

УДК 631.48:631.459.2

© 2016

*П.Г. Назарок**ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії  
мені О.Н. Соколовського»**\* Науковий керівник —  
доктор сільсько-  
господарських наук  
В.А. Величко*

## **АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВСТАНОВЛЕННЯ СТУПЕНЯ ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ СХИЛОВИХ УГІДЬ\***

**Мета.** Порівняння та аналіз підходів до встановлення ерозійної небезпеки угіддя на основі віднесення угіддя до технологічної групи та за допомогою гідромеханічної моделі ерозії Ц.Є. Мірцхулави (ГМЕ). **Методи.** Геоінформаційний, математико-статистичний. **Результати.** В охороні ґрунтів загальнопоширеною практикою є нормування антропогенного навантаження на технологічні групи земель. При цьому єдиним критерієм виділення таких груп виступає кут нахилу земної поверхні. На даний момент набув чинності ДСТУ з розрахунку потенційних втрат ґрунту за допомогою ГМЕ. Цей Держстандарт враховує базові гідрометеорологічні, геоморфологічні, гідрологічні та ґрунтові показники, які визначають величину потенційних втрат ґрунту і дає можливість приймати зважені ґрунтоохоронні проектні рішення. **Висновки.** Віднесення угіддя до технологічної групи має ознаки якісної процедури, що не дає можливість обґрунтованого складання сівозміни та агротехнічних засобів для ерозійно-безпечною використання угіддя. Основною проблемою при використанні ГМЕ є точність аргументів, які вводяться. Некоректне їх уведення призводить до багаторазового збільшення (зменшення) прогнозних значень. Тому є потреба у формуванні бази даних достовірних значень аргументів для сценаріїв ерозійної події.

**Ключові слова:** схилі ґрунти, гідромеханічна модель ерозії Ц.Є. Мірцхулави, ерозійна небезпека угіддя.

**Вступ.** На етапі еколого-економічного обґрунтування сівозмін і впорядкуванні угідь під час розробки проекту землеустрою агроформування інженер-землевпорядник повинен установити ступінь їхньої ерозійної небезпеки [10, 11]. Цей показник можна визначити двома способами: на основі кута нахилу поверхні угіддя з наступним установленням належності його до технологічної групи, або за допомогою математичної моделі-рівнянь, які описують водну ерозію

ґрунту під впливом зливи.

**Мета роботи** — порівняння та аналіз підходів до встановлення ерозійної небезпеки угіддя: на основі віднесення угіддя до технологічної групи та за допомогою ГМЕ (гідромеханічної моделі ерозії). Завдання дослідження включали: верифікацію ГМЕ на дослідному полігоні, розташованому у лісостеповій частині Харківської обл.; розрахунок і статистичний аналіз потенційних втрат ґрунту для технологічних

груп; дослідження впливу зміни значень аргументів рівняння на прогностичні значення потенційних втрат ґрунту та ерозійно-безпечних довжин угідь.

**Об'єкти, методи та умови досліджень.** Об'єктом дослідження обрано угіддя агроформування «Колос 2000» (рис. 1, а) у межах селищних рад Рогань і Зелений Колодязь (Харківського та Чугуївського р-нів Харківської обл.).

ДСТУ передбачає використання в якості прогностичної моделі втрат ґрунту внаслідок водної ерозії під впливом зливи ГМЕ [2, 7, 8]:

$$W_{x_2, T} = 0,011 \times b_{p_s} \times \omega \times \bar{d} \left[ 308 \times \sigma^{0,6} \times \right. \\ \left. \times (1,67 \times 10^{-5} \times l)^{0,6} \times \frac{\text{tg} \alpha^{0,7} \times M_1^{1,4} \times n_0^{0,6} \times X_2^{1,6}}{v_{\Delta \text{доп}}^2} + \right. \\ \left. + \frac{0,000013 \times v_{\Delta \text{доп}}^{3,32}}{1,67 \times 10^{-5} \times l \times \sigma \times \text{tg} \alpha^{1,16} \times M_1^{2,32} \times n_0} - \right. \\ \left. - X_2 \right] \frac{T \times 60}{X_2}; \quad (1)$$

