



О. Я. Кравець

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕРОЗІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗЕМЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПЛАСТИКИ РЕЛЬЄФУ

Досліджено важливу проблему ерозії ґрунтів. Виконано аналіз методів дослідження ерозійних процесів та головних чинників, що призводять до ерозії ґрунтового покриву сільськогосподарських земель. Визначено, що одним з основних чинників виникнення ерозії ґрунтів є рельєф місцевості, а саме такі його характеристики, як крутизна, експозиція і довжина схилів. Ці характеристики часто об'єднують і називають топографічним чинником, який найповніше відображає вплив рельєфу на ерозійні процеси. Запропоновано використовувати геоінформаційні технології для оцінювання ступеня еродованості земель. За даними топографічного знімання з допомогою пакету програм Surfer створено цифрову модель рельєфу ділянки фермерського господарства, що розташована в Рогатинському районі Івано-Франківської області. За результатами цифрового моделювання розроблено карти крутизни та експозиції схилів. На підставі цих карт за розробленими алгоритмами визначено довжини схилів для кожної точки цифрової моделі та складено карту ерозійного потенціалу, яка дає змогу виділити найбільш ерозійно небезпечні ділянки досліджуваної території. На підставі карт крутизни та експозиції схилів розроблено карту освітленості території. Ця карта також є важливим джерелом інформації про потенційно небезпечні з погляду поширення ерозійних процесів ділянки земної поверхні. Використовуючи можливості пакету програм Surfer, створено карти пластики рельєфу, на яких виділено опуклі та увігнуті форми земної поверхні. З опуклих форм рельєфу відбувається стікання води в увігнуті, де відбувається накопичення змитого ґрунту. Карти пластики рельєфу дають змогу докладніше проаналізувати прояви ерозійних процесів на досліджуваній території. Такі карти можуть бути використані під час оцінювання ділянок сільськогосподарського призначення та розроблення показників для визначення вартості землі. З усіх чинників ерозії найнебезпечнішими є зливові паводки, які поширені в Прикарпатті. Визначено, що на розподіл опадів по території великий вплив має її рельєф, експозиція схилів, висотне положення місцевості. Для розрахунку зливового стоку на підставі генетичної формули стоку розроблено алгоритм визначення об'єму паводкового стоку за ЦМР. Запропоновано застосовувати геоінформаційні технології для створення моделей ерозійних та гідрологічних процесів. Розроблені карти крутизни та експозиції схилів, ерозійного потенціалу та освітленості території, карти пластики рельєфу формують базу даних для здійснення комплексного моніторингу стану сільськогосподарських угідь, підвищення ефективності їх використання та охорони земель від впливу негативних процесів.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу; морфоізографа; ерозія; пластика рельєфу; геоінформаційні технології.

Вступ

Ерозія, або роз'їдання ґрунтів завдає великої як екологічної, так і економічної шкоди. Проблеми ерозії досліджують у гідрогеології, ґрунтознавстві, геоморфології, землеустрої та інших галузях науки і національного господарства. Із усіх видів ерозії найбільшої шкоди завдає водна ерозія, залежно від рельєфу місцевості. Основними чинниками ерозії, за універсальним рівнянням ерозії Уїшмаера [10], є опади, змивання ґрунту, довжина на схилу, крутизна схилу, агрономічний та чинник протиерозійних заходів. Чинники довжини і крутості схилів часто об'єднують і називають топографічним чинником, який найповніше відображає вплив рельєфу на ерозійні процеси [8].

Окрім універсального рівняння існують й інші форми ерозії ґрунтів, в яких наявні параметри довжини та крутизни схилів. Обчислення параметрів, за якими визначають величину змиву ґрунту, можливе тільки за наявності цифрової моделі рельєфу, враховуючи просторову мінливість всіх параметрів, що визначають змив ґрунту.

Об'єкт дослідження – ерозійно небезпечна ділянка фермерського господарства в Рогатинському районі Івано-Франківської області.

Предмет дослідження – методи і засоби використання геоінформаційних технологій для прогнозування ерозійних процесів.

Мета роботи – вдосконалення методики виділення ерозійно небезпечних ділянок з використанням геоін-

Інформація про авторів:

Кравець Олена Ярославівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра геодезії та землеустрою. Email: olenakravets9@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7861-0640>

Цитування за ДСТУ: Кравець О. Я. Цифрове моделювання ерозійно небезпечних земель з використанням методу пластики рельєфу. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 2. С. 103–107.

