

ОХОРОНА І ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.4:551.3

КАЛІБРУВАННЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ

М.В. Куценко, Д.О. Тімченко, О.В. Круглов, П.Г. Назарок, П.В. Воскобойніков

ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського"

(kucenko_nikolay@mail.ru)

Обґрунтовано метод визначення та картографування ерозійної небезпеки земель, в якому ерозійні властивості ґрунтів земельних ділянок враховують за допомогою узагальнених коефіцієнтів, що визначають шляхом польових досліджень прояву ерозійних процесів та математичного моделювання, а картографування здійснюють за допомогою автоматизованого врахування цих коефіцієнтів і параметрів рельєфу.

Ключові слова: *ерозійна небезпека, калібрування моделі, протиерозійні заходи.*

Постановка проблеми. Охороні земель від ерозії в Україні приділяється значна увага як у законодавчих актах та постановах уряду так і в науковій літературі. Але на практиці проблема не вирішується за різних причин. Однією з таких причин є відсутність достатньо простої і, водночас, адекватної технології інформаційного забезпечення охорони земель. Першим кроком, який необхідно зробити для функціонування системи охорони земель, є суцільне обстеження земельних ділянок з кількісним оцінюванням та картографуванням їхньої ерозійної небезпеки. Картограми ерозійної небезпеки слугуватимуть своєрідним паспортом існуючого ризику прискореної ерозії і початком відліку відповідальності землевласників за охорону земель.

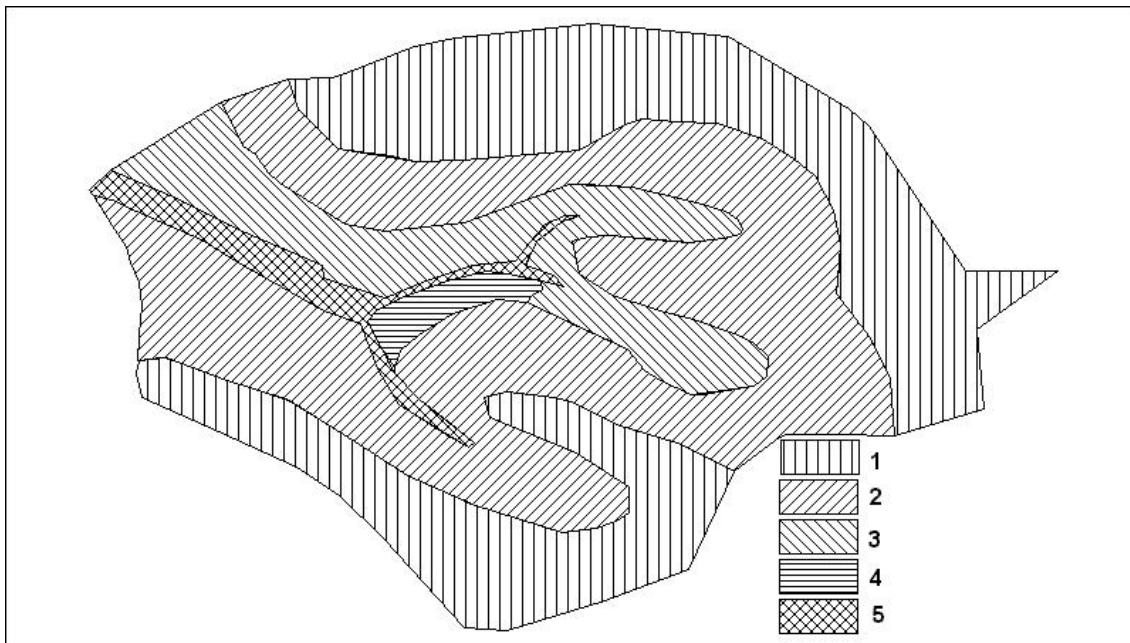
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Калібрування та перевірка моделей ерозії завжди була проблематичною через складну природу ерозійно-аккумулятивних процесів. Для перевірки балансових моделей змиву використовують метод вимірювання об'ємів ерозійних рівчаків. Таку перевірку здійснювали О. О. Світличний [1], Е. Альбертс, Ф. Гідей [2]. З цією метою, а також для калібрування моделей ерозії використовують стокові майданчики [3]. С.В. Костріков адаптував модель ерозії WEPP у геоінформаційне середовище водозбірних басейнів [4]. Використання цієї моделі дуже ускладнюється великою кількістю параметрів і необхідністю її калібрування у США за допомогою інструментально-програмного комплексу GLIGEN [5]. Г. В. Бастраков запропонував спосіб картографування ерозійної стійкості земель, що передбачає вимірювання за допомогою топографічних карт ухилів та довжин ліній активного стоку, розрахунки та картографування кількісних значень показника ерозійної стійкості земель [6]. Недоліками цього способу є те, що ерозійну стійкість неможливо визначити для земель, наближених до вододілу, а опір ґрунту розмиву визначають заздалегідь за допомогою приладу, яким враховують штучні струмені води, що відрізняються від природних. Запропонований нами спосіб експрес-оцінки ерозійної небезпеки земель передбачає інтегроване калібрування моделі, але не враховує інтенсивності конкретних злив, які спричиняють утворення рівчаків [7]. У статті описано

