

ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ИНДЕКСИ ЗА МОНИТОРИНГ НА ПЛАВАЩИТЕ ТРЪСТИКОВИ ОСТРОВИ В ЕЗЕРОТО СРЕБЪРНА ПО ДАННИ ОТ SENTINEL 2

Ива Иванова, Наталия Станкова, Теменужка Спасова

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

Ключови думи: спътникови данни, влажна зона, плаващи тръстикови острови, индекси

Резюме: Мониторингът и инвентаризацията на влажните зони са важни за управлението на техните ресурси и запазването им като устойчиви местообитания за редки и световно застрашени видове. Изследванията в работата са свързани със приложението на индекс класификация за мониторинг на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна. Плаващите тръстикови острови имат изключително важно значение като местообитания на световно застрашени видове птици. Те са уникални за Европа местообитания, представени единствено в езерото Сребърна и Делтата на р. Дунав. За извършване на мониторинга на местообитанията се използва единствената възможност, която предоставят високотехнологичните методи, базирани на дистанционни изследвания от космоса с помощта на сензори с подходящи за целта параметри на регистрираните от тях данни. За целите на изследването са използвани спътникови данни от Sentinel 2 A/B (Коперникус, ЕКА) с помощта на които са получени резултатите за динамиката на растителността върху плаващите тръстикови острови в езерото.

INDEX APPLICATION FOR MONITORING OF FLOATING REED ISLANDS OF SREBARNA LAKE, USING SENTINEL 2 DATA

Iva Ivanova, Nataliya Stankova, Temenuzhka Spasova

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

Keywords: Satellite data, wetland area, floating reed islands, indices

Abstract: Monitoring and inventory of wetland areas are crucial for managing their resources and preserving them as sustainable habitats for rare and globally endangered species. The research in this work is related to the application of classification indices for monitoring the floating reed islands in Lake Srebarna. The floating reed islands play a critical role as habitats for globally endangered bird species, representing unique ecosystems found only in Srebarna Lake and the Danube Delta in Europe. To conduct habitat monitoring, the only opportunity provided is through high-tech methods based on remote sensing from space using sensors with appropriate data recording parameters. For the purposes of this study, satellite data from Sentinel 2 A/B (Copernicus, ESA) were utilized, which yielded results regarding the vegetation dynamics on the floating reed islands in the lake.

Въведение

Влажните зони са екосистеми, в които водата е основния фактор, от който зависят екологичните условия и свързаните с тях животни и растения. Постепенно обрастването на влажните зони нарушава екологичното равновесие на водните басейни и води до тяхното изчезване. Те съхраняват незаменими и уникални местообитания на редки животински и растителни видове. Спътниковите методи са най – успешни в класификацията и идентификацията на влажните зони, и тяхното разграничаване от другите типове земно покритие. Всички видове влажни зони могат да се изследват чрез използването на дистанционни методи. Една такава влажна зона е езерото Сребърна, което съхранява в себе си уникални типове местообитания – плаващите тръстикови острови, които са обект на настоящето изследване.

Езерото Сребърна е част от Биосферния резерват – „Сребърна“ (прекатегоризиран в поддържан резерват), Рамсарски обект, част от европейската екологична мрежа Natura2000 със защитени зони по Директивата за птиците (2009/147/ЕО) и Директивата за местообитанията (Директива 92/43/ЕО) и обект от списъка на ЮНЕСКО [1,2].

Настоящото изследване цели да продължи и задълбочи изследванията, за да подпомогне запазването им в бъдеще като едно устойчиво местообитание. Дистанционните методи и средства дават възможност да се изследва екодинамиката на островите за различен период от време. Основна цел на изследването ще бъде насочена към приложение на някои от растителните индекси с цел оценка и мониторинг на състоянието влажната зона на базата на дистанционни аерокосмически методи и данни.

