

УДК 631.459:528.88

**Мисько К. А.**

Національний університет біоресурсів і природокористування  
України

## **ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ NDVI ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ**

Ерозійні процеси завдають значної шкоди як довкіллю, так і економіці. Тому важливо вміти аналізувати ерозійні процеси, оцінювати їх поширення та прогнозувати розвиток. Все це можна зробити, використовуючи моделі, як наприклад USLE (RUSLE). Точність цих моделей залежить від точності оцінювання параметрів, які входять в це рівняння. Серед них одним з найважливіших є С-фактор (вплив рослинного покриву). Кількісна оцінка цього фактору можлива кількома шляхами. Одним з таких є оцінка фактору рослинного покриву шляхом інтерпретації знімків дистанційного зондування Землі, яка включає визначення NDVI –

---

© К. А. Мисько

індикатора, що відображає стан і властивості рослинного покриву. Метою даного дослідження є визначення переваг використання NDVI при прогнозуванні ерозійної небезпеки.

**Ключові слова:** ерозійні процеси, рослинний покрив, NDVI, USLE, C-фактор.

**Вступ.** Планування охорони та збереження ґрунтів часто вимагає оцінки ерозійних процесів, поширених на певній території. Найбільш точним і достовірним способом визначення інтенсивності прояву ерозії ґрунту в конкретному місці є проведення польових спостережень і вимірювань та експериментальних і стаціонарних досліджень. Проте цей спосіб є дуже дорогим і трудомістким, тому його неможливо застосовувати при оцінюванні чи картографуванні просторового поширення ерозії для великих площ. З цією метою доцільно використовувати моделі поширення ерозії [3]. Моделі, такі як Універсальне рівняння втрат ґрунту (USLE) [19] і його модифікації (RUSLE) [14] є корисними інструментами для кількісної оцінки, необхідними для розробки обґрунтованих заходів щодо охорони ґрунтів. У моделях USLE [19], RUSLE [14] ерозія ґрунту розраховується за допомогою аналізу 5 факторів, а саме: ерозійності опадів, властивостей ґрунту, рельєфу, рослинного покриву, протиерозійних заходів. Величина потенційної ерозії визначається як добуток цих факторів. Тому зміна одного з них значно відображається на сумарному результаті. Важливо дослідити, яким чином окремі фактори впливають на просторовий розподіл ерозії та сумарний результат її впливу на ґрунтовий покрив.

**Постановка проблеми, стан її вивченості.** Серед факторів, які сприяють формуванню і поширенню ерозійних процесів, найважче оцінити вплив рослинного покриву або C-фактор, особливо для великих територій. Важливість оцінювання ролі рослинного покриву полягає в тому, що він є одним з найважливіших факторів у зниженні небезпеки ерозії ґрунту. Рослинність збільшує шорсткість поверхні ґрунту, знижує коефіцієнт поверхневого стоку, захищає ґрунтові агрегати від ударної дії крапель дощу, скріплює ґрунт кореневою системою [4]. Найбільшою мірою впливають на величину протидії ерозії ґрунту під сільськогосподарськими культурами і природною рослинністю такі показники: проективне покриття поверхні, висота рослин і їх щільність (надземна фітомаса), характер кореневої системи і насиченість нею верхнього 30-см шару ґрунту

(підземна фітомаса) [3]. Тому важливо дослідити доступні способи оцінювання величини С-фактору, адже це має важливе значення для точної ідентифікації та оцінки масштабів прояву ерозії ґрунту, а отже і для раціонального планування охорони ґрунтів.

**Аналіз останніх публікацій.** Останні роки активно здійснюється дослідження можливості використання NDVI при обчисленні С-фактору та прогнозуванні ерозійної небезпеки вченими, які досліджують країни Африки та Азії. Серед них варто зазначити наступні: Al-Abadi та ін. [5], De Asis і Omasa [6], Patil і Sharma [13], Symeonakis і Drake [15], Wang та ін. [17] Zaeen [20]. В більшості сучасні роботи базуються на працях De Jong [7] і Van der Knijff та ін. [17], які використовувала і я. Крім цього, деякі вчені шукають способи адаптувати ці методи до своєї території, вводять коефіцієнти і т.д.