результати, які є продовженням започаткованого нами у 2011 році моніторингу ерозійної небезпеки земель [8].

У зв'язку з цим, метою дослідження є розробка методу кількісного визначення та картографування ерозійної небезпеки схилів земель на основі одночасного врахування їхньої природної стійкості до водної ерозії, інтенсивності злив, площ водозборів та ухилів рельєфу.

Об'єкт, методи та результати дослідження. Для досягнення поставленої мети було проведено обстеження проявів ерозійних процесів на території ТОВ "Відродження" Харківського району після злив 4 липня 2011 року - на полі під кукурудзою на зерно та 6 червня 2013 року - на полі під соняшником.

Ґрунти території дослідження представлено чорноземами типовими на лесових породах: середньогумусним легкоглинистим; середньогумусним слабо змитим важкосуглинковим; глибоким середньозмитим важкосуглинковим. (рис. 1). Довжина схилів 560 – 750 м, а ухили подекуди сягають 5 – 6°. Інтенсивність зливи, що спостерігали 4 липня 2011 року, виявилась біля 1 мм/хв. = $2 \cdot 10^{-5}$ м/с, що призвело до значних проявів прискореної ерозії у вигляді ерозійних рівчаків (рис. 2). 6 червня 2013 року злива була незначною (з інтенсивністю близько 0,5 мм/хв. = 10^{-5} м/с) і в результаті спостерігали лише елементарні прояви ерозійних процесів у вигляді фрагментарно виражених мікроскопічних водоріїв. Інтенсивність опадів визначено за допомогою електронного ресурсу <http://www.foreca.com/Ukraine/Kharkiv>. У ході польових досліджень за допомогою GPS визначено координати вершин елементарних водоріїв, найближчих до вододілів. Зазначені масиви точок було прив'язано у MapInfo.



1 – чорнозем типовий середньогумусний легкоглинистий на лесових породах; 2 – чорнозем типовий середньогумусний важкосуглинковий слабо змитий на лесових породах; 3 – чорнозем типовий важкосуглинковий середньозмитий на лесових породах; 4 – чорнозем типовий вилугуваний важкосуглинковий намитий на лесових породах; 5 – чорнозем типовий важкосуглинковий сильно змитий на лесових породах

Рис. 1. Ґрунти досліджуваної території

Калібрування моделі оцінки ерозійної небезпеки земель здійснювали на основі таких міркувань. Індекс ерозійної небезпеки – це відношення прогнозної швидкості водного потоку до його розмивної швидкості. Розмивною називають таку мінімальну швидкість водного потоку, яка веде до безперервного відриву частинок ґрунту, тобто до прискореної ерозії. Вершини ерозійних рівчаків, що виникли в результаті конкретної зливи можна вважати першим наближенням просторового положення точок, де індекс ерозійної небезпеки дорівнює 1,0.