Входни данни и методи

Изследването включва мониторинг на екодинамиката на растителността върху плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна с използването на данни от сателитни изображения във видимия и инфрачервения диапазон. Предложената методика се базира на използването на аерокосмически данни, тъй като с тяхна помощ е възможно да се получи информация за състоянието и динамиката на растителността. Освен това може да се извърши количествена оценка за отделни параметри на растителността, които са свързани с нейното изменение за по-дълги интервали от време.

Използвани са данни от Европейската космическа агенция (ESA). Сателитите от мисията Коперник, "Sentinel-1-A" и "Sentinel-2-A". "Sentinel-1-A" (C band с дължина на вълната от ~ 5,6 см) е радар със синтезирана апертура (SAR). В "Sentinel-2-A" инструментът Multi-Spectral Instrument (MSI) регистрира данните в оптични ленти с различни способности [2, 3].

Мониторингът е направен за период от една година от месец април 2022 г., до месец май 2023 г., като са използвани спътникови данни само през вегетационния период на растителността.

Индекс класификации

Методиката включва изчисления на спектрални вегетационни индекси и ортогонализиране на мултиспектрални сателитни данни, включително прилагане на трансформация на Tasseled-Cap (TCT) и изчисляване на индекс, базиран на TCT. За оценка на динамиката на растителността в езерото Сребърна, и по специално върху плаващите тръстикови острови са използвани няколко от най-широко използваните вегетационни индекси, като: нормализираният диференциален растителен индекс (NDVI); модифициран индекс на растителността, коригиран спрямо почвата (MSAVI2); нормализираният воден индекс (NDWI).

NDVI е най-широко използваният спектрален индекс за мониторинг на растителността и оценка на фотосинтетичната активност. NDVI съответства на диференциалния отговор на абсорбцията на хлорофил и отразяването на вътрешния порест мезофилен слой от листата на растенията във видимите червени и NIR области. Установено е, че флукуациите на NDVI във времето са силно свързани с климатичните вариации и могат да служат като ефективна мярка за промените в растителността, свързани с климата [4,5].

$$(1) \quad NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

MSAVI2 е адаптирана версия на коригирания към почвата растителен индекс (SAVI). Разработен е за намаляване на слабостите на NDVI, свързани с неговите неточности, когато се прилага към зони с висока степен на открита почвена повърхност [6]. Този индекс е особено ефективен в райони, които имат различни коефициенти на осветеност на почвата [7].

$$(2) \quad MSAVI2 = \frac{2NIR+1-\sqrt{(2NIR+1)^2+8(NIR-R)}}{2}$$

NDWI (Normalized Difference Water Index) индексът [8] се възползва от диференциалния отговор на NIR и късовълновата инфрачервена (SWIR) отразяваща способност в здрава растителност. Комбинираното използване на двата вълнови диапазона (NIR и SWIR) елиминира вариациите, причинени от вътрешната структура на листата и съдържанието на сухо вещество в листата, повишавайки прецизността при оценката на съдържанието на растителна влага [7,9]. Това е причината NDWI да бъде много добър индикатор за водния стрес на растенията.

$$(3) \quad NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}$$

Ортогонализирана трансформация (ТСТ), и индекс, получен след прилагането на ТСТ

Моделът Tasseled Cap Transformation (ТСТ) [10] за ортогонализиране на сателитни изображения е много ефективен при оценка на процеси, свързани с промени в почвата, растителността и водата. При ортогонализиране се получават три диференцируеми класа (осветеност на почвата, зеленина и влажност), силно чувствителни към малки промени във вегетационния процес. Това дава възможност за по-прецизна класификация и мониторинг на текущото състояние на почвените и растителни компоненти на земната повърхност. Спектралното отражение се определят от моментното състояние на изследвания обект (клетъчна структура и съдържание на вода/хлорофил).

Подходът за дефиниране на NDGI индекс въз основа на ортогонализиране на сателитни изображения с помощта на компонента Greenness се основава на характеристиките на спектралното отражение на растителността. От една страна, информацията, съдържаща се в сателитните изображения, зависи главно от възможностите за спектрална и пространствена разделителна способност на сензора и от спектралните отразяващи характеристики на растенията, определени от тяхното моментно състояние (клетъчна структура и съдържание на вода/хлорофил) [7,12]. NDGI оценява количествено леките положителни и отрицателни стойности на изменение на зелената маса на растителността за даден период от време. NDGI варира от +1 до -1, като NDGI < 0 показва отрицателна промяна, а NDGI > 0 показва положителна промяна [11,12].