$$n_0 = \frac{(0,7 \times \bar{d})^{1/6}}{22,2}; \quad (2)$$

$$v_{\Delta \text{доп}} = 1,55 \times \sqrt{\frac{g}{1,46 \times \rho_w}} \times (\rho_s - \rho_w) \times \\ \times \sqrt{\left( 1 - \frac{P}{100} \right) \times \bar{d} \times (\cos \alpha - \sin \alpha) / 1,4}, \quad (3)$$

де  $b_{p_s}$  — щільність будови ґрунту, т/м<sup>3</sup>;  $\omega$  — середня частота пульсаційної швидкості, с<sup>-1</sup>;  $\bar{d}$  — середньозважений діаметр водотривких агрегатів, м;  $\sigma$  — коефіцієнт стоку;  $l$  — середня інтенсивність зливи, мм/хв;  $\alpha$  — кут нахилу поверхні схилу, °;  $M_1$  — коефіцієнт, який враховує відхилення характеру руху схилового стоку від прийнятого в розрахунковій схемі руху рівного шару води;  $n_0$  — коефіцієнт шорсткості, м, згідно з формулою (2);  $X_2$  — довжина схилу, м;  $T$  — тривалість зливи, хв;  $v_{\Delta \text{доп}}$  — нерозмиваюча (допустима) швидкість на висоті виступів шорсткості, м/с, згідно з формулою (3);  $g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_w$  — щільність води, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_s$  — щільність твердої фази ґрунту, т/м<sup>3</sup>;  $P$  — шпаруватість структурних агрегатів, %.

Установлення належності угіддя до тієї чи іншої технологічної групи проводилося за

таким алгоритмом: побудова цифрової моделі рельєфу на основі топографічної карти (масштаб 1:10 000, горизонталі проведено через 1 м) та похідної від неї — моделі крутизни схилів; розрахунок частотного розподілу значень кутів нахилу для окремих угідь за групами — 0–1° (I а), 1–3 (I б), 3–5° (II б) [10,11]; встановлення технологічної групи на основі співвідношення значень часток площ зазначених вище груп для угіддя [3].

Для дослідження зміни значення потенційних втрат ґрунту та ерозійно-безпечних довжин угідь(у) внаслідок зміни значення одного з аргументів ГМЕ ( $x_k$ ) при постійному значенні інших визначався показник часткової еластичності —  $E_{x_k} [y] = x_k / y \times \frac{dy}{dx_k}$ . Під

еластичністю функції розуміють, на скільки відсотків збільшиться значення функції, якщо аргумент зростає на 1%.

Діапазон і константні значення (в дужках) аргументів були такі: довжина схилу — 100–1000 м (400 м); кут нахилу — 1–7° (2°); коефіцієнт стоку — 0,1–0,5 (0,25); коефіцієнт побороженості — 1–3 (2); діаметр агрегатів — 0,5–1,5 мм (1 мм); тривалість зливи — 10–60 хв (35 хв) інтенсивність зливи — 0,6–2,4 мм/хв (2 мм/хв). Для формування однакових діапазонів аргументів було проведено їхнє нормування для діапазону 0–1. Для розрахунку ерозійно-безпечних довжин схилу взято значення потенційних втрат на рівні 2,5 т/га.

