЯТА НА ПИРИН ПЛАНИНА ЗА ПЕРИОД ОТ 10 ГОДИНИ

Андрей Стоянов

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: andreikit@space.bas.bg*

Ключови думи: *Спътникови данни, Sentinel-2, нормиран разликов снежен индекс (NDSI), снежна покривка*

Резюме: *В проведеното изследване са представени резултати от извършен мониторинг на снежната покривка от територията на Пирин планина при над 1000 m надм. в. чрез използване на оптични спътникови изображения от Sentinel-2 MSI за период от 10 години (2015–2025). Извършена е обработка на псевдокомпазитни изображения, генериран е нормиран разликов снежен индекс NDSI за месец април, от всички години от времевия период и на база получените стойности от използвания индекс е проследена динамиката на пространственото разпределение на снежната покривка за изследваната територия. Определени са индивидуални прагови стойности за всеки генериран NDSI индекс, от използваните оптични спътникови изображения и са получени резултати, включващи изчисление на площите заети от снежна покривка през изследвания период.*

APPLICATION OF SENTINEL-2 SATELLITE DATA FOR MONITORING SNOW COVER IN TERRITORY OF PIRIN MOUNTAIN FOR PERIOD OF 10 YEARS

Andrey Stoyanov

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: andreikit@space.bas.bg*

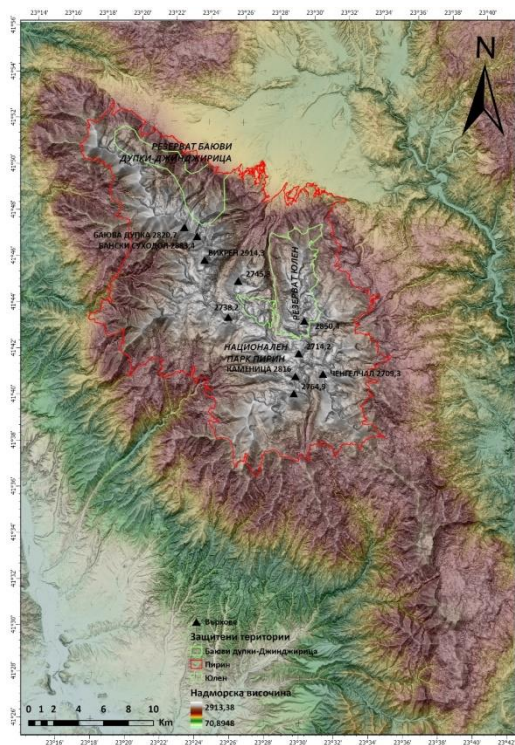
Keywords: *Satellite data, Sentinel-2, Normalized Difference Snow Index (NDSI), snow cover*

Abstract: *The study presents results of monitoring the snow cover in the Pirin Mountains at over 1000 m above sea level using optical satellite images from Sentinel-2 MSI for a period of 10 years (2015–2025). Pseudo-composite images were processed, a Normalized Difference Snow Index (NDSI) was generated for the month of April, from all years of the time period, and based on the values obtained from the index used, the dynamics of the spatial distribution of snow cover for the studied territory was monitored. Individual threshold values were determined for each generated NDSI index from the optical satellite images used, and results were obtained, including a calculation of the areas occupied by snow cover during the studied period.*

Въведение

Процесите свързани с промяната на глобалния климат включващи „глобалното затопляне“ и тенденцията на „засушаване“ на климата особено силно изразено на територията на Европа [1] оказват пряко негативно влияние върху общите количества на снеговалежите, както и върху снеготопенето и снеготадържането, в частност и на територията на Р. България. През последното десетилетие се проявява тенденция на зачестяване на т.нар. „безснежни“ и по-топли зими, особено в териториите разположени под 1000 m надм. в., което съответно има своите негативни ефекти върху селското стопанство, горските ресурси, водните запаси, и засилване процесите на „засушаване“ и „опустиняване“. Някои от основните фактори оказващи негативно влияние върху образуването и задържането на снежната покривка са намаленото средно количество на снеговалежите, и увеличените средни стойности на температурата на въздуха и почвата [2].