Рис. 2. Прояви прискореної ерозії після зливи 5 липня 2011 на полі кукурудзи ТОВ "Відродження" (Висота рослин до 40 см)

Якщо визначити координати вершин рівчаків та інтенсивність зливи, що призвела до їх виникнення, то можна провести калібрування моделі таким чином. Формулу індексу ерозійної небезпеки земель можна записати у вигляді [9]:

$$I_e = \frac{v}{v_p} \cdot K_s v_p^{-1} n^{-0,6} (kFI)^{0,4} B^{-0,4} J^{0,3}, \quad (1)$$

де I_e – індекс ерозійної небезпеки земель;
 v – середня швидкість водного потоку, м/с;
 v_p – розмивна швидкості водного потоку для ріллі, м/с;
 n – коефіцієнт шорсткості;

k – коефіцієнт стоку; F – площа водозбору, m^2 ;

I – інтенсивність зливи, m/c ;

B – ширина водозбору (була прийнята постійною і дорівнювала 1 м);

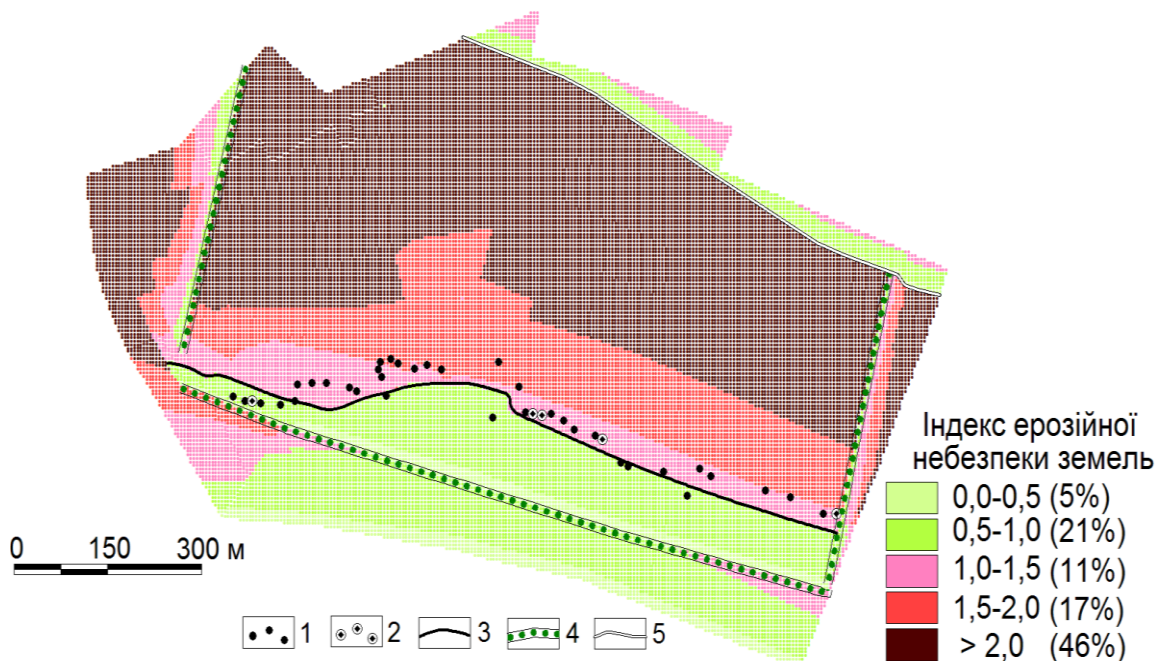
J – ухил схилу;

K_{sp} – коефіцієнт, що враховує відхилення реальних параметрів від параметрів першого наближення.

Для чорнозему типового, що досліджували за довідниковими даними, у першому наближенні враховували такі параметри: $v_p = 0,18$ м/с; $k = 0,3$; $n = 0,07$ [8].

