

УДК 631.6.02:551.4.013:528.92

DOI: 10.18524/2303-9914.2019.2(35).183729

А. В. П'яткова, канд. геогр. наук, доцент**О. Б. Муркалов**, канд. геогр. наук**Ю. В. Логвина**, магістр

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

кафедра фізичної географії та природокористування,

пров. Шампанський, 2, Одеса, 65058, Україна

physgeo_onu@ukr.net, avpyatkova2011@gmail.com, logvina.julia19@gmail.com

ВПЛИВ МЕТОДУ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ НА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ЗМИВУ ҐРУНТУ

Викладено результати дослідження впливу методів побудови ЦМР на розрахунки потенційного змиву ґрунту на території балкового водозбору. Розрахунки змиву ґрунту виконано з використанням просторової ГІС-реалізованої моделі змиву-аккумуляції, розробленої на кафедрі фізичної географії та природокористування Одеського національного університету імені І. І. Мечникова. Залучено ЦМР, побудовані за допомогою найбільш поширених методів інтерполяції: лінійної інтерполяції, кригінгу, радіальних базисних функцій.

Ключові слова: ГІС, моделювання, морфометрія, цифрова модель рельєфу, ерозія ґрунтів.

ВСТУП

Сучасні географічні дослідження характеризуються широким запровадженням ГІС-методів. Дослідження рельєфу і геоморфологічних процесів виконуються з використанням цифрових моделей рельєфу (ЦМР). Питання створення ЦМР є досить актуальним і різнобічно досліджується. ЦМР широко використовуються для вирішення різноманітних задач пов'язаних з геоінформаційним моделюванням природних і природно-антропогенних процесів, що безпосередньо або опосередковано обумовлені рельєфом місцевості. Наприклад, напрямки та швидкість стоку, транспорт та аккумуляція продуктів руйнування ґрунту (гірських порід) і забруднювачів, вологість ґрунту та інші. Особливе місце ЦМР займають у моделюванні та прогнозуванні ерозійної небезпеки території [4, 9, 14, 20, 22].

Напрямки використання ЦМР, а також її коректність та відповідність дійсності розглянуті у багатьох роботах [1, 2, 7, 21, 23, 24, 25, 30 та ін.], в яких аналізуються методи отримання інформації, обробки та інтерполяції просторових даних, перевірки адекватності, особливості застосування отриманих моделей тощо. У багатьох роботах наведений розгорнутий аналіз переваг та недоліків тих чи інших методів інтерполяції у тому числі при створенні ЦМР [3, 8, 10,

13, 21, 23]. Проведене дослідження ґрунтується на методичних підходах викладених в зазначеній науковій літературі, які дозволяють досягти головної мети роботи.

Метою дослідження є оцінка впливу методів створення ЦМР на розрахунки потенційного змиву ґрунту в межах балкового водозбору з використанням просторової ГІС-реалізованої моделі змиву-акумуляції ґрунту, розробленої на кафедрі фізичної географії та природокористування Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Основні задачі, що вирішені для досягнення поставленої мети: 1) створити ЦМР території з використанням трьох методів інтерполяції – триангуляції, радіальних базисних функцій, ординарного кригінгу; 2) розрахувати потенційний змив ґрунту для заданої території з використанням отриманих ЦМР; 3) оцінити вплив застосованих ЦМР на результати розрахунків потенційного змиву.

Об'єктом дослідження є просторовий розподіл розрахункових значень потенційного змиву ґрунту у межах території балкового водозбору. *Предмет* дослідження – ступінь впливу ЦМР, отриманих різними методами інтерполяції, на розрахунки просторового розподілу змиву ґрунту, а саме їх кількісних і якісних характеристик: висот, кутів нахилу, довжини і форми схилів, а також середньо-квадратичної похибки самих ЦМР.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувана територія розташована в межах Причорноморської низовини біля сіл Киселівка та Крутий яр Білозерського району Херсонської області. Максимальна висота місцевості дорівнює 47,5 м над рівнем моря, амплітуда висот складає близько 50 м. Рельєф представлений частиною водозбору балки Білозерка (рис. 1). Генеральний напрямок основної балки довжиною близько 10 км спрямований з північного сходу на південний захід. Територія характеризується помірно-континентальним кліматом. Основа ґрунтового покриву – чорноземи південні.

За топографічною картою масштабу 1:25000 була оцифрована площа близько 70 км². Робочим пакетом, що використаний з метою оцифрування горизонталей, обраний ГІС-пакет MapInfo Professional 6.0 [17]. В процесі оцифрування створено базу даних висотних відміток місцевості: горизонталей, відміток висот окремих точок у межах вододільних поверхонь, точок з відмітками висот вздовж ліній місцевих вододілів і тальвегів.

Для подальшої обробки всі отримані дані імпортовані у текстовий документ з метою конвертації його у середовищі пакету наукової графіки Surfer 13.0 компанії Golden Software. В пакеті Surfer представлено 12 методів просторової інтерполяції для побудови ЦМР [16]. Особливості кожного із застосованих методів, переваги та недоліки детально розглянуті у літературі [3, 8, 18, 21, 23].

Обмін даними та їх конвертація виконані із застосуванням можливостей ГІС-пакету SAGA [19, 26].