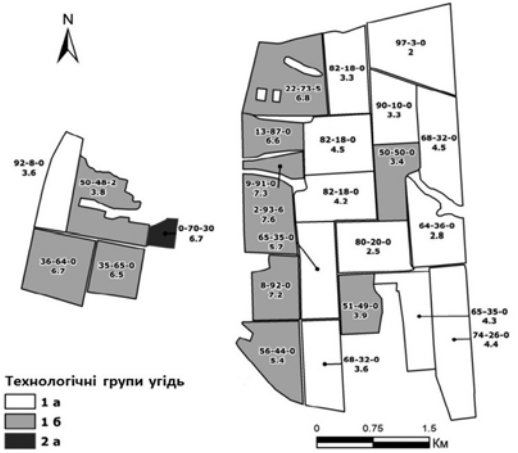
**Результати та їх обговорення.** Верифікацію ГМЕ проводили за допомогою методу обліку змиву згідно результатів обмірювання водорівчаків [1]. Дослід було проведено так: поперек схилу на 15-ти облікових ділянках розмірами 84×3 м виміряно морфометричні показники рівчаків і встановлено втрати ґрунту у т/га по кожній ділянці (рис. 1). Середнє значення втрати ґрунту по схилу становило 0,36 т/га. Вхідні значення для прогностичної моделі були такі:  $b_{p_s}$  — 1,25 г/см<sup>3</sup>;  $\bar{d}$  — 1,76 мм;  $\delta$  — 0,1;  $l$  — 0,7 мм/хв;  $M_1$  — 2;  $T$  — 30 хв;  $\rho_s$  — 2,6 г/см<sup>3</sup>;  $P$  — 40% (аргументи були встановлені за натурними спостереженнями для щільності будови ґрунту, середнього розміру агрегатів, параметрів зливи та за довідковими даними для інших показників [4, 6, 12]). Параметри схилу (довжина та кут нахилу поверхні) встановлені на основі векторної структурної цифрової моделі рельєфу [5]. Результати моделювання

показано на рис. 1. Можна констатувати, що використана модель з високою ймовірністю прогнозує втрати ґрунту внаслідок зливи.

Для встановлення ступеня ерозійної небезпеки для досліджуваних угідь агроформування використано 2 зазначені вище підходи. Під час розрахунку потенційного змиву ґрунту внаслідок зливи 10% забезпеченості було взято такі значення аргументів ГМЕ:  $b_{p_s}$  — 1,25 г/см<sup>3</sup>;  $\bar{d}$  — 1,0 мм;  $\delta$  — 0,3;  $l$  — 2,0 мм/хв;  $M_1$  — 2,0;  $T$  — 35 хв;  $p_s$  — 2,6 г/см<sup>3</sup>;  $P$  — 40%.

Наведені вище втрати ґрунту розраховані для умов чорного пару (рис. 2). Для об'єктивного врахування втрат було прийнято до уваги фактор водно-ерозійної небезпеки сівозміни —  $C$  (значення для польової та ґрунтозахисної сівозмін Харківської обл. відповідно становить 0,62 і 0,52 [9]) та фактор ґрунтозахисних заходів —  $P$  (значення для обробітку поперек схилу становить 0,75 [16]).

Результати визначення величин потенційних втрат ґрунту внаслідок зливи для технологічних груп, свідчать, що методика з урахування кута нахилу поверхні угіддя не може забезпечити збереження ґрунтового покриву досліджуваного агроландшафту (рис. 3). При значенні допустимої норми втрат ґрунту для чорноземів 2 т/га [13], розраховані середні значення перевищують цю величину для всіх технологічних груп. Головне, на що потрібно звернути увагу — розмах значень потенційних втрат (рис. 3, а, б) та різні перевищення