За допомогою електронної топографічної карти для досліджуваної території складено векторну структурну цифрову модель рельєфу (ВСЦМР) [10]. Коефіцієнт K_s визначено шляхом послідовних наближень. Для цього за допомогою комп'ютерного модуля EXERM проведено оцінювання ерозійної небезпеки дослідної ділянки з урахуванням зазначених вище параметрів. Результати оцінювання порівнювали з положенням вершин ерозійних рівчаків. Якщо точки цих вершин за висотою опинялись вище точок із значеннями $I_e = 1,0$, то значення K_s у шарі ліній стоку збільшували на $0,2 K_s$, якщо нижче – то зменшували на $0,2 K_s$. Розрахунки I_e та порівняння здійснювали повторно. Якщо на 1-му кроці точки вершин рівчаків були вище значень індексу $1,0$, а на 2-му виявились нижчими, то значення K_s вже зменшували на $0,1 K_s$. Таким чином K_s продовжували підбирати до тих пір поки межа значень I_e $1,0$ починала проходити посередині між точками вершин рівчаків, найближчих до вододілу.

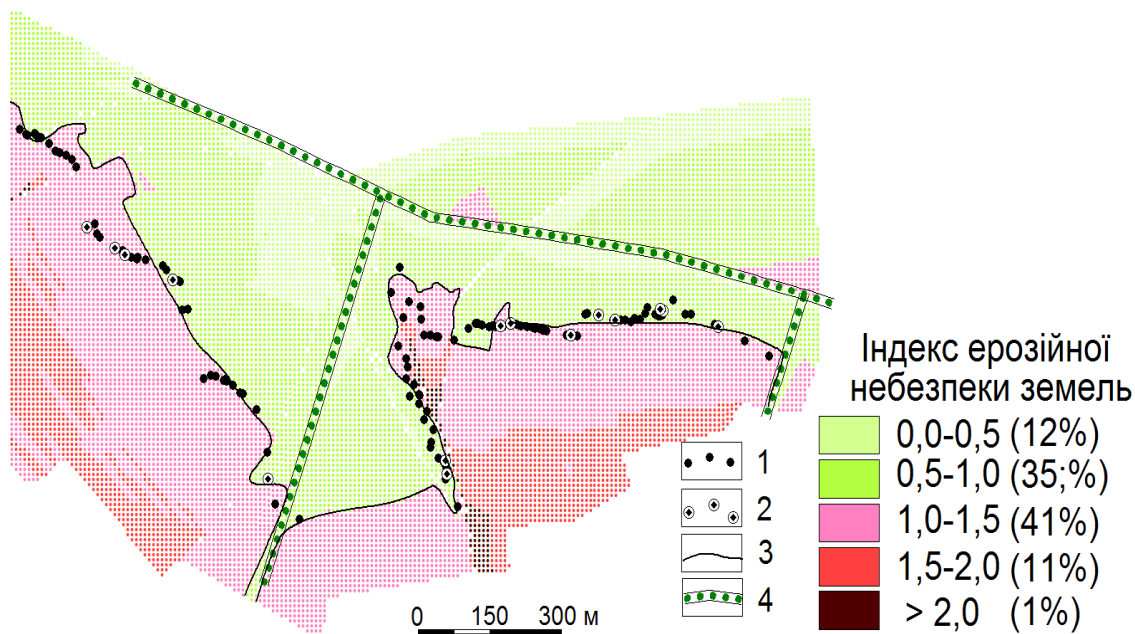
Калібрування моделі проведено для точок з найменшими проявами змиву ґрунту, що спостерігали візуально (рис. 3; 4). В результаті вдалось достатньо точно наблизити індекс ерозійної небезпеки до найближчих до вододілу точок найменших проявів ерозії. Після цього значення K_s вважали визначеним (рис. 5).