Citation APA: Kravets, O. Ya. (2021). Digital modeling of erosion hazard areas using the plastic relief method. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(2), 103–107. <https://doi.org/10.36930/40310217>

формаційних технологій та методу пластики рельєфу.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження – розроблення карт оцінювання стану ерозійно небезпечних земель: карти ерозійного потенціалу; карти розподілу сонячної радіації; карт пластики рельєфу, а також розроблення алгоритму зливого стоку.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше вдосконалено методи прогнозування ерозійних процесів з використанням геоінформаційних технологій та методу пластики рельєфу; розроблено карти, що дають змогу створити просторову модель поширення ерозійних процесів.

Практична значущість результатів дослідження – можна використати у проектуванні протиерозійних заходів для захисту сільськогосподарських угідь, раціонального використання території, розроблення рекомендацій з виділення ерозійно небезпечних земель при землеустрої та для визначення вартості землі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання вивчення ерозійних процесів висвітлюють у численних наукових працях [1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12]. Відзначено велику поширеність та небезпеку ерозійних процесів, вплив рельєфу на формування ґрунтів. Геоморфологічні дослідження ґрунтів охоплюють вивчення зв'язків між формами рельєфу і ґрунтовим складом. Дослідження геоморфології рельєфу виконують за двома напрямками, які використовують у ґрунтознавстві, а саме – метод пластики рельєфу та метод морфодинамічного аналізу [2, 3, 4, 11].

Суть методу пластики рельєфу полягає у використанні морфоізограф – похідних від горизонталей топографічних карт. Морфоізографи проводять по точках нульової кривини, які знаходяться на межі опуклих і увігнутих ділянок земної поверхні. Опуклі форми вказують на дивергентний потік стікання вологи, а увігнуті – на конвергентний потік.

Вивчення стану ґрунтів здійснюють також із застосуванням космічних знімків. Є спроби за космічними знімками визначати вміст гумусу в ґрунтах, спектральні характеристики, вміст вологи у ґрунті.

Останнім часом з'явилося багато інформації про безпілотні системи – дрони. В аграрному виробництві використовують найсучасніші досягнення науки і техніки. Дрони можуть скласти конкуренцію супутниковим зніманням під час моніторингу стану сільськогосподарських угідь, ступеня деградації земель, оцінювання паводкового стоку.

Спектрально-аналітичне знімання із дронів дає змогу аналізувати відбивну здатність ґрунтів і рослинності в різних зонах спектра й отримувати вичерпні дані про стан рослин, потреби в поливі, добривах. За допомогою гіперспектральних знімків можна визначати родючість ґрунтів, виконувати моніторинг стану сільськогосподарських угідь, оперативно оцінити стан та ступінь деградації земель [5, 6].

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконано з використанням ГІС-технологій, які передбачають наявність пакетів комп'ютерних програм і банків інформаційних даних. У нашому випадку використано пакет програм Surfer і цифрову модель рельєфу земельної ділянки фермерського господарства в Рогатинському районі, який відзначається найбільшою інтенсивніс-

тю ерозійних процесів в Івано-Франківській області. Рельєф ділянки складний, розчленований. Цифрову модель рельєфу побудовано за топографічним планом масштабу 1:10000 з перерізом рельєфу через 5 м.

Результати досліджень та їх обговорення

За цифровою моделлю рельєфу складено карти крутизни та експозицій схилів, карту ерозійного потенціалу ґрунтів. Результати моделювання наведено на рис. 1, 2. На рисунках поряд із зображенням наведено шкали, що характеризують параметри, відображені на відповідних картах. Зокрема, на рис. 2,а наведено розподіл території за крутизною схилів від 0 до 10° і більше, що показано відповідними кольорами. На рис. 2,б наведено розподіл території за експозицією схилів. Виділено північні, південні, східні й західні схили. Шкала відображає азимути схилів.