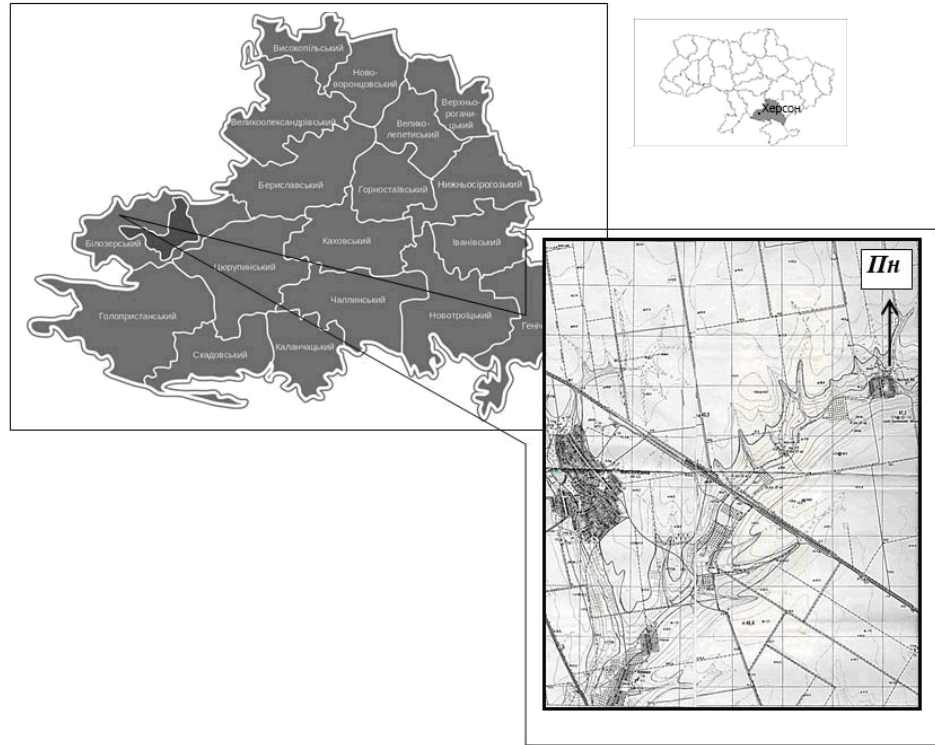


Рис. 1. Місцезнаходження ділянки дослідження в межах Херсонської області (А), фрагмент топографічної карти ділянки дослідження (Б)

У пакеті Surfer 13.0 побудовані три ЦМР із застосуванням ординарного кригінгу – (ЦМРк), лінійної інтерполяції по триангуляції Делоне – (ЦМРт) та радіально-базисних функцій (РБФ) – (ЦМРрб) (рис. 2). Перший застосований метод побудови ЦМР – кригінг (Kriging) відноситься до категорії «точних» локально-стохастичних методів просторової інтерполяції. Метод базується на врахуванні статистичних характеристик просторового розподілу змінної величини. Кригінг-інтерполяція дозволяє обґрунтувати крок інтерполяції, застосовану інтерполяційну функцію, оцінити точність інтерполяції в кожній точці [21].

Другий з застосованих методів інтерполяції – метод радіальних базисних функцій (Radial basis functions). Це мультифункціональний метод точної інтерполяції, в якому застосовується підхід, аналогічний побудові варіограмної моделі в кригінгу на основі п'яти різних базисних функцій: 1) плоский сплайн; 2) сплайн з натягом; 3) повністю регульований сплайн; 4) функція мультіквადрики; 5) функція зворотні мультіквадрики [8, 7, 16].

Метод триангуляції з лінійною інтерполяцією (Triangulation with Linear Interpolation) також належить до категорії «точних», заснований на оптимальній триангуляції Б. М. Делоне [8, 21]. Лінійна інтерполяція на трикутниках,

призводить до наближення поверхні всередині кожної трійки фактичних даних до площини. Використання цього методу при невеликому числі точок виміру призводить до появи явних трикутних граней на поверхні і великих прямолінійних сегментів на карті ізоліній.

В усіх випадках при інтерполяції задана величина комірки растру дорівнює 5х5 м. Така величина виправдовується вимогами ГІС-реалізованої просторової моделі змиву-акумуляції ґрунту [14].

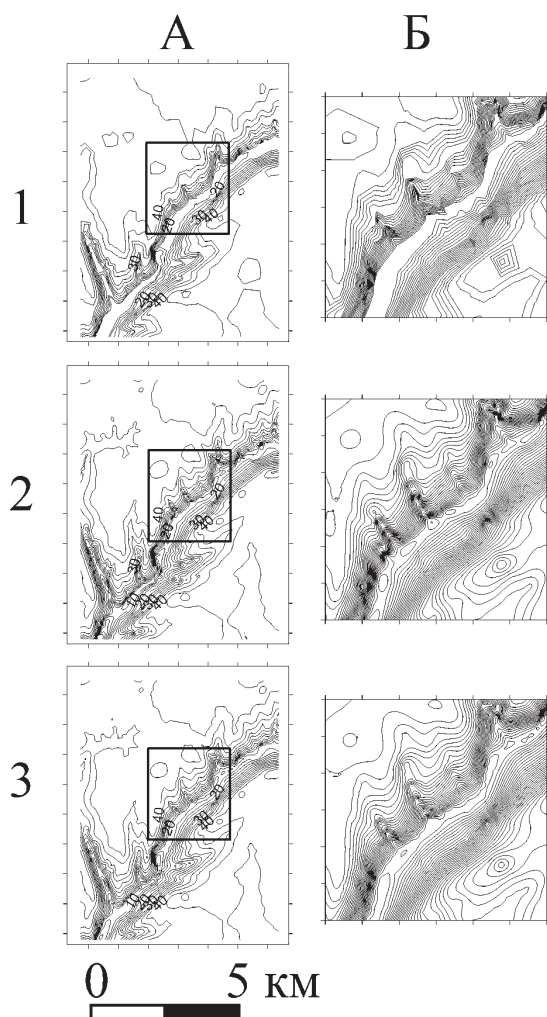


Рис. 2. ЦМР досліджуваної території (А): 1 – ЦМРt; 2 – ЦМРrb; 3 – ЦМРk; збільшений фрагмент ЦМР(вказано квадратом) (Б)

Для розрахунків потенційного змиву ґрунту по черзі використані всі вище наведені ЦМР. У результаті отримані три цифрові карти просторового розподілу потенційного змиву ґрунту.

Потенційний змив ґрунту для території дослідження розрахований з використанням просторової ГС-реалізованої моделі змиву-акумуляції ґрунту [20], розробленої на основі рівнянь найбільш теоретично та інформаційно обґрунтованої для умов Степу та Лісостепу України логіко-математичної моделі змиву ґрунту Г. І. Швєбса [22]. Модель враховує просторову мінливість факторів водної ерозії ґрунту, у тому числі довжину, ухили та поперечну кривизну схилів, характеристики ґрунтового покриву, агрофон, протиерозійні заходи, гідрометеорологічні умови формування змиву ґрунту [15, 20, 22]. Просторова модель змиву-акумуляції реалізована завдяки аналітичним можливостям пакету моделювання навколишнього середовища PCRaster [31].