1; 2 – точки розташування вершин елементарних ерозійних водоріїв, які використовували для калібрування (1) та визначання точності моделі оцінки ерозійної небезпеки земель (2); 3 – ізолінія індексу ерозійної небезпеки $1,0$; 4 – лінії полезахисних лісосмуг, врахованих у процесі калібрування моделі; 5 – асфальтована дорога

Рис. 3. Результат калібрування моделі оцінки ерозійної небезпеки схилувих земель під кукурудзяним полем (липень 2011 рік)

Більш істотні відхилення вершин елементарних ерозійних водоріїв від індексу ерозійної небезпеки 1,0 на рисунку 4, порівняно з рисунком 3 можна пояснити більш складним природним рельєфом і, особливо, штучним нанорельєфом, що утворюється в результаті обробки ґрунту і значно ускладнює диференціацію водного стоку.



1; 2 – точки розташування вершин елементарних ерозійних водоріїв, які використовували для калібрування (1) та визначання точності моделі оцінки ерозійної небезпеки земель (2); 3 – ізолінія індексу ерозійної небезпеки 1,0; 4 – лінії полезахисних лісосмуг, враховані у процесі калібрування моделі

Рис. 4. Результат калібрування моделі оцінки ерозійної небезпеки схилівих земель на полі під соняшником (червень 2013 рік)

Сенс оцінювання ерозійної небезпеки земель полягає в тому, щоб підібрати найбільш економні заходи захисту ґрунтів від ерозії, які, однак, були б адекватними реальній ерозійній небезпеці. З цією метою необхідно, використовуючи знайдені коефіцієнти, провести оцінювання ерозійної небезпеки земель для злив 10 % забезпеченості за шкалою, що наведено у таблиці 1.

1. Шкала оцінки ерозійної небезпеки земель

Діапазон I_e	Оцінка ерозійної небезпеки
0,0 – 0,5	Ерозійно-безпечні землі
0,5 – 1,0	Умовно ерозійно-безпечні землі
1,0 – 1,5	Допустимо ерозійно-небезпечні землі
1,5 – 2,0	Ерозійно-небезпечні землі
> 2,0	Надмірно ерозійно-небезпечні землі

Якщо значення індексу ерозійної небезпеки (I_e) не перевищують 1,5, то немає потреби в додаткових протиерозійних заходах, бо ґрунтозахисні властивості сільськогосподарських культур в цілому захищають землю від прискореної ерозії. На ерозійно-небезпечних та над-

мірно ерозійно-небезпечних землях необхідно вживати ґрунтозахисні заходи, що є адекватними ерозійній небезпеці. З використанням шкали та карти оцінки ерозійної небезпеки земель межі робочих ділянок та протиерозійні рубежі рекомендовано проводити по межах переходу значень I_e через 1,5.