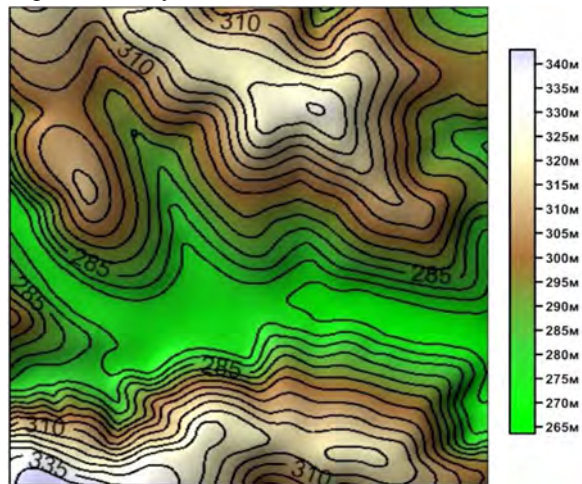


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу земельної ділянки фермерського господарства в Рогатинському районі

Проблема ерозії ґрунтів є результатом впливу багатьох чинників, а саме особливостей ґрунтів, гідрометеорологічних і кліматичних умов, агротехнічного чинника. Але основними є топографічні чинники, а саме – довжина і крутизна схилів. На рис. 2,в наведено карту ерозійного потенціалу рельєфу, яку створено за картами довжини стоку L і ухилів схилів J [8]. Ця карта дає змогу візуалізувати найбільш ерозійно небезпечні ділянки досліджуваної території. Шкала відображає значення ерозійного потенціалу T

$$T = J^{1,4} \cdot \sqrt{L} \quad (1)$$

Велике значення для комплексного моніторингу урожайності ґрунтів відіграє фотосинтез рослин, що передусім залежить від освітленості території сонячними променями. Від освітленості залежить мікроклімат полів, а також прояви ерозійних процесів. Пояснюють це тим, що південні схили краще прогріваються, тут інтенсивніше сніготанення [8].

На ерозійні процеси впливає також величина сонячної радіації, яка залежить від кута C між нормаллю до земної поверхні та напрямком на Сонце. Для визначення C на підставі астрономічних формул розроблено:

$$\cos C = \cos H \sin \alpha \cos \left(180 - A \pm \arccos \frac{\sin \phi \sin H - \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos H} \right) + \sin H \cos \alpha, \quad (2)$$

де: H – висота Сонця; α – кут нахилу схилу; A – експозиція схилу; ϕ – географічна широта місця спостереження; δ – схилення Сонця.

За формулою (2) визначають величини сонячної радіації для кожної точки цифрової моделі та для ділянки загалом на певну дату, на одиницю часу і на одиницю площі. Підсумовуючи ці дані, визначають денну, місячну радіацію або на весь період вегетації з березня по вересень залежно від крутизни та експозиції схилів. Се-

реднє денне значення сонячної радіації для географічної широти 49° за чистого неба становить приблизно: в березні і вересні – 30 %, у квітні і серпні – 38 %, у травні і липні – 45 %, у червні – 52 % від максимального $E_0 = 1,36 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с}$.