Важливим досягненням при реалізації моделі є можливість урахування не лише змиву, а й акумуляції продуктів водної ерозії. Оскільки в основу моделі були покладені результати численних досліджень і моделювання особливостей зливого наноутворення і схилового стоку в умовах їх вираженої нестационарності, то основними вхідними даними є перш за все коректна ЦМР, а також просторовий розподіл гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту, цифрові карти ґрунтового покриву та агрофону поверхні із урахуванням протиерозійних заходів. На основі ЦМР створюються карти кутів нахилу поверхні, експозицій, ліній току, довжини схилів та деякі інші, необхідні при розрахунках змиву ґрунту. Слід зазначити, що у проведеному дослідженні під потенційним змивом ґрунту (ПЗ) розуміється змив ґрунту за умов відсутності будь-яких агрофону та протиерозійних заходів. Крім того, задля підкреслення ролі ЦМР у розрахунках припущено, що для всієї території характерний один тип ґрунту без урахування ступеню еродованості та відсутній просторовий розподіл гідрометеорологічного фактору.

У відповідності до застосованих у моделюванні морфометричних показників рельєфу виконується їх обчислення та оцінка за стандартною методикою, наведеною у [8, 11, 18, 23].

Оскільки ЦМР побудовані з використанням «точних» методів інтерполяції кількісна оцінка відповідності вихідної бази даних висотних відміток (Z_1), і інтерпольованих висот вузлів GRID (Z_2), виконується за допомогою обчислення середньо-квадратичної похибки (root-mean-square error, *RMSE*) [11, 16, 27, 29]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}(Z_2 - Z_1)^2} \quad (1)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Застосована модель потенційного змиву ґрунту базується на низці змінних, які характеризують морфологію та морфометрію досліджуваної ділянки, серед яких основними є довжина, кути нахилів схилів, поперечна кривизна схилів, отримані за допомогою ЦМР. Оскільки основні фактори водної ерозії при моделюванні вилучені або осереднені по площі, то вплив якості ЦМР на отримані розрахункові значення потенційного змиву аналізувався з порівнянням морфометричних характеристик моделей рельєфу.

Було встановлено, що *RMSE* для застосованих ЦМР склало: для ЦМР_t – 0,73 м, для ЦМР_{rb} – 0,66 м, для ЦМР_k – 0,65 м. Отже найменші відхилення з похідними даними відмічені для ЦМР_k. Зазначимо, що *RMSE* для ЦМР_k і ЦМР_{rb} подібні – різниця складає лише 0,01 м (1 %). ЦМР_k приймається за «еталонну» і подальші розрахунки виконуються у порівнянні з нею.

Для розуміння впливу методу побудови ЦМР на просторові відмінності розрахункового потенційного змиву потрібно також співставити побудовані ЦМР. Співставлення виконується шляхом розрахунку різниці їх висот. Отримана різниця висот ЦМР_k/ЦМР_t, ЦМР_k/ЦМР_{rb} наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Обчислені статистичні характеристики різниць висот між ЦМР, м

Статистичні показники	ЦМР _k /t	ЦМР _k /rb
Мінімум	-5,44	-3,71
Максимум	2,47	10,44
Середнє значення	0,04	-0,01
<i>RMSE</i>	0,39	0,33

Як видно з наведених результатів, відмінності за інтерпольованими висотами між ЦМР не суттєві. За *RSME* до ЦМР_k близька ЦМР_{rb} – 0,33 м. Відмінності спостерігаються лише для екстремальних значень. Негативні відхилення найбільші для ЦМР_t. Позитивні відхилення максимальні для ЦМР_{rb}. Аналіз просторового розподілу відхилень висот по території полігону показав, що для різниці висот ЦМР_k/ЦМР_{rb} негативні відхилення інтерпольованих висот притаманні тальвегам, днищам та збираючим схилам флювіальних і ерозійних форм, а позитивні – вододільним поверхням і розсіюючим схилам, які розділяють ерозійні форми на полігони (рис. 3). Для ЦМР_k/ЦМР_t негативні відхилення відмічаються для вододілів і розсіюючих схилів. Це вказує на особливості передачі морфології рельєфу застосованими методами побудови ЦМР.

Наведені статистичні характеристики відхилень висот побудованих ЦМР вказують на їх відповідність вихідним даним, але не розкривають їх геоморфологічну відповідність похідному рельєфу.

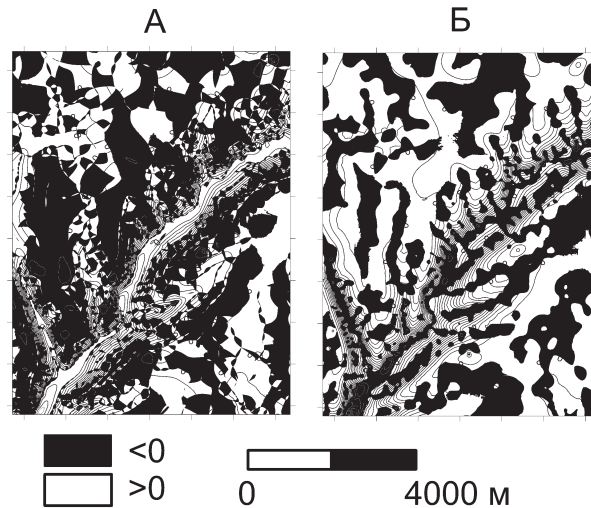


Рис. 3. Різниця висот ЦМРк/ЦМРt (А), ЦМРк/ЦМРrb (Б)

З метою оцінки геоморфологічної подоби ЦМР проведено їх морфометричний аналіз з використанням аналітичних можливостей ГІС. Розглянуто просторовий розподіл кутів нахилу і довжини схилів в межах досліджуваної ділянки. При дослідженні кутів нахилу застосована шкала, запропонована в [5]. Розрахунки показали, що для досліджуваної території співвідношення площ поверхонь з різними кутами нахилу відрізняються для кожної з побудованих ЦМР (рис. 4).

Кути нахилу змінюються від 0° до $22,7^{\circ}$. Тобто в межах досліджуваної ділянки розповсюджені поверхні від плоских до дуже крутих (табл. 2).