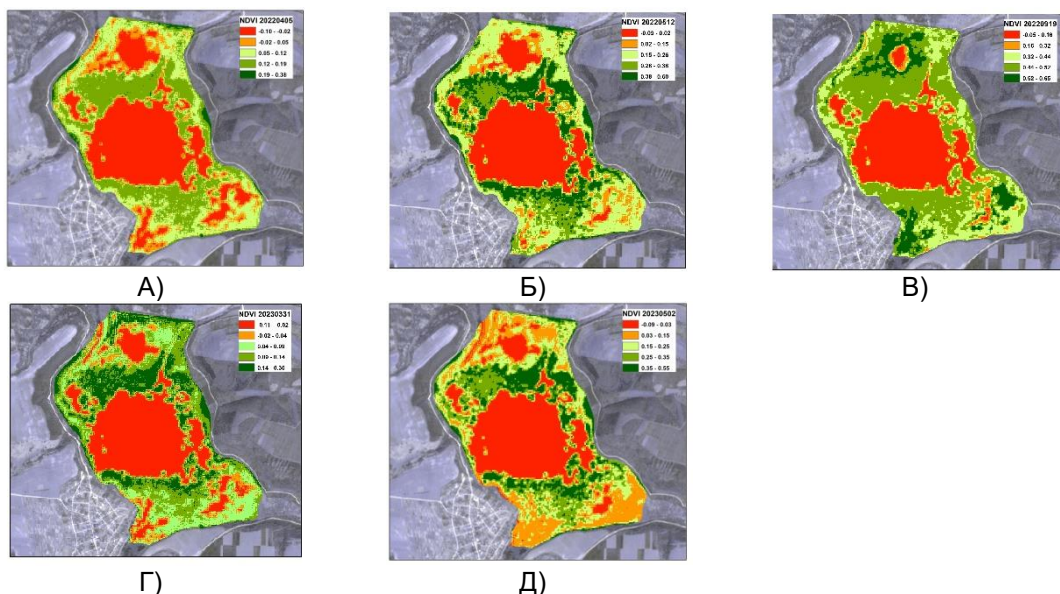
NDGI се определя с помощта на следното уравнение:

$$(4) \quad NDGI = \frac{GR_n(t_2) - GR_n(t_1)}{|GR_n(t_2)| + |GR_n(t_1)|}$$

$GR_n(t_1)$ и $GR_n(t_2)$ са нормализираните стойности на зеления компонент във времеви точки t_1 и t_2 ; $|GR_n(t_1)|$ и $|GR_n(t_2)|$ са абсолютните стойности на същия компонент; $E\{GR_n(t)\}$ е средната стойност на $GR(t)$.

Резултати

На фиг. 1 са показани резултатите от приложението на NDVI класификацията.