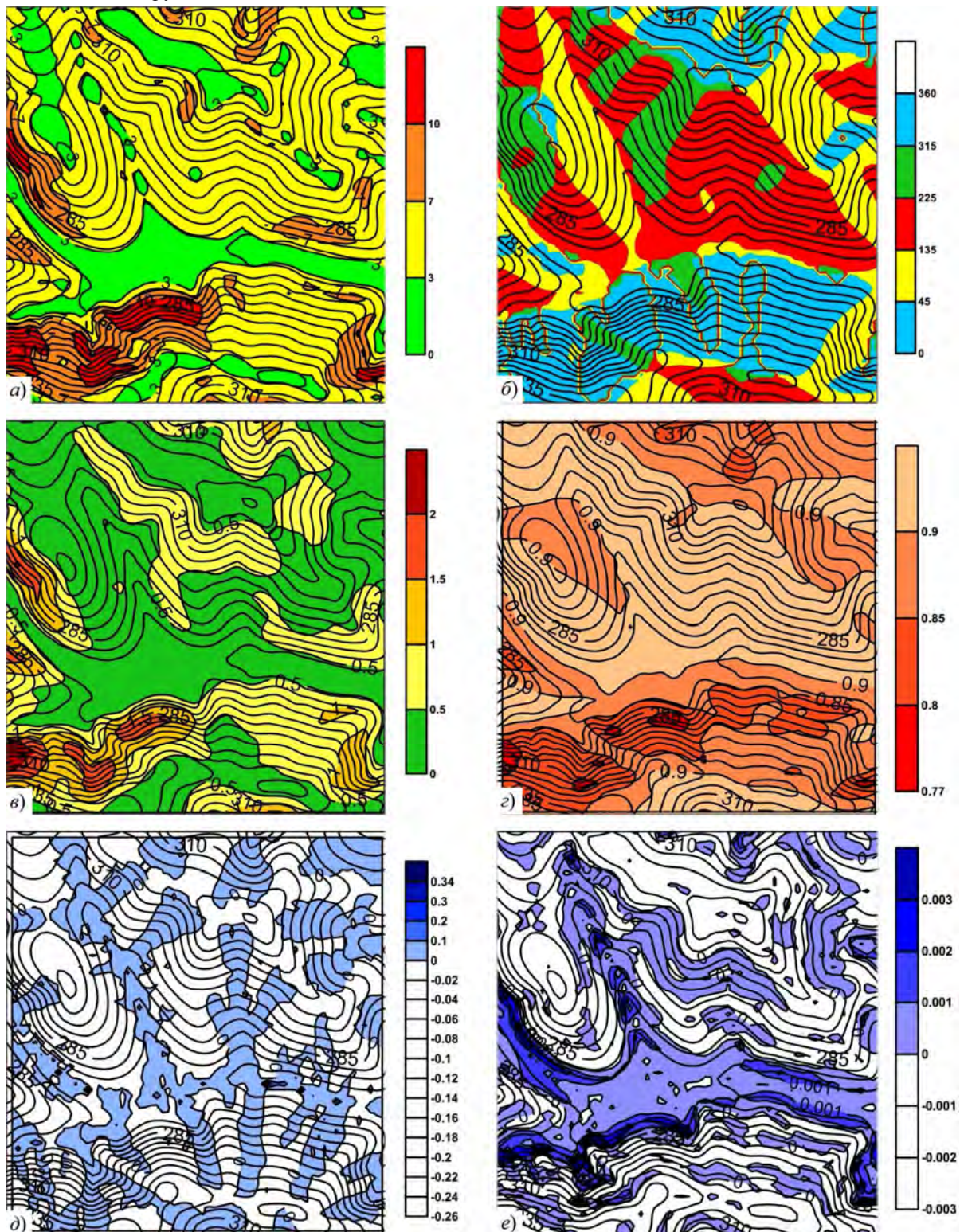


Рис. 2. Карти у градусах: а) крутизни схилів, б) експозиції схилів, в) планової кривизни, г) профільної кривизни, д) розподілу сонячної радіації в полудень 22 червня, е) ерозійного потенціалу рельєфу Т

Розподіл сонячної радіації залежно від експозиції схилів показує, що ерозійність південних схилів на 10-15 % більше, ніж північних. На рис. 2,г наведено карту розподілу сонячної радіації на досліджуваній ділянці в полудень 22 червня, коли висота Сонця максимальна.

Шкала характеризує величину сонячної радіації в долях від максимального значення.

Останнім часом часто використовують поняття пластики рельєфу. Метод пластики рельєфу полягає у виділенні опуклих та увігнутих форм рельєфу на топог-

рафічний карті з допомогою морфоізограф, які проводять по точках перегину горизонталей. Морфоізограф є лінією, яка утворює межу між дивергентними та конвергентними формами рельєфу. Її проводять по точках нульової планової кривини, внаслідок чого отримують динамічну модель опуклих та увігнутих форм земної поверхні.

Для моделювання поверхні за допомогою пакету програм Surfer використовують такі операції: профільна та планова кривизна, нахил та експозиція поверхні. Моделювання поверхні базується на напрямках градієнтів (напрямах найбільшого нахилу в кожній точці цифрової моделі).

Планова кривизна є мірою кривини ізоліній горизонталей на карті. Негативні значення градієнтів характеризують розбіжність потоку води на поверхні, а позитивні – збіжність потоку. Лінія, яка проведена по точках, в яких градієнти дорівнюють нулю, і буде нульовою морфоізографою. На картах планової і профільної кривизни синім кольором показано конвергентні потоки.

Профільна кривизна визначає швидкість зміни нахилу в напрямку градієнта в кожному вузлі сітки. Карті профільної кривизни автоматично визначають напрям схилу, а також швидкість зміни нахилу вздовж цього напрямку. Результати моделювання показано на рис. 2, д, е. На шкалах наведено відповідні градієнти.