Таблиця 2

**Розподіл градацій кутів нахилу (i°) досліджуваної території
(у % від загальної площі)**

i°	%		
	ЦМРt	ЦМРrb	ЦМРк
<1	72,9	71,7	73,0
1–3	20,5	21,0	20,9
3–5	5,8	6,2	5,6
5–7	0,7	0,9	0,5
7–10	0,1	0,2	0,1
10–15	≈0	≈0	≈0
15–20	≈0	≈0	≈0
20–40	≈0	≈0	≈0

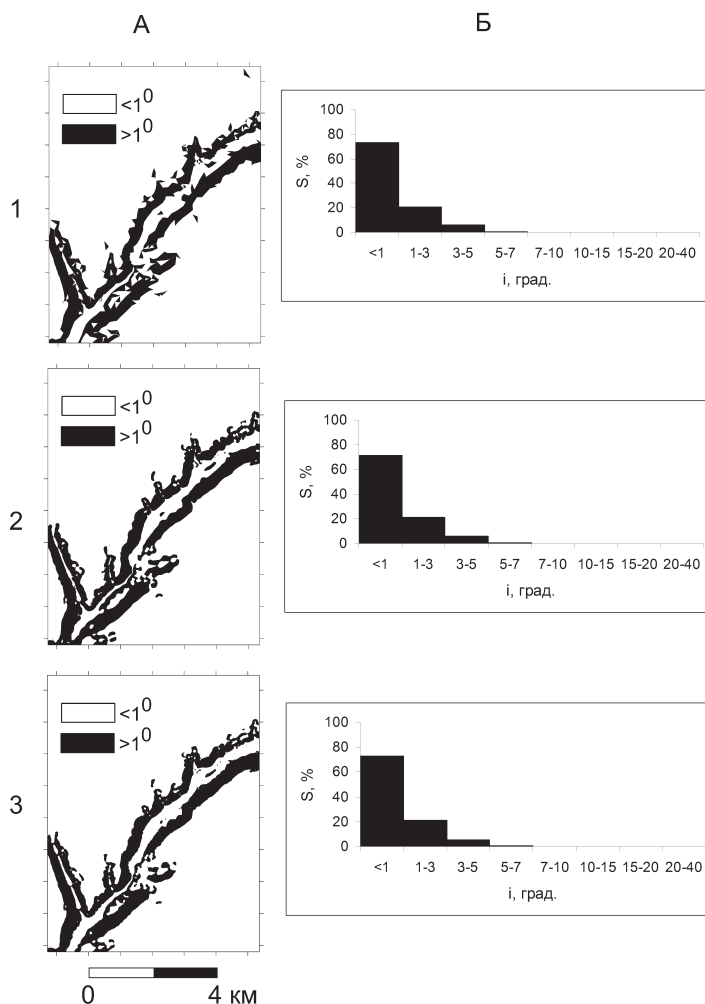


Рис. 4. Кути нахилу ЦМРt (1), ЦМРrb (2), ЦМРк (3) досліджуваної ділянки – А, гістограма розподілу площ території (S, %) за градаціями кутів нахилу (i) – Б

Як видно з рис. 4 та табл. 2 по всіх градаціях кутів нахилу земної поверхні площі співставні. Отримані для ЦМР площі схилів з кутами нахилу $>10^{\circ}$ займають дуже незначні площі ($<1\%$). Це вказує на те, що незважаючи на відмінності у розподілі площ за градаціями кутів нахилу, в межах досліджуваної ділянки їх відмінності між ЦМР не перевищують 5% , а отже вплив на результати розрахунків потенційного змиву ґрунтів мало відрізняються для кожної ЦМР.

Для досліджуваних ЦМР також було обчислено довжину схилів. Виявилось, що середня довжина схилів ЦМРt дорівнює 161 м, ЦМРrb – 211 м, а ЦМРк – 216 м. З наведених даних видно, що середня довжина схилів ЦМРt і ЦМРrb відрізняється від ЦМРк на 25% і 3% відповідно.

Для аналізу розповсюдження довжин схилів на території досліджень за градаціями прийнята класифікація, запропонована у [6] (рис. 5).

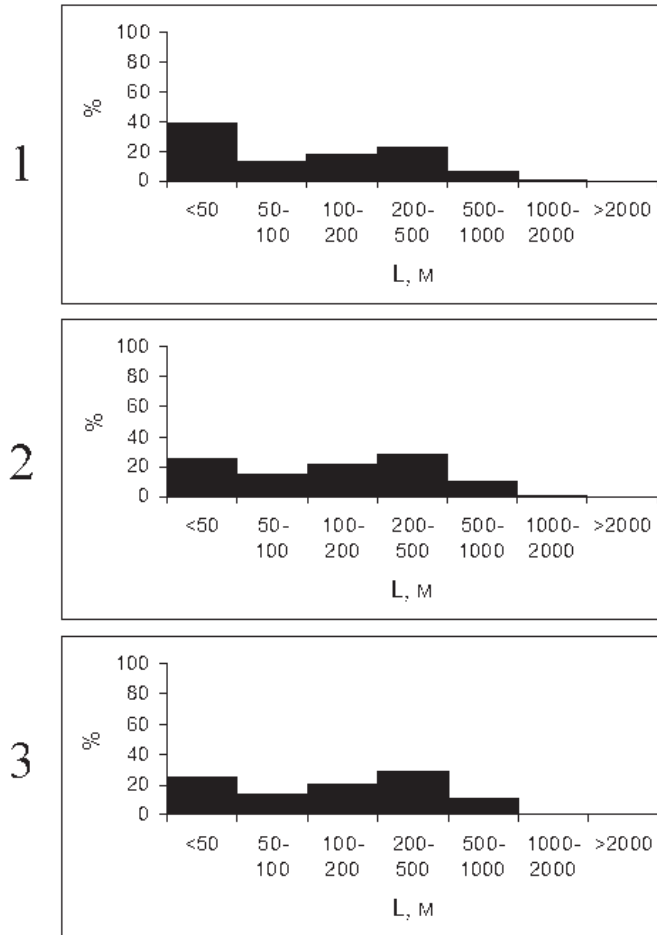


Рис. 5. Повторюваність інтервалів довжин схилів (L) по території досліджень

З'ясувалось, що в межах досліджуваної ділянки розповсюджені схили довжиною не більше 2500 м (табл. 3). Для побудованих ЦМР суттєва різниця відмічається між ЦМРк, ЦМРrb і ЦМРt. Особливо помітна ця різниця для коротких схилів з довжиною <50 м – вона досягає 50 %, що може призвести до суттєвих відмінностей в розрахунках потенційного змиву ґрунту.

Розглянуті вище морфологічні і морфометричні відмінності застосованих ЦМР призводять до диференціації по території полігону значень потенційного змиву ґрунтів. Обчислені за ЦМРк значення потенційного змиву ґрунтів характеризуються високим просторовим різноманіттям (рис. 6).