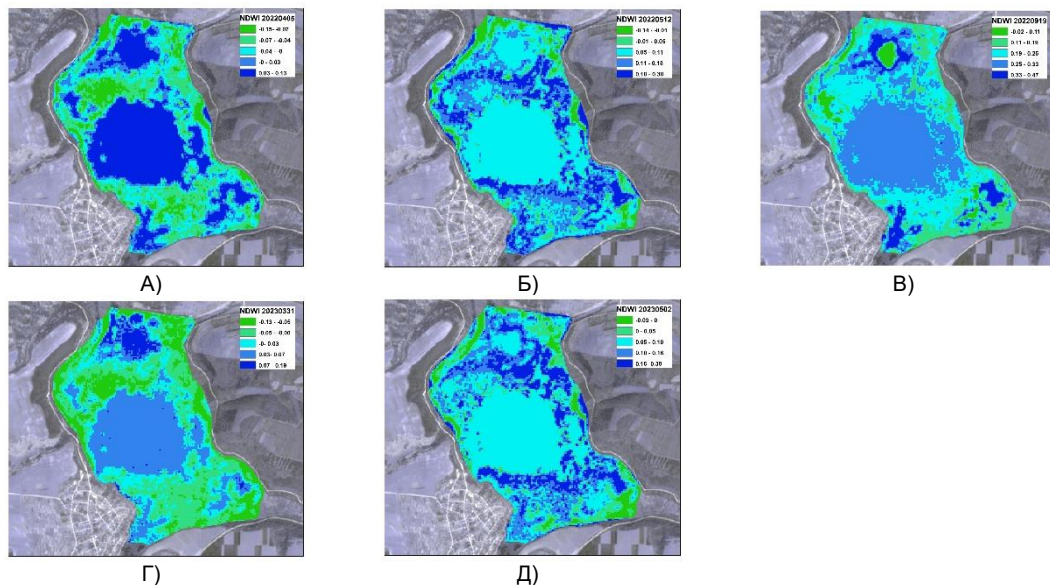


Фиг. 1. Резултати от NDVI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

Изследването на вегетационния индекс върху плаващите тръстикови острови представлява важен аспект от анализа на динамиката на растителната покривка в тези природни екосистеми. По време на периода между май и септември 2019 година се наблюдават най-високи стойности на вегетационния индекс, които достигнаха до 0.60 и 0.65 съответно (фиг. 1Б, В). Този период от годината се характеризира с интензивно развитие на растителността върху тръстиковите острови. Повишените стойности на вегетационния индекс през май и септември

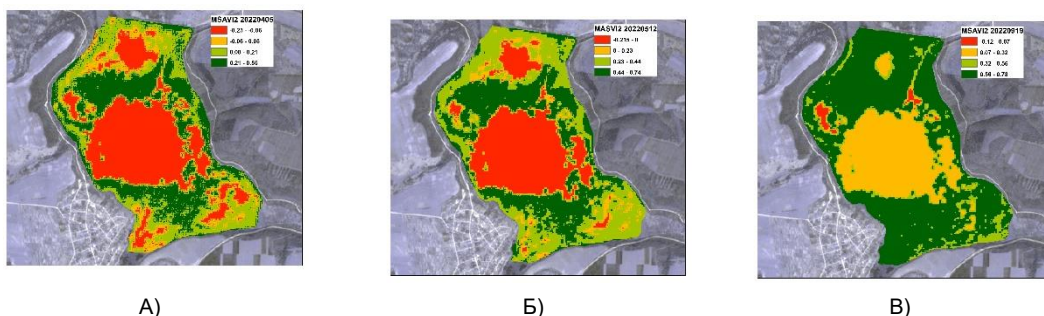
могат да бъдат обяснени със специфичните климатични условия, характерни за тези месеци. През този период на годината температурите се увеличават, а светлинната интензивност на слънчевите лъчи достига максимум.

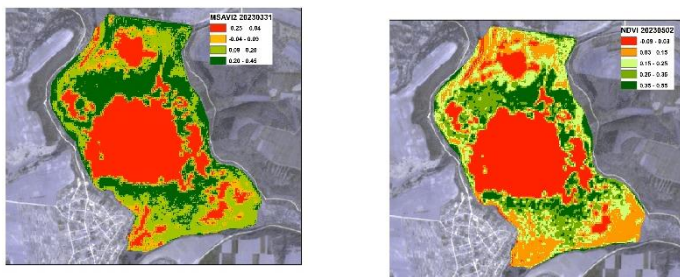
От друга страна, най-ниските стойности на вегетационния индекс са регистрирани през ранната пролет, по-конкретно през март и април (фиг. 1 А, Г). Това може да се обясни с фактори като ниските температури, ограничената светлинна интензивност и наличието на влажност след зимния период. Тези условия пречат на активния растеж на растенията и обясняват намалената стойност на вегетационния индекс по време на ранната пролет.