**Матеріали та методика.** При обчисленні С-фактору часто використовують NDVI – нормалізований відносний індекс рослинності. NDVI відображає поточний стан рослинного покриву. Різниця спектрального коефіцієнта відбиття між ближнім інфрачервоним (NIR) і червоним кольором (red) використовується для розрахунку NDVI.

Формула розрахунку NDVI може бути виражена так [12]:

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) \quad (1)$$

Існує багато варіантів обчислення С-фактору на основі NDVI. Проаналізувавши літературу, ми звернули увагу на те, що в наукових працях переважають 2 способи – De Jong [7] і Van der Knijff та ін. [17]. Для нашого обчислення ми вибрали метод Van der Knijff та ін. [17], оскільки він є сучаснішим і більш обґрунтованим. Згідно з ним, С-фактор розраховується за формулою:

$$C = e^{-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри, що визначають форму кривої, яка пов'язує NDVI з С-фактором. Згідно з Van der Knijff та ін. [16, 17], для європейських кліматичних умов репрезентативні такі параметри рівняння:  $\alpha = 2$ ;  $\beta = 1$ .

Для обчислення NDVI були використані дані ДЗЗ, а саме серія знімків Sentinel-2A за вегетаційний сезон (квітень-жовтень) 2016 р.

Для оцінювання впливу рослинного покриву на ерозійний

процес в даному дослідженні використовувались технології географічних інформаційних систем (ГІС), зокрема ГІС-пакет фірми ESRI – ArcGis 10.1. Використання ArcGis дозволяє здійснювати не лише графічне відображення даних, а й формування баз даних, їх обробку, коригування та оновлення інформації. Також суттєвою перевагою є наявність різних модулів розширення. Обчислення та візуалізація результатів здійснювались у проекції UTM WGS84, зона 35N.

**Територія дослідження.** Об'єктом дослідження було обрано територію Шкроботівської сільської ради, яка розташована в південно-східній частині Шумського району Тернопільської області. Розчленований рельєф, достатня кількість опадів, значна кількість схилових земель сприяють виникненню і поширенню ерозії, а недотримання вимог протиерозійної організації території землекористування та обробітку ґрунтів лише погіршує ситуацію. Для того, щоб забезпечити раціональне використання схилових земель, організувати ґрунтозахисні заходи, необхідно проаналізувати потенціал ерозії ґрунту на даній території. Щоб вирішити це завдання, було застосоване модифіковане універсальне рівняння RUSLE.

**Виклад основного матеріалу.** С-фактор складно визначити для великої території. Зазвичай просторова оцінка протиерозійних властивостей рослинного покриву (С-фактору) здійснюється шляхом простої підстановки у рівняння показників С-фактора, отриманих з літературних джерел або польових досліджень [11]. Проте такий метод не дозволяє адекватно відобразити зміну рослинності в межах великої території [18, 6], оскільки ігнорується структура рослинного покриву, а тому що цей метод картографування полігонів не відображає варіативність рослинного покриву всередині типу рослинності. Як результат, ці помилки поширюються з оцінки С-фактору на прогнозування ерозії ґрунту [6]. Для того, щоб збільшити просторову мінливість і зменшити вплив цих помилок класифікації, було розроблено моделі регресії між значенням С-фактору і вегетаційних індексів, отриманих з даних дистанційного зондування, таких як NDVI (нормалізований відносний індекс рослинності). NDVI є одним з найчастіше використовуваних методів для визначення С-фактору за допомогою матеріалів дистанційного зондування для оцінки ерозії ґрунту на регіональному і вищому рівні (наприклад [7], [8], [10], [15], [16],

[17]).