Таблиця 3

Розповсюдження (%) довжин схилів (L) різних градацій по території досліджень

Градації довжини, м	%		
	ЦМРt	ЦМРb	ЦМРк
<50	39,1	25,0	25,2
50–100	13,0	15,0	14,4
100–200	18,2	21,1	20,3
200–500	22,6	28,3	28,8
500–1000	6,6	10,0	10,7
1000–2000	0,6	0,6	0,6
>2000/ $L_{\text{макс}}$.	$\approx 0/2170$	$\approx 0/2185$	$\approx 0/2113$

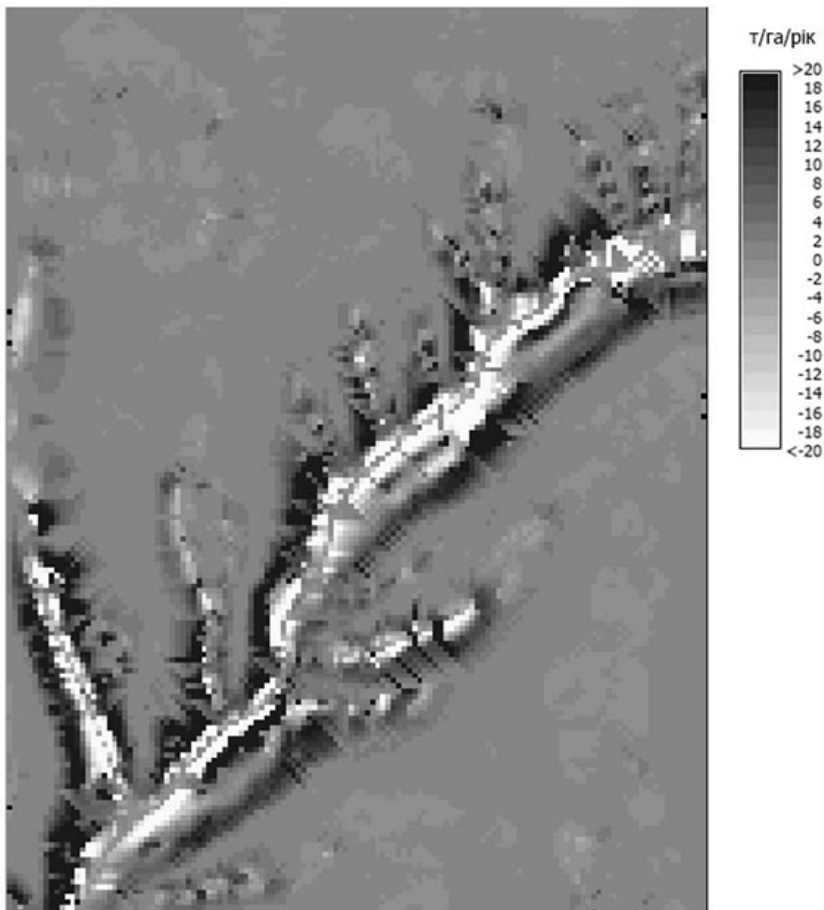


Рис. 6. Екранна копія карти потенційного змиву ґрунту т/га/рік, обчисленого з використанням ЦМРк

Як видно з карто-схеми на схилах відмічаються ділянки чергування високих та низьких значень потенційного змиву у залежності від змін кутів нахилу та форми схилів. У підніжжя схилів, та в днищах ерозійних форм спостерігаються ділянки акумуляції. Порівняння з розрахунковими значеннями потенційного змиву ґрунту отриманих для інших ЦМР показало відмінність знаку і величини. Для потенційного змиву, обчисленого для ЦМР_{rb}, притаманна наявність локальних ділянок малих значень змиву. Для ЦМР_t навпаки відмічається локальне зростання значень змиву в межах окремих ділянок тальвегів ерозійних форм і пласких поверхонь. Тобто останні дві ЦМР менш коректно враховують зв'язок і підпорядкованість елементів рельєфу і їх вплив на значення потенційного змиву.

Обчислення різниці між отриманими при моделюванні величинами ПЗ за різними ЦМР показали суттєву відмінність між ЦМР_k, ЦМР_{rb} і ЦМР_t. Відмінність значень ПЗ для різних ЦМР знаходиться в межах ± 20 т/га/рік. Більші значення відповідають великим похибкам і спостерігаються на межах ЦМР, в інших випадках їх відсоток від загальної площі полігону менший 1 %.

Засобами ГІС розраховані основні статистичні показники змиву – середні, максимальні (max) та мінімальні (min) значення, стандартні відхилення (σ) (табл. 4). Наявна різниця між екстремальними значеннями розрахованого змиву. Середні значення для ЦМР практично не відрізняються. Спостерігаються більші значення потенційного змиву для ЦМР_{rb} і акумуляції силових наносів, завищені, в порівнянні з іншими для ЦМР_t.

Таблиця 4

Статистичні показники розрахункового потенційного змиву ґрунту

ЦМР	Середнє значення, т/га/рік	max, т/га/рік	min, т/га/рік	σ , т/га/рік
ЦМР _t	1,41	118,56	-286,78	9,72
ЦМР _{rb}	1,79	163,07	-157,66	9,02
ЦМР _k	1,46	122,44	-152,13	9,57

ВИСНОВКИ

Виконане дослідження показало неоднозначний вплив обраних методів інтерполяції при побудові ЦМР на розрахунки потенційного змиву ґрунту із застосуванням просторової ГІС-реалізованої моделі змиву-акумуляції. Цей вплив проявляється через різницю морфометричних показників рельєфу на різних ЦМР. Найбільш суттєві відмінності (до 50%) спостерігаються для ЦМР, отриманої методом триангуляції з лінійною інтерполяцією.

Найбільш адекватною моделлю, яка відповідає похідним даним і передає особливості будови рельєфу території є ЦМР побудована методом кригінгу. Середньо квадратичні похибки обчислених параметрів для неї мінімальні. За-

значена ЦМР дозволяє врахувати при розрахунках потенційного змиву ґрунту також підпорядкованість форм і елементів, пластику рельєфу.