Фиг. 2. Резултати от NDWI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

NDWI е индекс, който се използва за мониторинг на наличието на вода в растителността и оценка на стреса, на който са подложени растенията поради суша и недостиг на вода. На база на изследвания и анализ на данни, свързани с плаващите тръстикови острови, се наблюдава, че водното съдържание в растителността върху тези острови достига най-високите стойности през месец май през 2022 година (фиг. 2 Б) и през май през 2023 (фиг. 2 Г) година. Този период обикновено съответства на времето, когато сезонът на дъждовете е на върхът си, и земята и растенията получават достатъчно влага. От друга страна, най-ниските стойности на водното съдържание се наблюдават през месеците април 2022 година и март 2023 година (фиг. 2 А, Г). Този период вероятно отразява сезона на по-ниски дъждове или по-големи изпарения, което води до намаляване на влажността в почвата и растителността. През месец септември 2022 година (фиг. 2 В) се наблюдава средно съдържание на вода. Този период може да бъде период на преход между сезоните и да отразява нормалните колебания във водните ресурси и в растителността на плаващите тръстикови острови.



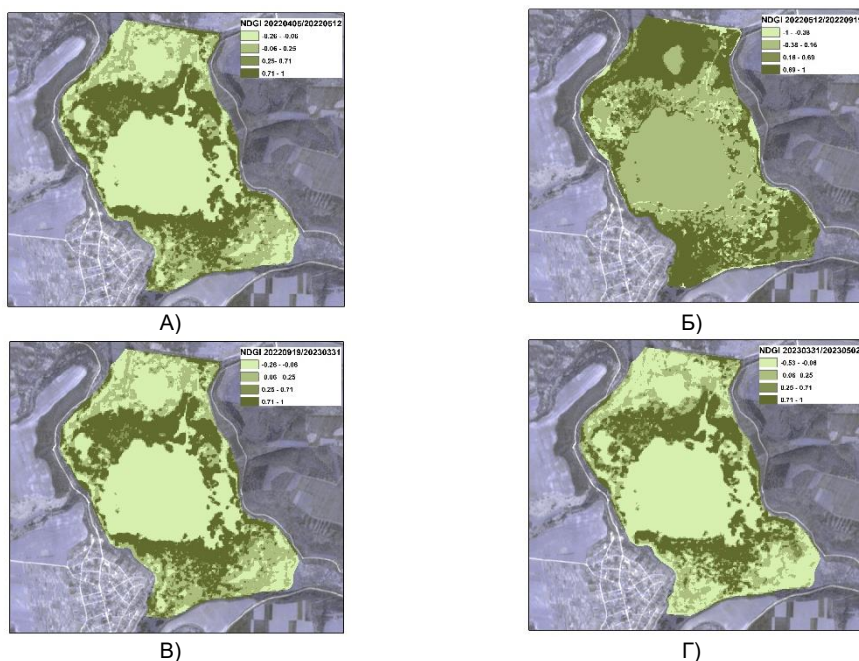


Г)

Д)

Фиг. 3. Резултати от MSAVI2 класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

В случая с плаващите тръстикови острови, изследванията показват вариации в стойностите на индекса MSAVI2 през различните месеци на изследвания период. През май месец 2022 година (фиг. 3 Б) се наблюдава най-висока стойност на MSAVI2 индекса, която достига 0.74. Този период обикновено съответства на началото на вегетационния сезон и на увеличената активност на растенията след зимния период. През септември 2022 година (фиг. 3 В) се отбелязва още по-висока стойност на индекса MSAVI2, достигайки 0.78. Този момент вероятно е свързан с пиковата активност на растенията през този месец, когато се събират ресурси преди настъпване на студените месеци. От друга страна, най-ниските стойности на индекса MSAVI2 се наблюдават през април 2022 година и март/май 2023 година (фиг. 3 А, Г, Д). Тези периоди съответстват на сезоните, когато растенията вероятно са подложени на неблагоприятни условия, като например недостиг на вода, стрес от суша или други фактори, които намаляват фотосинтетичната им активност и общо физиологично състояние.