В настоящото изследване са представени част от резултатите получени от проект „Мониторинг на сезонната динамика и устойчивост на снежната покривка в планинския пояс на Р България за период от 10 години (2014–2024) на база Дистанционни изследвания“, обхващащ териториите разположени над 1000 m надм. в., като обект на изследване в настоящото изследване е избрана територията на Пирин планина, заемаща площ от 2585 km² [3] (Фиг. 1). В нейната територия попадат Национален парк „Пирин“ (403,56 km²) и природните резервати „Юлен“ и „Баюви дупки – Джинджирица“ [3]. Времовата рамка на изследването обхваща периода 2015–2025 г., като е избран месец април от всяка година, чиито получени данни служат като индикатор за устойчивостта на снежната покривка (сняг, който се задържа не по-малко от един месец) за съответната година.



Фиг. 1. Карта на обекта на изследване – Пирин планина

Методика

Методиката за мониторинг на снежната покривка включва: придобиване и обработка на „мозайки“ от оптични спътникови изображения от Landsat 8 OLI-TIRS [4] Sentinel-2 MSI [5] в Google Earth Engine (GEE) [6] и Arcgis Pro => генериране на растерен псевдокомполит на всяко изображение („мозайка“) в комбинация на каналите КВИЧ-ИЧ-Зелен – 7-5-3 за Landsat и 11-8-3 за Sentinel-2, очертаващ пространственото разпределение на териториите заети от сняг => генериране на снежния индекс NDSI (1) [7] => определяне на прагова стойност за всеки отделен генериран индекс чрез визуална интерпретация и използването на класификация в софтуера Arcgis Pro => рекласификация на стойностите от индекса => генериране на векторна „маска“ на снежната покривка => изчисление на териториите заети от сняг за всяка избрана година => верификация с климатични данни => сравнение, интерпретация и анализ на получените резултати.

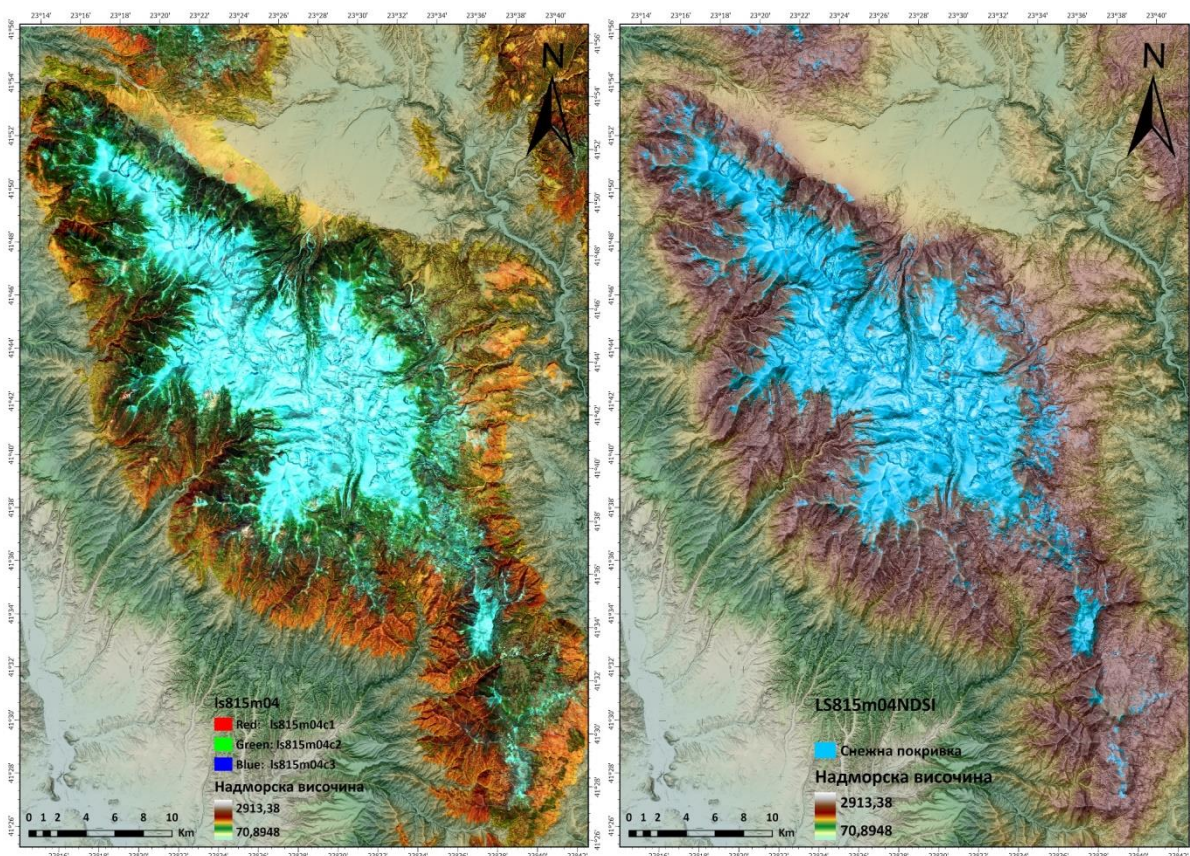
$$(1) \quad NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Общоприетата прагова стойност, използвана за определяне на наличието на сняг е NDSI >0,4, но някои изследователи предлагат, NDSI да бъде настроен според конкретната ситуация с методи за избор на прагова стойност, въз основа на визуална проверка/интерпретация, емпирична връзка или автоматизиран подбор [8, 9].