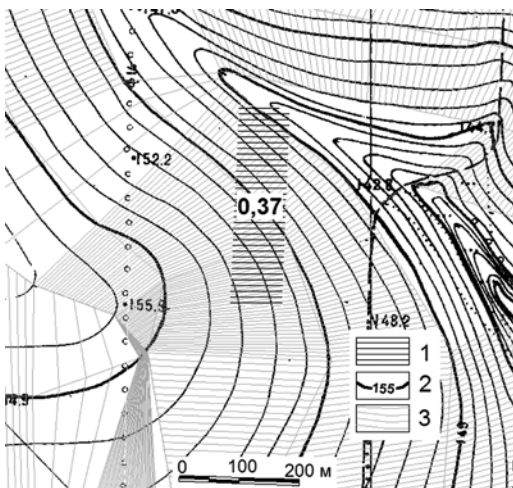


**Рис. 2. Ерозійний ризик угідь агроформування (в чисельнику — відсоток площі з кутом нахилу відповідно — 0–1°, 1–3, 3–5°; у знаменнику — значення потенційних втрат ґрунту за ГМЕ внаслідок зливи 10% забезпеченості)**

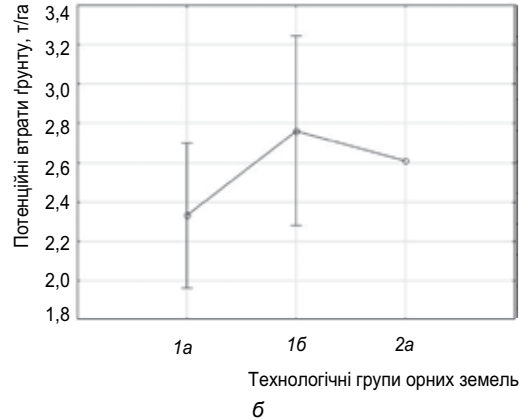
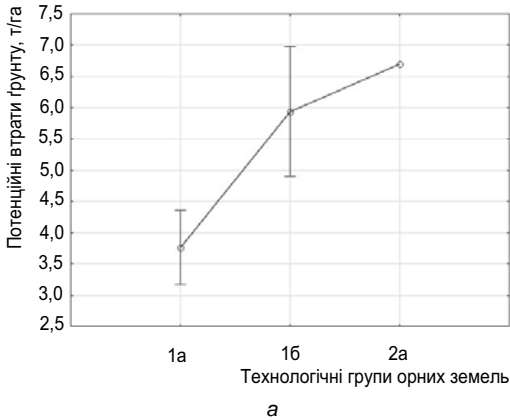
середніх значень над допустимою нормою втрат ґрунту (рис. 3, б). Тобто належність до технологічної групи не дає можливості для обґрунтованого складання ерозійно-безпечної сівозміни. Основні причини: різні інтервали значень кутів нахилу для технологічних груп, їхній нелінійний вплив та ігнорування довжин схилів [15].

ГМЕ враховує базові аргументи, які впливають на потенційні втрати ґрунту внаслідок зливи: гідрометеорологічні (інтенсивність і тривалість зливи); геоморфологічні (довжина та кут нахилу схилу); ґрунтові (середній розмір і шпаруватість агрегатів, щільність будови ґрунту); інтегральні гідрологічні показники (коефіцієнт стоку та коефіцієнт, що враховує концентрацію поверхневого стоку у струмковій сітці, що визначають як коефіцієнт побороженості [8]). Зазначені вище показники жорстко не взаємозумовлені, або не спряжені з кутом нахилу поверхні схилу, і розраховані значення потенційних втрат ґрунту для технологічних груп, можуть бути зовсім інші для другої території.

З перевищення значень потенційних втрат ґрунту для технологічних груп вище допустимої норми може виникнути й інше припущення — неточність прогнозу моделі, однією з причин якого є невірне введення значень аргументів. Щоб показати як впливає зміна аргументів на прогнозні значення,