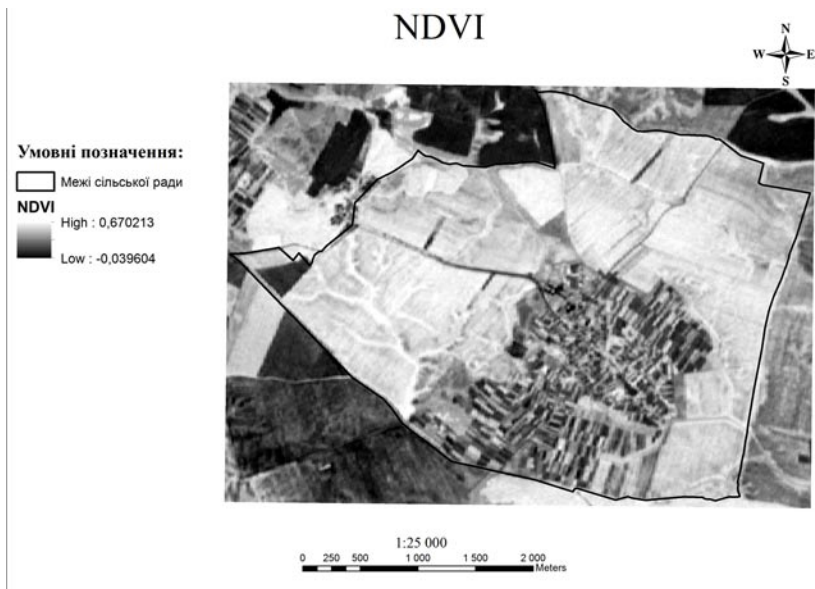
Є багато переваг використання NDVI (у порівнянні з картографічними матеріалами) при прогнозуванні ерозійної небезпеки. При використанні даних ДЗЗ для обчислення NDVI інформація завжди є актуальною і достовірною. Причому аерокосмічні знімки часто знаходяться у вільному доступі на різні часові проміжки. З їх допомогою можна прослідкувати динаміку і періодичність варіації обчислених величин. Великою перевагою використання NDVI є те, що його можна легко обчислити для великих територій.

Проте, недоліки також є. На знімках можливі деякі спотворення чи похибки внаслідок певних погодних умов, хмарності і т.д. Їх можна частково виправити, використавши коефіцієнти, а також композитні зображення за певний період (від кількох днів до місяців). Щоб уникнути чи зменшити вплив похибок, використовують середнє значення NDVI [1]. Недоліком є і певна часова обмеженість. NDVI можна вираховувати тільки для періоду вегетації рослин. Вегетаційний період – період між датами переходу температури повітря через 5°C навесні і восени. За термінами і тривалістю він співпадає з активною частиною вегетаційного циклу багаторічних рослин, коли відбувається їх ріст і розвиток. Тривалість вегетаційного періоду залежить від географічного положення і рис клімату, а також є індивідуальною для кожного виду рослин. На території України вегетаційний період починається з 18-22 березня на півдні України і Закарпатті, а 1 – 4 квітня – на півночі і триває до 19 жовтня – 1 листопада у північній частині, до 15 – 25 листопада на півдні [2]. Тому використання NDVI обмежується цим часовим проміжком; також він не є ефективним про ослабленій рослинності. Враховуючи те, що основна частина опадів, які є рушієм ерозійних процесів, випадає в період з квітня по жовтень, для нашого дослідження таке обмеження в часі не можна вважати великим недоліком.

Отже, за допомогою засобів ArcGis було обчислено NDVI для території Шкроботівської сільської ради (рис. 1).

На основі цього обчислення було розраховано С-фактор (рис. 2 а). Крім того, аналогічні розрахунки проведено шляхом аналізу карти використання земель Шкроботівської сільради (рис. 2 б).

Різниця очевидна. Картограма, створена на основі NDVI, є набагато детальнішою й актуальнішою. Карта використання земель, яка слугувала основою для другої картограми є, по-перше,