На підставі цього можна зазначити, що для моделювання змиву ґрунту та цілей планування господарської діяльності найбільш адекватною є ЦМР, побудована методом кригінг-інтерполяції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз результатів для створення ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу з застосуванням БПЛА TRIMBLE UX-5 [Текст] / А. Вовк, В. Глогов, А. Гуніна [та ін.] // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 81. – С. 90-103.
2. Байрак Г. Р. Можливості ГІС для відображення характеристик рельєфу і проявів сучасної екзодинаміки [Текст] // Проблеми безперервної географічної освіти та картографії. Збірник наукових праць. – Харків, 2014. – Вип. 19. – С. 3-6.
3. Де Мерс М. Н. Географические информационные системы [Текст] / М. Н. Де Мерс – Москва: Дата, 1999. – 490 с.
4. Дмитрук Ю. М. Вплив роздільної здатності ЦМР на точність вихідних даних при моделюванні процесів водної ерозії [Текст] / Ю. М. Дмитрук, В. Р. Черлінка // Фізична географія та геоморфологія: міжвідомчий науковий збірник. – К., 2012. – Вип. 2 (66) – С. 95-102.
5. Жучкова В. К. Методы комплексных физико-географических исследований [Текст] / В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
6. Заславский М. Н. Эрозия почв и земледелие на склонах / М. Н. Заславский – Кишинев: Карта Молдавия, 1966. – 494 с.
7. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС [Текст]: Навчальний посібник / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков – К.: ВПЦ «Київський університет», 2003. – 200 с.
8. Капралов Е. Г. Геоинформатика [Текст]: учебное пособие для вузов / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тихунов – Москва: Академия, 2005. – 480 с.
9. Количественная оценка перераспределения наносов на пахотных склонах на основе использования полевых методов и математических моделей [Текст] / А. П. Жидкин, В. Н. Голосов, А. А. Светличный [та ін.] // Геоморфология. – 2015. – №2. – С. 41-53.
10. Лазоренко-Гевель Л. Ю. Аналіз методів і моделей цифрового моделювання рельєфу в об'єктно-реляційній базі топографічних даних [Текст] / Л. Ю. Лазоренко-Гевель, Б. І. Денисюк // Управління розвитком складних систем. – 2016. – №26. – С. 178-186.
11. Нарожная А. Г. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации [Текст] / А. Г. Нарожная, Ж. А. Буряк // Научные ведомости БелГУ. – Серия Естественные науки. - 2016. - № 25 (246) – Вып. 37 – С. 169-178.
12. Осипов С. В. Шкалы уклонов земной поверхности и способы их разработки [Текст] / С. В. Осипов // Вестник ВГУ. – Серия: География. Геоэкология. – 2016. - № 3. – С. 45-50.
13. Павлова А. И. Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа [Текст] / А. И. Павлова // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 2. – С. 86-94.
14. П'яткова А. В. Проблеми кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту [Текст] / А. В. П'яткова // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – Том. 19. – Вип. 4(23). – 2014. – С. 28-37.
15. П'яткова А. В. До питання про верифікацію просторово-розподілених моделей змиву ґрунту [Текст] / А. В. П'яткова, А. В. Кордіс // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – Том. 19. – Вип. 2(21). – 2014. – С. 115-121.
16. Сайт компанії Golden Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.goldensoftware.com>.
17. Сайт компанії Pitney Bowes Software Inc [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pbinsight.com>.

18. *Самойленко В. М.* Географічні інформаційні системи та технології [Текст] / В. М. Самойленко – К.: Ніка-Центр, 2010. – 448 с.
19. *Свідзінська Д. В.* Методи геоecологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA [Текст]: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. – Київ: Логос, 2014. – 402 с.
20. *Светличний А. А.* Оценка пространственного моделирования интенсивности эрозии-аккумуляции на склонах на основе физико-статистической модели [Текст] / А. А. Светличний, А. В. Пяткова // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – Том 22. – Вип. 2 (31) – 2017 – С. 48–60.
21. *Світличний О. О.* Основи геоінформатики [Текст]: навчальний посібник / О. О. Світличний, С. В. Плотницький – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.
22. *Світличний О. О.* Основи ерозієзнавства [Текст]: навчальний посібник / О. О. Світличний, С. Г. Чорний – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 266 с.
23. *Хромых В. В.* Цифровые модели рельефа [Текст]: учебное пособие. / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. – 178 с.
24. *Часковський О.* Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання [Текст] / О. Часковський, С. Гаврилюк, В. Костишин // Геодезія, архітектура та будівництво. Матеріали II Міжнародної конференції молодих вчених. Львів 14-16 травня, 2009. – С. 150–151.
25. *Черлінка В. Р.* Особливості побудови растрової гідрологічно-коректної цифрової моделі мікро- та мезорельєфу засобами ГІС GRASS [Текст] / В. Р. Черлінка // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2013. – Т. 1. – Вип. 4. – С. 174–182.
26. *Cimmery V.* User Guide for SAGA: Vol. 1 – 393 p., Vol. 2 – 336 p., 2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sourceforge.net/projects/sagagis/files/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%20%20User%20Guide/>.
27. *Evans Derek A.* Comparison of Terrain Indices and Landform Classification Procedures in Low-Relief Agricultural Fields [Текст] / Derek A. Evans, Karl W. J. Williard, Jon E. Schoonover // Journal of Geospatial Applications in Natural Resources – 2016. – Vol. 1 – Iss. 1. – Режим доступу: https://scholarworks.sfasu.edu/j_of_geospatial_applications_in_natural_resources/vol1/iss1/1.
28. Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) test methodology [Електронний ресурс]. – FGDC, 1996. – Available at: <https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3/>.
29. *Florinsky I. V.* Determination of grid size for digital terrain modeling in landscape investigations – exemplified by soil moisture distribution at a micro-scale [Текст] / I. V. Florinsky, G. A. Kuryakova // International Journal of Geographical Information Science. – 2000. – №14. – P. 815–832.
30. *Kiss R.* Determination of Drainage Network in Digital Elevation Models, Utilities and Limitations [Текст] / R. Kiss // Journal of Hungarian Geomathematics. – 2004. – Vol. 2. – P. 16–29.
31. PCRaster: Software for Environmental Modeling, 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pcraster.geo.uu.nl/downloads/latest-release/>.

REFERENCES

1. *Vovk, A., Glotov, V., Gunina, A., Malitskyi, A., Tretyak, K., Tsyrvlevych, A.* (2015), “Analiz rezultativ dlia stvorennia ortofotoplaniv ta tsyfrovyykh modelei reliefu z zastosuvanniam BPLA TRIMBLE UX-5” [Analysis of results for the creation of orthophotos and digital terrain models using the TRIMBLE UX-5 UAV], *Surveying, cartography and aerial photography*, Vol. 81, pp. 90–103.
2. *Bairak, H. R.* (2014), “Mozhlyvosti TMR dlia vidobrazhennia kharakterystyk reliefu i proiaviv suchasnoi ekzodynamiky” [GIS capabilities to reflect the characteristics of the terrain and the manifestations of modern exodynamics], *Problems of continuous geographical education and cartography. Collection of scientific works*, No 19, pp. 3–6.