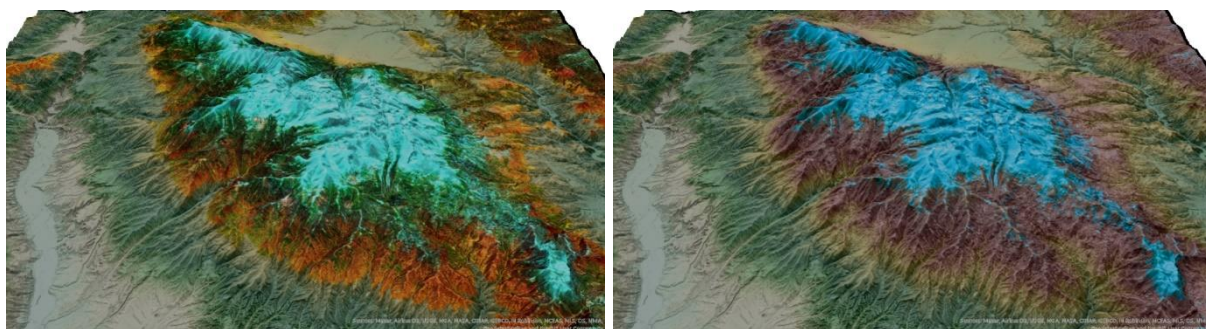
Данните получени от генерирания код в GEE представляват мозайки от оптични изображения от Landsat 8 OLI-TIRS и Sentinel-2 (с „облачност“ варираща от 0–40%), избрани през съответния месец, като на всяка декада от месеца чрез визуална интерпретация са проследени наличието и промяната в пространственото разпределение на снежната покривка от изследваната територия.

Резултати

Приложените фигури са представителна извадка за годините 2015 и 2025, от целия период на изследване 2015–2025 г., показващи част от резултатите получени от приложената методика за мониторинг на снежната покривка. На фиг. 2 и фиг. 3 са представени карти в координатна система BGS 2005 – CCS 2005 с Ламбертова конформна конична проекция на псевдокомполитно изображение на Landsat 8 OLI-TIRS, генерирано от GEE, в комбинация на каналите 7-5-3 и снежна „маска“ за обекта на изследване, където е визуализирано пространственото разпределение на снежната покривка за м. април, 2015 г. Индивидуалната прагова стойност на NDSI, която е определена при извършването на рекласификация на първичните стойности генерирани от индекса е 0,58. Площта на снежната покривка възлиза на 342,01 km² като нейната граница по надморска височина започва приблизително от 1500 m. Резултатите получени за месец април 2015 г. служат като начална темпорална точка при извършването на мониторинг и анализа на състоянието на снежната покривка през изследвания времеви период.