**Рис. 1. Картограма вегетаційного індексу (NDVI) для території Шкроботівської сільської ради**

генералізованою, тобто більш узагальненою, а, по-друге, вона створена кілька років тому і не відображає ситуації на сучасний момент. В гіршому випадку карта може містити інформацію ще з 1960-70 років. Також варто звернути увагу на центральну частину території сільської ради. В центрі – забудовані землі. В основному це одноповерхові житлові та господарські будівлі. Крім того, є землі громадської забудови. На карті всі забудовані землі зазвичай зображуються кварталами, рідко – окремими будівлями. Таким чином вся забудова отримує одне значення С-фактору. Але ж не варто забувати, що між будівлями є рослини, які також нечасто відображаються на картах. Ось і маємо ситуацію, коли на карті вся центральна частина (рис. 2.б) має низьке значення С-фактору (яке дорівнює значенню забудованих земель, які майже не піддаються ерозії), а в дійсності забудова не є суцільною, а рослинний покрив між окремими будівлями не є однорідним, тому зображення на карті є строкатим (рис.2.а). Навколо забудованої частини розміщуються землі сільськогосподарського призначення, в основному рілля, пасовища і сіножаті. На ріллі щорічно змінюються культури. Тому на картах значення С-фактору на ріллі будуть відрізнятися. Тобто

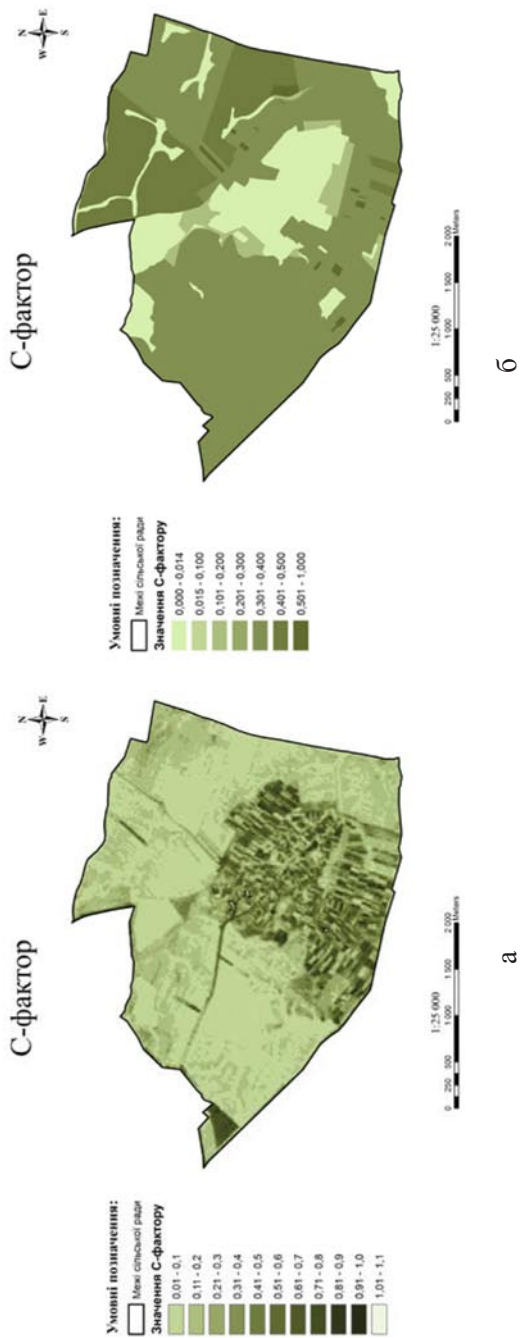


Рис. 2. Картограма розподілу С-фактору (а – на основі NDVI, б – на основі карти використання земель Шкроботівської сільської ради)

з упевненістю можна сказати, що переваги використання NDVI є суттєвими і дозволяють точніше оцінювати протиерозійну роль рослинного покриву, а згодом – і прогнозувати розвиток ерозійних процесів та планувати мінімізацію шкоди, завданої ними.

C-фактор визначає величину ерозійних втрат ґрунту з поверхні землі, зайнятої певним типом рослинності порівняно з ґрунтом без рослинного покриву. Значення C-фактору змінюються від 1 для незахищеного ґрунту (чистий пар) до 0 для поверхні, щільно викритої рослинністю (ліс). На території Шкроботівської сільської ради переважають низькі значення, які відповідають лукам, пасовищам, земельним ділянкам з багаторічними травами та іншими рослинами, які мають велике проективне покриття, а також лісу. Найбільші значення C-фактору мозаїчно розміщені в центральній частині. Зазвичай це присадибні ділянки, рілля. Оскільки основними сільськогосподарськими культурами, які вирощуються на присадибних ділянках, є просапні, то ґрунт на цих ділянках є менш захищеним і зазнає дії ерозійних процесів.