3. De Mers, M. N. (1999), *Geograficheskie informatsionnyye sistemy* [Geographical information system], Moscow, Data, 450 p.
4. Dmytruk, Yu. M., Cherlinka, V. R. (2012), “Vplyv rozdilnoi zdatnosti TsMR na tochnist vykhidnykh danykh pry modeliuvanni protsesiv vodnoi erozii” [Influence of the DEM resolution on the accuracy of the initial data in the modeling of water erosion processes], *Physical geography and geomorphology* [Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia], Vol. 2(66), pp. 95–102.
5. Zhuchkova, V. K., Rakovskaya, E. M. (2004), *Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy* [Methods of comprehensive physical and geographical research], Moscow, Publishing house “Academy”, 368 p.
6. Zaslavskiy M. N. (1966), *Eroziya pochv i zemledelie na sklonah* [Soil erosion and slope farming], Chisinau, Kartya Moldavenyaskie, 494 p.
7. Ishchuk, O. O., Korzhnev, M. M., Koshliakov, O. Ye. (2003), *Prostorovyi analiz i modeliuvannia v GIS: Navchalnyi posibnyk* [Spatial Analysis and Modeling in GIS: A Tutorial], Kyiv, PPC “Kyiv University”, 200 p.
8. Kapralov, E. H., Koshkarev, A. V., Tykunov, V. S. (2005), *Geoinformatyka: uchebnoe posobie dlia vuzov* [Geoinformatics: a textbook for universities], Moscow, Publishing house “Academy”, 480 p.
9. Zhydkyn, A. P., Golosov, V. N., Svetlychnyi, A. A., Pyatkova, A. V. (2015), “Kolichestvennaya otsenka pereraspredeleniya nanosov na pakhotnykh sklonakh na osnove ispolzovaniya polevykh metodov i matematicheskikh modeley” [Quantitative assessment of sediment redistribution on arable slopes based on the use of field methods and mathematical models], *Geomorphology*, No 2, pp. 41–53.
10. Lazorenko-Hevel, L. Yu., Denysiuk, B. I. (2016), “Analiz metodiv i modelei tsyfrovoho modeliuvannia reliefu v obiektno-reliatsiynii bazakh topografichnykh danykh” [Analysis of methods and models of digital terrain modeling in object-relational databases of topographic data], *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Management of complex systems development], No 26, pp. 178-186.
11. Narozhnaia, A. H., Buriak, Zh. A. (2016), “Morfometrycheskiy analiz tsifrovyykh modeley reliefa Belhorodskoy oblasti raznoy stepeni generalizatsii” [Morphometric analysis of digital elevation models of the Belgorod region of varying degrees of generalization], *Nauchnye vedomosti BELGU* [Scientific reports BELSU], Series Natural Sciences, No 25 (246), Iss. 37, pp. 169–178.
12. Osipov, S. V. (2016), “Shkaly uklonov zemnoy poverkhnosti i sposoby ikh razrabotki” [Earth slope scales and methods for their development], *Vestnyk VGU* [Bulletin of the Voronezh State University], Series: Geography. Geoecology, No 3, pp. 45–50.
13. Pavlova, A. Y. (2017), “Analiz metodov interpolirovaniya vysot toчек dlia sozdaniya tsifrovyykh modeley reliefa” [Analysis of point height interpolation methods for creating digital elevation models], *Autometry*, Vol. 53, No 2, pp. 86–94.
14. Piatkova, A. V. (2014), “Problemy kilkisnoi otsinky eroziynykh vtrat gruntu” [Problems of the assessment of the erosion soil loses], *Visnyk Odeskogo Natsionalnogo Universytetu* [Odessa National University Herald], Series Geography and Geology, Vol. 19, Iss. 4 (23), pp. 28–37.
15. Piatkova, A. V., Kordis, A. V. (2014), “Do pytannia pro veryfikatsiiu prostoro-rozpodilennykh modeley zmyvu gruntu” [On the verification of spatial-distributed soil flushing models], *Visnyk Odeskogo Natsionalnogo Universytetu* [Odessa National University Herald], Series Geography and Geology, Vol. 19, Iss. 2 (21), pp. 115–121.
16. Golden Software Company Site. – Available at: <https://www.goldensoftware.com>.
17. Pitney Bowes Software Inc. Site – Available at: <http://www.pbinsight.com>.
18. Samoilenko, V. M. (2010), *Heohrafichni informatsiini systemy ta tekhnolohii* [Geographic information systems and technologies], Kyiv, Nika-Centre, 448 p.
19. Svidzinska, D. V. (2014), *Metody heoekolohichnykh doslidzhen: heoinformatsiyni praktykum na osnovi vidkrytoi GIS SAGA* [Methods of geo-ecological research: geoinformation workshop based on open GIS SAGA], Kyiv, Logos, 402 p.