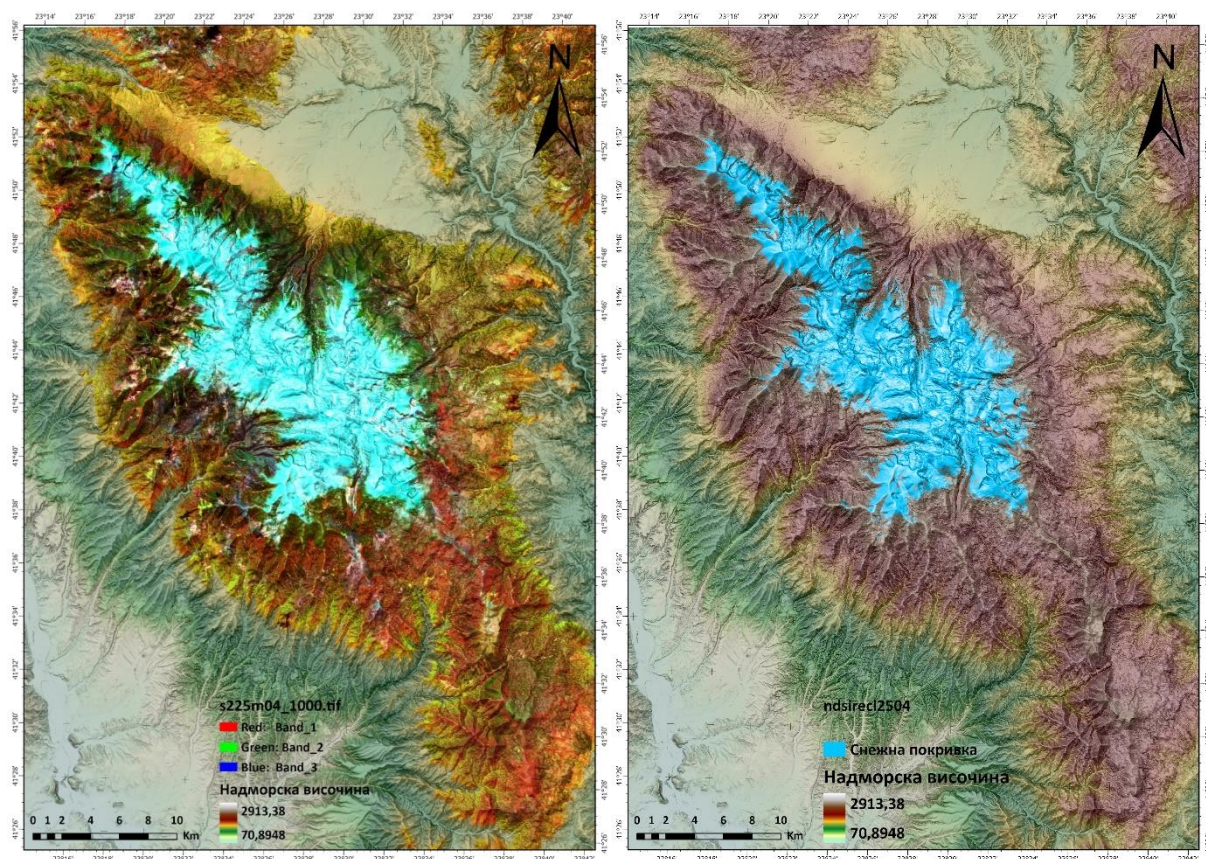


Фиг. 2. Карта на псевдо-комполитно изображение от Landsat 8, в комбинация на каналите 7-5-3 и векторна снежна „маска“ за месец април 2015 г.