Варто зазначити, що ділянки з максимальними значеннями C-фактору є потенційно-небезпечними через загрозу розвитку ерозійних процесів. Ризик поширення ерозії на ділянках з мінімальними показниками є незначним.

**Висновки. Перспективи дослідження.** Отже, використання NDVI при оцінюванні протиерозійної ролі рослинного покриву (C-фактору) в моделях ерозії ґрунтів є хорошою альтернативою звичним методам оцінювання фактору рослинності. Цей метод не вимагає значних затрат коштів і часу. Існує архів інформації за багато років, причому часто – у вільному доступі. Отримана інформація є детальнішою, вона реальніше відображає стан рослинного покриву і його протиерозійну роль. Тому створена карта C-фактору реальніше відображає дійсну ситуацію на місцевості. Крім того, можна прослідкувати досліджувані процеси у динаміці. Також створені карти просторової мінливості C-фактору доцільно використовувати для моніторингу ґрунтово-ерозійної небезпеки.

В подальших дослідженнях NDVI буде застосовуватися для визначення протиерозійної ролі рослинного покриву більшої території (наприклад району). Адже NDVI без проблем можна розрахувати для великих територій. Крім того, на основі цих розрахунків планується визначити потенційні втрати ґрунту внаслідок ерозії.



**Рецензент – доктор географічних наук, професор  
І. П. Ковальчук**

**Література:**

1. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://gislab.info>.

2. Клімат України [Текст] // За ред. В.М. Ліпінського, В. А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – 344 с.

3. Ковальчук І. П. Ерозійні процеси Західного Поділля : польові, стаціонарні, експериментальні та морфометричні дослідження : Монографія [Текст] / І. П. Ковальчук. – Київ-Львів : Ліга-Прес, 2013. – 296 с.

4. Курсовой проект по дисциплине «Эрозия и охрана почв»: Методические указания [Текст] / О. А. Скрыбина, Н. В. Флягина. Пермь: ПГСХА, 2013. – 43 с.

5. Al-Abadi A. A. Estimation of soil erosion in northern kirkuk governorate, iraq using rusle, remote sensing and gis [Text] / A. A. Al-abadi, H. B. Ghalib, W. Al-Qurnawi. // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. – 2016. – №11. – P. 153–166.

6. De Asis A. M. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data [Text] / A. M. De Asis, K. Omasa // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2007. – №62 (4). – P. 309–324.

7. De Jong S. M. Application of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies in a Mediterranean Environment [Text] / S. M. De Jong. – Utrecht: Netherlands Geographical Studies, University of Utrecht, 1994. – 260 p.

8. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data [Text] / [S. M. De Jong, M. L. Paracchini, F. Bertolo and oth.]. // Catena. – 1999. – P. 291–308.

9. De Jong S. M. SEMMED: a distributed approach to soil erosion modelling. In: Spiteri, . (Ed.), Remote Sensing \96: Integrated Applications for Risk Assessment and Disaster Prevention for the Mediterranean / S.M.De Jong, H.T. Riezebos// Balkema, Rotterdam. – 1997. – P. 199–204.

10. Hazarika M. K. Estimation of Soil Erosion using Remote Sensing and GIS [Text] / M. K. Hazarika, H. Honda. // Its Valuation & Economic

Implications on Agricultural Productions. The 10th International Soil Conservation Organization Meeting at Purdue University and the USDA-ARS Soil Erosion Research Laboratory. – 2001. – P. 1090–1093.

11. Morgan, R.P.C. Soil Erosion and Conservation [Text] / R.P.C. Morgan. – Oxford: Blackwell Publishing, 2005. – 304 p.

12. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NASA Earth Observatory [Electronic resource] – Mode of access : [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php).