20. Svetlichnyi, A. A., Pyatkova, A. V. (2017), "Otsenka prostranstvennogo modelirovaniya intensivnosti erozii-akkumulyatsii na sklonakh na osnove fiziko-statisticheskoy modeli" [Estimation of spatial modeling of erosion-accumulation intensity on slopes on the basis of physical-statistical model], *Visnyk Odeskogo Natsionalnogo Universytetu* [Odessa National University Herald], Series Geography and Geology, Vol. 22, Iss. 2 (31), pp. 48–60
21. Svitlychnyi, O. O., Plotnytskyi, S. V. (2006), *Osnovy heoinformatyky: navchalnyi posibnyk* [Geoinformatics basics: a textbook], Sumy, University Book, 295 p.
22. Svitlychnyi, O. O., Chornyi, S. H. (2007), *Osnovy eroziieznavstva* [Fundamentals of erosion science], Sumy, University Book, 266 p.
23. Khromykh, V. V., Khromykh, O. V. (2007), *Tsyfrovyye modeli reliefa: uchebnoe posobyie* [Digital elevation models: a textbook], Tomsk, TML-Press, 178 p.
24. Chaskovskiy, O., Havryliuk, S., Kostyshyn, V. (2009), "Stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu na osnovi danykh aerofotoznimannia" [Creating digital elevation models based on aerial photography data], *Geodesy, architecture and construction*, Proceedings of the II International Conference of Young Scientists, Lviv, May 14–16, pp. 150–151.
25. Cherlinka, V. R. (2013), "Osoblyvosti pobudovy rastrovoi hidrolohichno-korektnoi tsyfrovoy modeli mikro- ta mezoreliefu zasobamy HIS GRASS" [Features of construction of raster hydrologically correct digital model of micro- and mesorelief by means of GIS GRASS], *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia* [Bulletin of Agrarian Science of Prychornomia], Vol. 1, Iss. 4, pp. 174–182.
26. Cimmery, V. (2010), User Guide for SAGA: Vol. 1, 393 p., Vol. 2, 336 p. Available at: <http://sourceforge.net/projects/sagagis/files/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%202%20User%20Guide/>.
27. Evans, Derek A., Williard, Karl W. J., Schoonover, Jon E. (2016), "Comparison of Terrain Indices and Landform Classification Procedures in Low-Relief Agricultural Fields," *Journal of Geospatial Applications in Natural Resources*, Vol. 1: Iss. 1, Article 1. Available at: https://scholarworks.sfasu.edu/j_of_geospatial_applications_in_natural_resources/vol1/iss1/1.
28. Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) test methodology. FGDC, 1996. Available at: <https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3/>.
29. Florinsky, I. V., Kuryakova, G. A. (2000), Determination of grid size for digital terrain modeling in landscape investigations – exemplified by soil moisture distribution at a micro-scale, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 14, pp. 815–832.
30. Kiss, R. (2004), Determination of Drainage Network in Digital Elevation Models, Utilities and Limitations, *Journal of Hungarian Geomathematics*, Vol. 2, 16–29.
31. PCRaster: Software for Environmental Modeling, 2018. Retrieved from: <http://pcraster.geo.uu.nl/downloads/latest-release/>.

Надійшла 31.10.2019

А. В. Пяткова, канд. геогр. наук, доцент

А. Б. Муркалов, канд. геогр. наук, доцент

Ю. В. Логвина, магистр

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра физической географии и природопользования,
пер. Шампанский, 2, Одесса, 65058, Украина

physgeo_onu@ukr.net, avpyatkova2011@gmail.com, logvina.julia19@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СМЫВА ПОЧВ

Резюме

Изложены результаты исследования влияния методов построения ЦМР на расчеты потенциального смыва почвы на территории балочного водосбора. Моделирование выполнено с использованием пространственной ГИС-Реализованной модели смыва-аккумуляции, разработанной на кафедре физической географии и природопользования Одесского национального университета имени И. И. Мечникова. Используются ЦМР построенные с помощью наиболее распространенных методов интерполирования: линейная интерполяция, кригинг, радиальные базисные функции.

Ключевые слова: ГИС, моделирование, морфометрия, цифровая модель рельефа, эрозия почв.

A. V. Piatkova

O. B. Murkalov

Yu. V. Logvyna

Odessa National I. I. Mecnikov University,
Department of Physical Geography and Nature Management,
Champagne Lane, 2, Odessa, 65058, Ukraine

physgeo_onu@ukr.net, avpyatkova2011@gmail.com, logvina.julia19@gmail.com

INFLUENCE OF THE METHOD FOR CREATING A DIGITAL ELEVATION MODEL ON THE RESULTS OF SOIL LOSSES CALCULATION

Abstract.

Problem Statement and Purpose. The problems of digital elevation model (DEM) creation are very actual and being investigated comprehensively. DEM is widely used for solving different problems which are connected with the modelling of nature processes. Relief is the important object of investigations. DEM has got a special role in modelling and assessment of soil water erosion. In interpretation and estimation of modelling results the question of accordance of DEM and processes which are

researched is appeared. This question is solved by field researching, comparative geographic method and GIS-technologies.

The purpose of the research is the assessment of the influence of the DEM which are created by different interpolation methods with the same topographic data on the calculations of potential soil loses. Soil loses are estimated by the GIS-realized mathematical model of rainstorm erosion losses of soil which are developed in physical geography and nature management department of Odessa National I. I. Mechnikov university.

Data & Methods. The research territory is situated in Prychernomorska lowland (Kherson region Bilozerskyi district). It is a little valley with 40-50 m height amplitude. The hills have got different profile forms and steepness. The climate is temperate continental. Soil cover is presented by calcic chernozems.

Height dataset is created by MapInfo Professional 6.0 instruments. For this purpose, the topographic map 1:25000 was digitized. The digitizing square is about 70 sq.km. Ordinal kriging, triangulation with linear interpolation and radial basis functions like interpolation methods were used for DEM creation. The interpolation procedure was performed in Golden Software Surfer environment. Because of the implementation of mathematical model of rainstorm erosion losses was made in PCRaster the DEMs were converted in this GIS-package and the assessment of soil loses was performed. Morphometric analysis was made by using standard functions of SAGA GIS-package. Slope steepness and length, root-mean-square error (*RMSE*) and the compliance with the DEM and topographic basis were assessed for analysis.

Results. It is determined that all chosen interpolation methods have controversial influence on calculation of potential erosion loses by using GIS-realized mathematical model of rainstorm erosion losses. The main statistics characteristics which are calculated differ from each other in different limits especially it concerns the extreme values. The influence of interpolation methods is manifested in mathematical differences of morphometric relief values on different DEM. The maximum differences between topographic data and interpolated model are observed on DEM which is created by triangulation with linear interpolation. That differences are noted in results of soil loses calculations too.

Positive deflections of interpolated heights are characteristic of thalwegs, bottoms and collecting slopes of fluvial and erosion forms, and negative ones - watershed surfaces and scattering slopes.

Difference between DEM in slope steepness was not noted, but in length it amounts to 35 % for DEM which created by triangulation with linear interpolation. *RMSE* is too different for all DEMs.

It is recommended to use DEM which take into account the deviations of relief morphometric values no more than 5 %. It is better to use such DEM in modeling of soil erosion loses and planning of any agricultural or business activity. So the best interpolation methods are kriging and radial basis functions.

The reflection accuracy of relief plastic plays the main role in case of choose of DEM as the base of modeling. Especially it concerns such characteristics as transverse and longitudinal slopes profiles and their various genetic combinations in space.

Keywords: GIS, modelling, morphometry, digital elevation model, soil erosion.