А)

Б)

В)

Г)

Фиг. 4. Резултати от NDGI класификацията на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна

NDGI е важен индикатор за зелената растителност и фенологичните промени в растителността на определена територия. Най – добри резултати на NDGI индексът се наблюдава през пролетта – 5 април – 12 май 2022 г. (фиг.4 А) и също и през периода есен/пролет 2022/2023 г (Фиг. 4 В). Тогава стойностите на NDGI са най – високи и процентът от площта, която покрива е най - голям (тъмно зелен цвят). Максимумът в NDGI отразява фаза начало на цъфтеж и съответства на пика на интензивен растеж на растенията.

От друга страна, се наблюдават най-ниските стойности на индекса през периода 12 май - 19 септември 2022 г. (Фиг. 4 Б, обозначени със светло зелен цвят). Този нисък индекс може да се обясни с факта, че през този период растителността достига своя пик, и съдържанието на хлорофил в растенията намалява. Това е период, през който растителността достига зрелост и се наблюдава по-ниска активност в зелените пигменти на растенията.

През пролетта на 2023 г., стойностите на NDGI отново се увеличават и остават стабилни около средния диапазон (Фиг. 4 Г). Този ръст на индекса отразява възобновяването на растителността след зимния период и началото на новия растежен цикъл.

Заклучение

Изследванията на вегетационния индекс върху плаващите тръстикови острови са от съществено значение за извършването на мониторинг на динамиката на тези екосистеми и могат да предоставят ценни данни за тяхното здраве и биоразнообразие. Данните от приложението на различните индекси предоставят ценна информация за физиологичното състояние на растенията върху плаващите тръстикови острови и може да служи като индикатор за техните здравословни условия и реакции на сезонните и климатични промени. Тази информация е от съществено значение за управлението и опазването на тези уникални екосистеми. Получените резултати предоставят информация, която подпомага изучаването им допринася за опазването на тези уязвими природни обекти, което ще подпомогне бъдещи изследвания, насочени конкретно към движението и динамиката им във времето.

Литература:

1. Иванова И., (2014), Изследване динамика на плаващите тръстикови острови в ПР „Сребърна“ и езерото Лумина от езерния комплекс Рошу-Пую-Лумина в БР „Делтата на р. Дунав“, на базата на спътникови, наземни и GPS данни“, Дисертационен труд, Акад. Изд. «проф. Марин Дринов», БДС ISO 7144, ISBN 978-954-322-762-4, София.
2. Иванова И., Станкова Н.(2017), Динамика на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна за периода пролет – лято 2017 г. с използването на SAR данни. PROCEEDINGS SES 2017, ISSN 2603-3313, 269–274.
3. Ivanova I., Nedkov R., Borisova D.(2017), Application of SAR data for seasonal monitoring of floating reed islands dynamic in Srebarna Lake. Proc. SPIE 10428, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII, SPIE, 2017, ISSN:0277-786X, 104280M-1-104280M-8. SJR:0.228.
4. Rouse, W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium, 301–317.
5. Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. Rem. Sens. of Environ., 10, 23–32.
6. Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25, 295–309.
7. Avetisyan, D. & Cvetanova, G. (2022). Assessment of drought impact on phenological development of selected sunflower hybrids based on vegetation indices and orthogonalization of multispectral satellite data. Bulg. J. Agric. Sci., 28 (6), 1006–1026.
8. Gao, Bo-cai (1996). NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Remote Sensing of Environment, 58 (3), 257–266.
9. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemond, S. & Gregoire, J. M. (2001). Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment, 77, 22–33.
10. Kauth, R. J. & Thomas, G. S. (1976). The Tasseled Cap – a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Proc. Symp. Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 4B41–4B51.
11. Nedkov, R. (2017a). Orthogonal Transformation of Segmented Images from the Satellite Sentinel-2. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 70 (5), 687–692.
12. Nedkov, R. (2017b). Normalized Differential Greenness Index for vegetation dynamics assessment. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 70 (8).