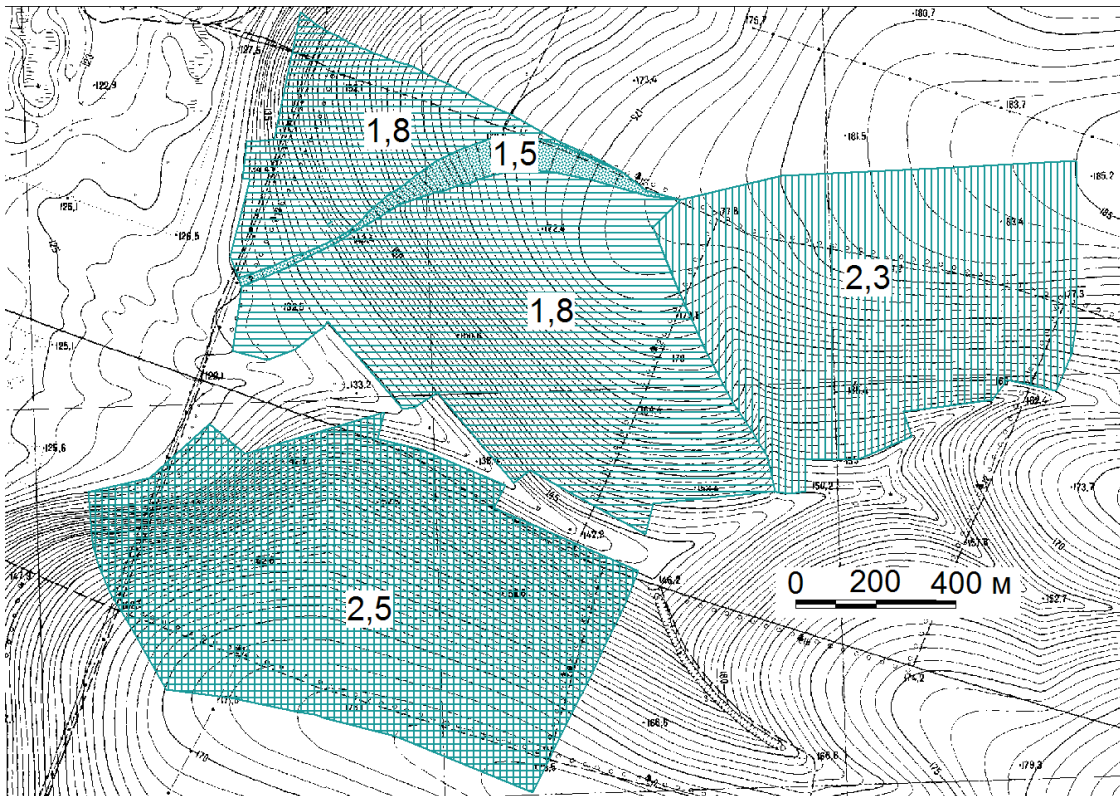


Рис. 5. Коефіцієнти калібрування моделі (K_{sp}) для полів соняшника (1,5; 1,8; 2,3) та кукурудзи (2,5)

Для перевірки методу випадковим чином відібрано 10% точок, які не використовували у калібруванні. Після калібрування просторове положення перевірних точок порівнювали із визначеним у результаті калібрування значенням індексу ерозійної небезпеки 1,0. Визначено відстані цих точок від даної ізолінії (табл. 2).

Точки з найменшими проявами змиву ґрунту відповідають нерозмивній швидкості водних потоків. Для цих точок значення K_{sh} дорівнювало 2,5 (див. рис. 4). Нижче цих точок ерозію візуально не спостерігали у вигляді безперервних рівчаків - аж до вершин таких рівчаків на відстані 80 – 100 метрів за нахилом. В результаті калібрування для цих вершин було визначено, що значення $K_{sp} = 1,7$.

Формула, що зв'язує розмивну та нерозмивну швидкості має вигляд [11]:

$$v_p = 1,4v_n \quad (2)$$

де v_p – розмивна, а v_n – нерозмивна швидкості водного потоку.

Представимо формулу (1) у вигляді:

—

де A – коефіцієнт, що об'єднує параметри правої частини формули (1).

Для індексу ерозійної небезпеки, який визначали з урахуванням нерозмивної швидкості формула має вигляд:

—

2. Результат перевірки точності оцінки ерозійної небезпеки земель

Рік	Сільськогосподарська культура	№ точки	Похибка	
			метрів	% від середньої довжини схилу
2011	Кукурудза на зерно у стадії 6-7 листків за середньої висоти рослин 40 см	1	19,0	3
		2	10,6	2
		3	12,9	2
		4	16,7	3
		5	26,6	4
2013	Соняшник у стадії 20 листків за середньої висоти рослин 60 см	1	75,2	11
		2	49,8	7
		3	43,1	6
		4	10,8	2
		5	15,4	2
		6	8,3	1
		7	11,2	2
		8	11,8	2
		9	4,3	1
		10	14,4	2
		11	12,8	2
		12	5,3	1
		13	24,0	3
		14	22,4	3
		15	4,3	1
Середня похибка			19,9	3

Звідси:

— — —

Фактичні співвідношення коефіцієнтів склали:

— — (3)

Таким чином співвідношення між розмивною та нерозмивною швидкостями водного потоку підтвердилось. Це, певною мірою, доводить адекватність моделі оцінки ерозійної небезпеки земель.