**Рис. 1. Значення потенційних втрат ґрунту внаслідок водної ерозії на основі ГМЕ для облікового профілю**

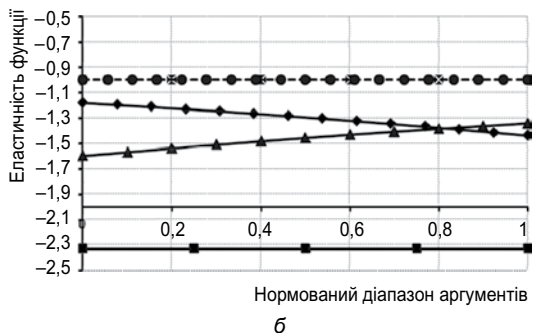
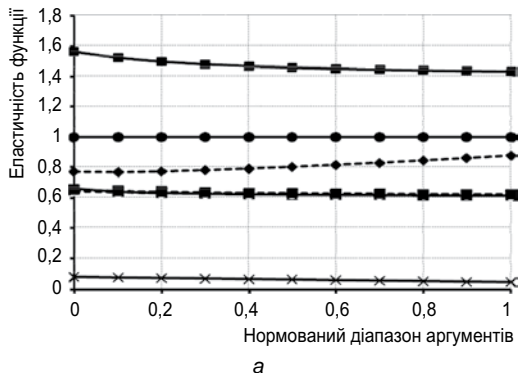


**Рис. 3.** Середнє значення та довірчий інтервал ( $p = 0,95$ ) потенційних втрат ґрунту для технологічних груп угідь досліджуваного агроформування: а — для чорного пару (середнє значення  $\pm$  довірчий інтервал; максимальне значення (кількість змінних) — 1, а —  $3,8 \pm 0,6$ ;  $5,7$  ( $n=13$ ); 1, б —  $5,9 \pm 1,0$ ;  $7,6$  ( $n=11$ ); 2, а —  $6,7$  ( $n=1$ ); б — з урахуванням ґрунтозахисної дії сівозміни та обробітки — 1, а —  $2,3 \pm 0,4$ ;  $3,5$  ( $n=13$ ); 1, б —  $2,8 \pm 0,5$ ;  $3,5$  ( $n=11$ ); 2, а —  $2,6$  ( $n=1$ ))

досліджено рівняння ГМЕ за допомогою показника часткової еластичності функції (рис. 4, а). Істотний вплив на значення потенційних втрат ґрунту має коефіцієнт поборозненості, тривалість зливи та кут нахилу схилу. Відповідно еластичність функції має значення 1,5; 1,0 та 0,8. Для довжини схилу, коефіцієнта стоку та інтенсивності зливи еластичність функції становить 0,6. Укraj низьке значення еластичності функції відносно зміни середнього діаметра (коефіцієнта шорсткості) — 0,06. Наведене вище формує низку аргументів за впливом на потенційні

втрати ґрунту під впливом зливи.

Для обґрунтування ерозійно-безпечних довжин для технологічних груп земель досліджено часткову еластичність функції, що визначає її (рис. 4, б). Істотний вплив на ерозійно-безпечну довжину має коефіцієнт поборозненості, тривалість зливи та кут нахилу схилу, відповідно —  $-2,3$ ;  $-1,4$  та  $-1,3$ . Для інтенсивності зливи та коефіцієнта стоку значення еластичності функції становить  $-1$ . Для більш практичного застосування наведемо графік кратності росту функції при кратному зростанні аргументу за відомого



**Рис. 4.** Дослідження зміни функції на зміну значення аргументу; а — еластичність функції потенційних втрат ґрунту (згідно формул 1–3); б — еластичність функції ерозійно-безпечної довжини схилу (згідно формул 1–3); —■— — коефіцієнт поборозненості; —●— — кут нахилу; —▲— — коефіцієнт стоку; —×— — діаметр агрегатів; —○— — тривалість зливи; —□— — довжина схилу; —◇— — інтенсивність зливи

значення її еластичності.

Наприклад при зміні значення коефіцієнта поборозненості з 1 на 2 або на 3, значення потенційних втрат зростає у 3 або 5 разів, а значення ерозійно-безпечної довжини відповідно зменшиться у 5, або 13 разів. Тобто вплив значень аргументів на прогнозні значення є істотним.

З наведених вище розрахунків можна зробити висновок щодо необхідності формування бази цих значень аргументів для сценаріїв ерозійної події, зокрема для коефіцієнтів стоку та поборозненості.