З усіх чинників ерозії найнебезпечнішими є зливові паводки, які досить поширені в Прикарпатті. На розподіл опадів по території великий вплив має її рельєф, експозиція схилів, висотне положення місцевості. Середні річні суми опадів у Прикарпатті становлять приблизно 600-700 мм. Переважна їх більшість припадає на літній період. Найбільш несприятливими з погляду ерозії є зливові дощі. Найчастіше спостерігаються зливи з інтенсивністю 20-30 мм/год тривалістю 2-3 години [9].

Для розрахунку зливового стоку за цифровою моделлю рельєфу на підставі генетичної формули стоку розроблено такий алгоритм. Для кожної точки цифрової моделі визначають мінімальну віддаль до точок на водорозділах. Час схилового добігання води визначають за такою формулою:

$$t_c = \frac{l_{\min}}{v_c}, \quad (3)$$

де: l_{\min} – віддаль від точки моделі до водорозділу; v_c – швидкість стікання води по схилу.

Об'єм стоку без врахування фільтрації за інтервал часу T визначають за такою формулою:

$$W = n \cdot f \cdot H \cdot T, \quad (4)$$

де: f – розмір ґрид-сітки ЦМР; H – шар водовіддачі; n – кількість точок моделі, які потрапили в інтервал T .

Існує багато формул для визначення схилового добігання: формули Шезі-Манінга, Алексєєва та інших авторів [10]. Але всі вони є наближеними через складність визначення гідрологічних параметрів, які до них входять.

Результати багаторічних спостережень показують, що для середніх значень ухилів і довжин схилів швидкість схилового стікання становить приблизно 0,2-0,3 м/с, а час схилового добігання – 1,5-2,0 год.

Великі перспективи для гідрологічних розрахунків відкриваються через появу безпілотних літальних апаратів БПЛА. Матеріали аерофото- та спектральних знімків мають велику роздільну здатність, містять деталь-

ну інформацію про вологість, стан деградації ґрунтів та інші показники, що характеризують ґрунтовий покрив. З їх допомогою можна здійснювати моніторинг сільськогосподарських угідь з високою точністю та деталістю [5, 6].

Висновки

Виконано моделювання ділянки сільськогосподарського призначення для врахування просторової диференціації природно-господарських умов. Складено карти ерозійної, експозиції, ерозійного потенціалу схилів, розподілу сонячної радіації та карти пластики рельєфу. Виконані дослідження спрямовані на підвищення ефективності використання сільськогосподарських угідь, класифікацію посівних площ з урахуванням мікроклімату, освітлення, ерозійності схилів в умовах складного рельєфу. Запропоновано алгоритм розрахунку зливового стоку. Результати дослідження можуть бути використані у визначенні продуктивності посівних площ, проектуванні протиерозійних заходів для захисту сільськогосподарських угідь, раціонального використання території, розробленні рекомендацій з виділення ерозійно небезпечних земель при землеустрої, а також для визначення вартості земельних ділянок.