Висновки

1. Запропонований метод калібрування моделі оцінки ерозійної небезпеки земель є порівняно простим і прийнятним для широкого використання у моніторингу ризику ерозійної небезпеки.

2. Перевірка моделі оцінки ерозійної небезпеки земель з використанням географічної прив'язки результатів ерозійних подій від конкретної зливи підтвердила її адекватність.

3. Як підтвердило співвідношення (3), ізолінія індексу ерозійної небезпеки 1,5 є межею, нижче якої розміщуються ерозійно-небезпечні землі.

4. Запропонований метод доцільно використовувати для кількісного оцінювання, картографування та моніторингу ерозійної небезпеки земель, визначення потреб у протиерозійних заходах, оптимального розташування таких заходів на конкретних сільськогосподарських полях та контролю охорони земель від водної ерозії.

Список використаної літератури

1. Светличный А.А. Рельефные условия склонового водно-эрозионного процесса и вопросы их моделирования [Текст] / А. А. Светличный // Геогр. и природные ресурсы. - 1991. - № 4. - С. 123 – 131.
2. Альбертс Е., Гидей Ф. Сопоставление фактического смысла сильными ливнями со значениями, рассчитанными по модели WEPP [Текст] / Е. Альбертс, Ф. Гидей // Почвоведение. - 1997. - № 5. - С. 642 - 646.
3. Светличный А.А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты [Текст] / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г.И. Швевс. – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
4. Черваньов І. Г. Флювіальні геоморфосистеми: дослідження й розробки Харківської геоморфологічної школи [Текст] / І.Г. Черваньов, С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов – Харків: ХНУ, 2006. – 322 с.
5. Farre G. Calibration of Rainfall Simulator, Research Center for Sustainability in Ecological Engineering and Water Resources Technology, University of Western Sydney [Текст] / G. Farre. - Sydney, 2001. – 37 p.
6. Бастратов Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противоэрозионная защита земель [Текст] / Г. В. Бастратов. – Брянск: Изд-во БГПИ, 1993. – 260 с.
7. Куценко М.В. Комп'ютерна технологія експрес-оцінки ерозійної небезпеки земель та оптимізації протиерозійних заходів [Текст] / М. В. Куценко // Землеустрій і кадастр. – 2010. - № 1. – С. 30 – 38.
8. Куценко М.В. Калібрування та перевірка моделі оцінки ерозійної небезпеки земель [Текст] / М. В. Куценко // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Серія: екологія, 2012. Вип.7. - № 1004. - С. 51 – 55.
9. UA U MPK (2012.01) AO1D 13/00. Патент № 70268 на корисну модель "Спосіб визначення ерозійної небезпеки схилів земель" / М.В. Куценко.
10. Куценко М.В. Геоінформаційна технологія оптимізації охорони ґрунтів від ерозії / М.В. Куценко // Стратегії реалізації земельної реформи. Мат-ли міжнар. конф. – Харків: Strasser, 2011. – С. 65 – 69.
11. Кузнецов М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ, изд-во "Колос", 2004. – 352 с.

Стаття надійшла до редколегії 21.06.2013

MODEL CALIBRATION FOR ESTIMATION OF LAND EROSION DANGER

M.V. Kutsenko, D.O. Timchenko, O.V. Kruglov, P.G. Nazarok, P.V. Voskoboynikov

NSC "Institute of Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky "

(kucenko_nikolay@mail.ru)

It has been determined the methods of identifying and mapping of erosion danger of lands, in which the soil erosion properties of the land plots are accounted with generalized coefficients, that are determined through field research of erosion processes manifestation and mathematical modeling, and mapping is made with the automated account of these factors and relief parameters.

Key words: erosion danger, calibration model, anti-erosion measures