13. Patil R. J. Remote Sensing and GIS based modeling of crop/cover management factor (C) of USLE in Shakker river watershed [Text] / R. J. Patil, S. K. Sharma. // Conference: International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2013), At Kuala Lumpur (Malaysia). – 2013. – P. 1–4.

14. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Text] / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool. – Washington: US Department of Agriculture, 1997. – 404 p.

15. Symeonakis E. Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa [Text] / E.Symeonakis, N. Drake // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – №25. – P. 573–592.

16. Van der Knijff J. M. Soil erosion risk assessment in Italy [Text] / J. M. Van der Knijff, R. J.A. Jones, L. Montanarella., 1999. – 52 p.

17. Van der Knijff J. M. European Commission Soil Erosion Risk Assessment in Europe [Text] / J. M. Van der Knijff, R. J.A. Jones, L. Montanarella., 2000. – 38 p.

18. Wang, G. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images [Text] / G.Wang, S. Wentе, G. Z. Gertner, A.Anderson.// International Journal of Remote Sensing. – 2002.– №23.– P.3649–3667.

19. Wischmeier, W. H., and D.D. Smith. (1978) [Text]. — Predicting rainfall-erosion losses – a guide to conservation planning. U.S. Dept. Agr., Washington, D.C. – 1978. – 537 p.

20. Zaeen A. A. Remote sensing technique to monitoring the risk of soil degradation using NDVI [Text] / Ahmed Asaad Zaeen. // international journal of geographical information system applications and remote sensing. – 2012. – №3. – P. 2–8.

К.А. Мысько

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ NDVI ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ**

Эрозионные процессы наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и экономике. Поэтому важно уметь прогнозировать эрозионные процессы, оценивать их распространение и прогнозировать развитие. Все это можно сделать, используя модели, например, USLE (RUSLE). Точность этих моделей зависит от их параметров – факторов, одним из важнейших является С-фактор (влияние растительного покрова). Определение этого фактора возможно несколькими путями. Одним из таких является оценка растительного покрова путем интерпретации снимков дистанционного зондирования Земли, которая включает определение NDVI – индикатора, который отражает растительный покров. Целью данного исследования является определение преимуществ использования NDVI при прогнозировании эрозионной опасности.

**Ключевые слова:** эрозионные процессы, растительный покров, NDVI, USLE, С-фактор.

К. Mysko

## **THE ADVANTAGES OF USING NDVI IN PREDICTING EROSION HAZARD**

The erosion processes are causing significant damage to both the environment and the economy. Therefore, it is important to be able to predict the erosion processes, assess their distribution and forecast development. All of this can be done using models, such as USLE (RUSLE). The accuracy of these models depends on their parameters. One of the most important factors is the C-factor (influence of vegetation cover). The vegetation cover protects the soil by dissipating the energy of raindrops before they reach the surface. The definition of this factor may in several ways. One such is the estimation of vegetation cover by interpreting the Earth's remote sensing images, which includes the definition of NDVI – indicator, which reflects vegetation cover. The purpose of the study is to determine the advantages of using NDVI in forecasting erosion risks compared to traditional ones. The traditional method is to assign values that were evaluated by experimental means to plant groups or to a specific type of land use. This method is outdated and inaccurate. However, it has the right to exist. Vegetation cover can

be estimated using vegetation indices based on satellite imagery. The vegetation indices make it possible to determine the distribution of vegetation and soils based on the characteristic patterns of the display of green vegetation. The most common index is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI reflects the current state of vegetation cover. For applications on regional or national scale the C-factor can be estimated from mid-resolution satellite images by applying the NDVI. NDVI is derived from satellite image of Sentinel-2A in period 2016. The final C-factor map was generated using the regression equation in Spatial Analyst tool of ArcGIS V.10.1 software. The results show that large parts of areas in central part of study area with bare soil has higher C-factor. In contrary vegetated areas, especially the forests, shrub and grasslands has lower C-factor. However, this study shows that NDVI is an optimal method to estimate C-factor values of land cover classes of large areas in a short time.

**Keywords:** Erosion processes, vegetation cover, NDVI, USLE, C-factor.

Надійшла до редакції 18 жовтня 2016 р.