Для гідрологічно-коректного введення кута нахилу та довжини схилу потрібно враховувати поздовжню та поперечну кривизну схилу. В першому наближенні можуть бути застосовані коефіцієнти для поздовжніх профілів (прямий — 1, випуклий — 1,25–1,5, увігнутий — 0,5–0,75) та для поперечних профілів (поперечно-прямий — 1, поперечно-випуклий — 0,8, поперечно-увігнутий — 1,2). Коректно було б для врахування потужності водних потоків замість довжини схилів використовувати відношення площ водозборів до ширини замикаючих створів.

## Висновки

*Віднесення ґрунтового фактора до технологічної групи має ознаки якісної процедури, що не дає можливості для обґрунтованого складання сізовміни та агротехнічних засобів для ерозійно-безпечної експлуатації ґрунтового фактора. ГМЕ враховує базові гідрометеорологічні, геоморфологічні, гідрологічні та ґрунтові показники, які визначають величину потенційних втрат ґрунту і*

*дає можливість приймати зважені ґрунтоохоронні проектні рішення. Основною проблемою при використанні ГМЕ є точність аргументів, які вводяться. Некоректність їх уведення зумовлює багаторазове збільшення (зменшення) прогнозних значень. Тому є потреба у формуванні бази даних достовірних значень аргументів для сценаріїв ерозійної події.*

## Бібліографія

1. Булигін С.Ю. Оцінка географічного середовища та оптимізація землекористування/С.Ю. Булигін, Ю.В. Думін, М.В. Куценко. — Х.: ТОВ «Світло зі сходу», 2002. — 168 с.
2. ДСТУ 7904:2015 Якість ґрунту. Визначення потенційної загрози ерозії під впливом дощів.
3. Евдокимова Т.И. Почвенная съёмка/Т.И. Евдокимова. — М.: Изд-во МГУ, 1987. — 271 с.
4. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противозерозионных мероприятий на Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 62 с.
5. Куценко М.В. Геосистемні основи регулювання ерозійно-аккумулятивних процесів: геоморфосистемний аспект/М.В. Куценко. — Х.: КП «Міська друкарня», 2012. — 320 с.
6. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 88 с.
7. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии/Ц.Е. Мирцхулава. — М.: Колос, 1970. — 240 с.
8. Мирцхулава Ц.Е. Водная эрозия почв/Ц.Е. Мирцхулава. — Тбилиси: Мецниереба, 2000. — 420 с.
9. Моргун Ф.Т. Почвозащитное земледелие/Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикла, А.Г. Тарарико. — К.: Урожай, 1988. — 256 с.
10. Наказ 02.10.2013 № 395 «Про затвердження методичних рекомендацій щодо розроблення схем

землеустрою і техніко-економічних обґрунтувань використання та охорони земель адміністративно-територіальних одиниць»//Землевпоряд. вісн. — 2013. — № 10. — С. 46–51.

11. Наказ 02.10.2013 № 396 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розроблення проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сізовміни та впорядкування ґрунтів»//Землевпоряд. вісн. — 2013. — № 10. — С. 52–63.

12. Почвы Украины и повышение их плодородия; под ред. Н.И. Полупана. — К.: Урожай, 1988. — Т. 2. — 296 с.

13. Справочник по почвозащитному земледелию; под ред. И.Н. Безручко, Л.Я. Мильчевской. — К.: Урожай, 1990. — 280 с.

14. Статистичний бюлетень «Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай».

15. Сурмач Г.П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противозерозионные мероприятия/Г.П. Сурмач. — Волгоград, 1992. — 174 с.

16. Wall G.J. 2002. RUSLE-CAN - Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada. Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada/G.J. Wall, D.R. Coote, E.A. Pringle et al. — Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, No de la contribution AAC2244F, 117 p.

Надійшла 5.08.2016.