References

1. Achasov, A. B., & Achasov, A. O. (2011). Metodichni osnovy suchasnoho prostорового monitorynhu hruntiv. *Vismyk KhNU Im. V. N. Karazina*, 944, 20–27. Retrieved from: http://journals.uran.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/23264
2. Cherlinka, V. R., & Dmytruk, Yu. M. (2011). Osoblyvosti ta aktualnist vykorystannia systemy pidtrymky analizu heohrafichnykh resursiv (GRASS). *Uchenye zapysky Tavryiskoho natsionalnoho unyversyteta im. V. Y. Vernadskoho. Seryia: Heohrafiya*, 24(63), 3–7. [In Ukrainian].
3. Dmytruk, Yu. M., & Cherlinka, V. R. (2011). Okremi aspekty orhanizatsii terytorii na osnovi vyokremлення potokovo-oriento-vanykh struktur iz vykorystanniam HIS GRASS. *Zemleustrii i kadastr*, 3, 57–64. [In Ukrainian].
4. Dmytruk, Yu. M., & Stuzhuk, O. V. (2014). Kartohrafichne modeliuвання ґрунтового покryvu ta eroziinykh protsesiv metodom plastyky reliefu. *Heopolityka y ekoheodynamika rehioniv*, 10(1), 41–43. [In Ukrainian].
5. Knysh, B. P., Brovko, P. V., & Popil, D. S. (2017). The classification of the certain types of the unmanned aerial vehicles. *Modern engineering and innovative technologies*, 2(1), 34–39. <https://doi.org/10.21893/2567-5273.2017-02-01-004>
6. Kostyn, A. S. (2019). Klasyfikatsiya hrazhdanskykh bespylotnykh letatelnykh apparatov y sfery ykh prymereniy. *Systemnyi analiz y lohystryka*, 19, 70–80. [In Russian].
7. Kravets, O., Kravets, Ya., Rudyi, R., Pryimak, D., & Solovei, H. (2012). Klasyfikatsiia zemelnykh uhid za elementamy reliefu. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, 2(24), 151–154. Retrieved from: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/14745>
8. Laryonov, H. A. (1993). Eroziya y defliatsiya pochv: *Osnovnye zakonomernosti y kolychestvennye otsenky*. Yzdatelstvo MHU. [In Russian].
9. Myrskhulava, Ts. E. (1970). *Ynzhenernye metody raschota y prohnoza vodnoi erozyi*. Moscow: Kolos, 260 p. [In Russian].
10. Shvebs, T. Y. (1974). *Formyrovanye vodnoi erozyi, stoka, nansov y ykh otsenka*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 320 p. [In Russian].
11. Stepanov, Y. N. (2005). *Teoriya plastyky relefa y novye tematycheskye karty*. Moscow: Nauka, 232 p. [In Russian].
12. Voloshyn, V., Korol, P., & Rudyk, O. (2013). Matematychno-kartohrafichne zabezpechennia monitorynhovykh doslidzhennia eroziinonebezpechnykh zemel iz zastosuvanniam metodu otsiniuvan-

DIGITAL MODELING OF EROSION HAZARD AREAS USING THE PLASTIC RELIEF METHOD

Erosion problems are studied in hydrogeology, soil science, geomorphology, land management and other fields of science. Water erosion causes the most damage of all the types of erosion. The main cause of erosion is the terrain. The purpose of this study is to improve the method of allocation of erosion hazard areas. The study was performed using Surfer software package and a digital terrain model of the farm in Rohatyn district. Maps of steepness and exposition of the slopes were created according to the digital terrain model. The problem of soil erosion is the result of the influence of many factors, namely: soil characteristics, hydrometeorological and climatic conditions, agrotechnical factor. The main factors are topographic factors, namely – the length and steepness of the slopes. A map of the relief erosion potential was created according to the values of these parameters. Great importance for the comprehensive monitoring of soil yield is photosynthesis of plants. The photosynthesis depends on the illumination of the territory with sunlight primarily. The illumination affects the microclimate of the fields, as well as the degree of erosion, which depends on the angle between the normal to the earth's surface and the direction on the Sun. The map of the distribution of solar radiation at noon on June 22 was created according to the values of the cosine of this angle. Relief plastic maps were created using the capabilities of Surfer software package. The convex and concave shapes of the earth's surface were highlighted with the help of morphoisographs, which are drawn along the points of horizontal inflection, on these maps. The morphoisograph is a line that forms the boundary between divergent and convergent landforms. It is drawn out at points of zero plan curvature. The dynamic model of convex and concave shapes of the earth's surface is formed as a result. Thus, maps of planned and profile curvature were created. These maps allow for a more detailed analysis of the manifestations of erosion processes. Water flows from the convex forms of relief into the concave, where there is an accumulation of washed soil. Torrential floods, which are quite common in the Carpathians, are the most dangerous of all the factors of erosion. The distribution of precipitation over the territory is greatly influenced by its relief, an exposition of the slopes, and altitude of the area. An algorithm for determining the volume of runoff by DEM based on the genetic formula of runoff was developed. The benefits of this study are highlighted to be as follows: performed researches are directed on increase of efficiency of use of agricultural lands, classification of sowing areas concerning microclimate, lighting, and erosion of slopes in the conditions of a difficult relief. Consequently, the results of the study can be used to determine the productivity of sown areas, design of anti-erosion measures to protect agricultural land, rational use of territory, development of recommendations for the allocation of erosion hazard lands in land management, and for determining the value of land as well.

Keywords: digital terrain model; morphoisograph; erosion; relief plastic; geoinformation technologies.