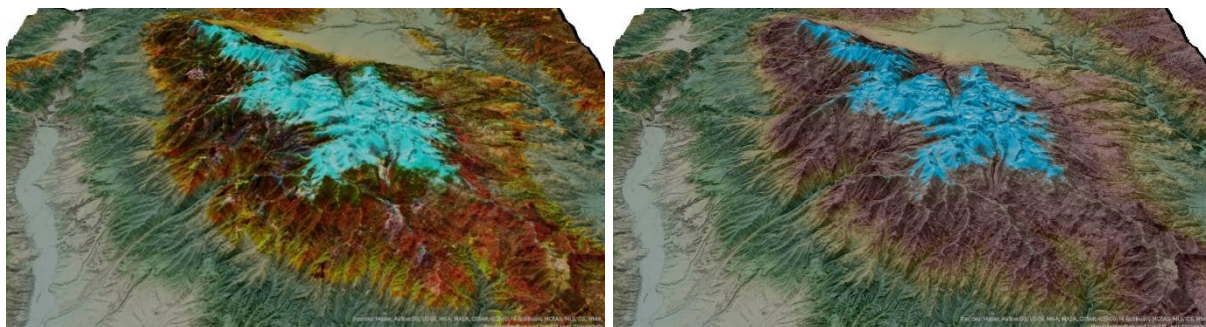


Фиг. 3. 3D карти на псевдо-комполитно изображение от Landsat 8, в комбинация на каналите 7-5-3 и векторна снежна „маска“ за месец април 2015 г.

На фиг. 4 и фиг. 5 са представени карти на обработено псевдокомполитно изображение на Sentinel-2 MSI, генерирано от GEE, в комбинация на каналите 11-8-3 и снежна „маска“, където е визуализирано пространственото разпределение на снежната покривка за април 2025 г. Индивидуалната прагова стойност на NDSI, която е определена при извършването на рекласификация на пвичните стойности генерирани от индекса е 0,47, площта на снежната покривка възлиза на 182,46 km² като нейната граница по надморска височина започва приблизително от 2000 m. При сравнение на данните получени за последната темпорална точка – 2025 и тези от 2015, площта на снежната покривка е намаляла приблизително на половина спрямо 2015, съответно с 160,45 km², а нейната граница по надморска височина се е изместила приблизително с 500 m.



Фиг. 4. Карта на псевдо-комполитно изображение от Sentinel-2, в комбинация на каналите 11-8-3 и векторна снежна „маска“ за месец април 2025 г.



Фиг. 5. 3D Карта на псевдо-комполитно изображение от Sentinel-2, в комбинация на каналите 11-8-3 и векторна снежна „маска“ за месец април 2025 г.

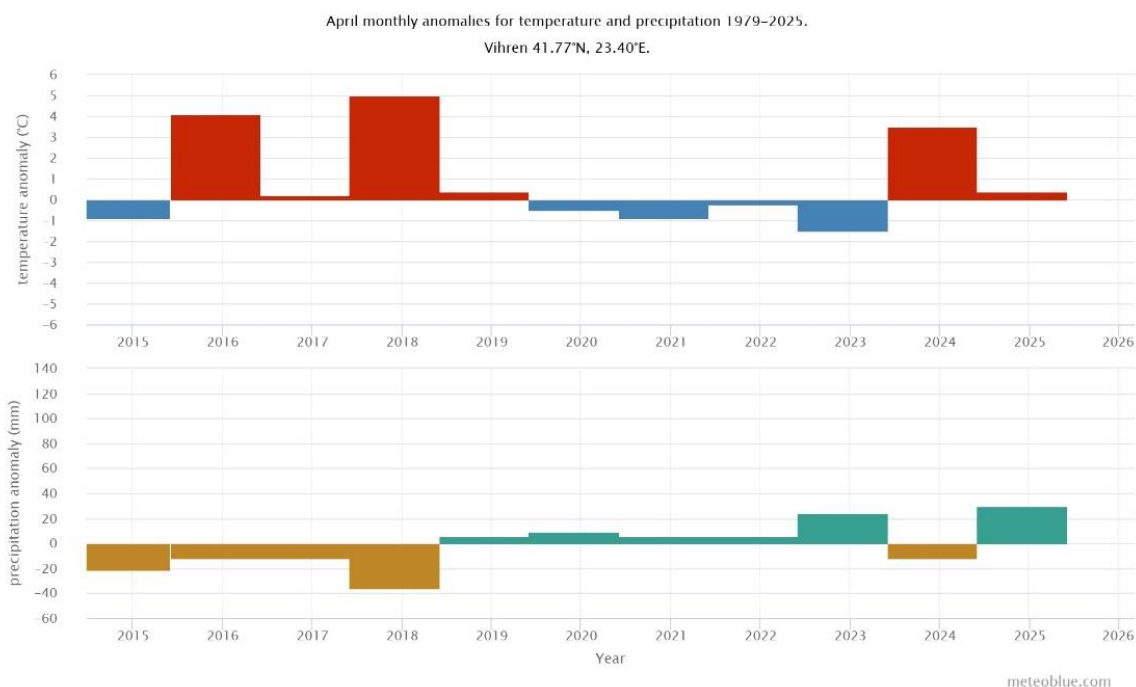
На табл.1 са представени всички резултати получени от извършения мониторинг за целия изследван период, включващи използваните прагови стойности на NDSI, изчислените площи заети от сняг и техните граници по надморска височина. На фиг. 6 е представена графика с площите заети от сняг (табл. 1) през изследвания период, която показва тренда и динамиката на пространственото разпределение на снежната покривка. Данните показват най-ниска стойност за 2024 г., съответно – 174,53 km², което съставлява приблизително половината площ заета от сняг в сравнение с тази от 2015 г. и изместване (изкачване) на долната граница на снежната покривка до 2100 m, което възлиза на 600 m изменение спрямо границата от 2015 г.

Табл. 1. Площи заети със снежна покривка, прагови стойности на NDSI и граници във височина

Година (м. април)	Спътник, сензор	Прагови стойности на NDSI	Площи със снежна покривка (km ²)	Граница надморска височина (m)
2015	Landsat 8 OLI-TIRS	0,58	342,01	1500
2016	Sentinel-2 MSI	0,50	216	1900
2017	Sentinel-2 MSI	0,55	284,64	1800
2018	Sentinel-2 MSI	0,40	214,67	1800
2019	Sentinel-2 MSI	0,47	224,61	1750
2020	Sentinel-2 MSI	0,69	194,4	1700
2021	Sentinel-2 MSI	0,64	209,82	1950
2022	Sentinel-2 MSI	0,34	232,52	1900
2023	Sentinel-2 MSI	0,36	183,55	1900
2024	Sentinel-2 MSI	0,53	174,53	2100
2025	Sentinel-2 MSI	0,47	182,46	2000



Фиг. 6. Графика на динамиката на снежната покривка за изследвания период 2015–2025 г.



Фиг. 7. Графика на температурните и валежни аномалии за период 2015–2025 г. според Meteoblue [10]

Първите по-ниски стойности от целия период са регистрирани за годините 2016, 2018 и 2020, като от 2023 до 2025 се запазва негативната тенденция към количественото намаляване на площите заети от сняг. От климатичните данни на фиг. 7, представляващи регистрираните температурни и валежни аномалии от вр. Вихрен, Пирин планина за периода 2015–2025 се наблюдават високи температурни аномалии с 4 °C до 5 °C за годините 2016, 2018 и 2024, които съответстват на регистрираните площи с ниски стойности за годините 2016, 2018 и 2024 (Табл. 1, Фиг. 6).

Заклучение

На база получените резултати от приложената методика за мониторинг на снежната покривка от Пирин планина, за избрания времеви период се наблюдава негативна тенденция в нейното териториално разпределение като средния тренд на намаление на площите заети от сняг възлизат на приблизително 100 km², а изместването на долната граница по надморска височина възлиза на приблизително 500 m.

Благодарности:

Проведеното изследване и получените резултати са финансирани от проект по договор КП-06-М64/1 с фонд „Научни изследвания“ към Министерството на образованието и науката, на тема: „Мониторинг на сезонната динамика и устойчивост на снежната покривка в планинския пояс от територията на Р. България за период от 10 години (2014–2024) на база Дистанционни изследвания“ от 15.12.2022 г.

Литература:

1. <https://unric.org/en/climate-europe-warming-faster-than-rest-of-world-ipcc/>
2. Велев, Ст. „Климатът на България“. София, Народна просвета, 1990
3. <https://dataspace.copernicus.eu/>
4. <https://code.earthengine.google.com/>
5. Hall, D.K. and Riggs, G.A., “Normalized-Difference Snow Index (NDSI) in Encyclopedia of Earth Sciences, Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers”, 779–780, 2011
6. Yin, D., Cao, X., Chen, X., Shao, Y., and Chen, J., “Comparison of automatic thresholding methods for snow-cover mapping using Landsat TM imagery” International Journal of Remote Sensing, 34:19, 6529–6538, 2013
7. https://virsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_snow_cover_ATBD_2015.pdf
8. https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/vihren_bulgaria_725894?month=4