

УДК 631.459.21

© 2014

*С.Г. Чорний,*  
доктор сільсько-  
господарських наук

*О.М. Хотиненко,*  
кандидат сільсько-  
господарських наук

*Миколаївський національний  
аграрний університет*

## **ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОПУСТИМОЇ НОРМИ ЕРОЗІЇ ПІВДЕННИХ ЧОРНОЗЕМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ**

**Мета.** Створити для чорноземних ґрунтів України методики просторової оцінки допустимої норми ерозії з урахуванням мікрокліматичних факторів (волого- і теплозабезпеченості в кожній точці схилу), ґрунтових параметрів (зокрема ступеня еродованості), рослинних показників (кількості та якості рослинних решток, які щороку надходять у ґрунт) тощо. **Методи.** Математичного моделювання, зокрема «математична модель ґрунтоутворення» та картографічні з використанням ГІС-технологій. **Результати.** Для південних чорноземів навчально-науково-практичного центру МНАУ було отримано карту допустимої норми ерозії, що дає змогу порівняти реальні темпи ерозії з її допустимим значенням для завдань протиерозійного проектування і довготривалого управління ґрунтовими ресурсами.

**Ключові слова:** ерозія ґрунту, допустима норма ерозії, ґрунтоутворення, ГІС-технології.

Порівняння реальних темпів ерозії з її допустимим значенням є необхідною процедурою за протиерозійного проектування в конкретних агроландшафтах і довготривалого управління ґрунтовими ресурсами в ерозійно небезпечних районах. Тому поняття «допустима норма ерозії» (*soil loss tolerance*) — один з тих базових термінів, які забезпечують наявність ерозієзнавства як самостійного наукового напрямку.

За аналізом різних тлумачень поняття «допустима норма ерозії» можна досить точно визначити 2 інтерпретації [9, 10]. Перше тлумачення терміна «допустима норма ерозії» означає, що це поняття інтерпретується як засіб підтримки динамічної рівноваги кількості ґрунту (маси або об'єму) в будь-якому місці за будь-яких умов. Друге тлумачення полягає у функціональному підході, коли «допустима норма ерозії» є інструментом реалізації виробничої функції ґрунту, спрямованої лише на отримання певної біомаси.

Обидві інтерпретації цього терміна мають свої недоліки, скажімо, перше тлумачення ігнорує якість ґрунту, зосереджуючи увагу лише

на його кількості. Другий підхід не враховує багато інших функцій ґрунту, наголошуючи лише на його виробничій функції, за якою ґрунт забезпечує певний урожай сільськогосподарських культур.

**Мета досліджень** — створити для чорноземних ґрунтів України методику просторової оцінки допустимої норми ерозії з урахуванням мікрокліматичних факторів (волого- та теплозабезпеченості в кожній точці схилу), ґрунтових параметрів (зокрема ступеня еродованості), рослинних показників (кількості та якості рослинних решток, які щороку надходять у ґрунт) тощо.

Сучасна інтерпретація допустимої норми ерозії є менш прагматичною, ніж зазначені вище, і більш всеосяжною й базується на концепції функцій ґрунтів [1, 6–8]. Допустимою нормою ерозії визначається така величина ерозії, яка не призводить до деградації основних функцій ґрунтів, зокрема до деградації функції місцеперебування (ґрунт — місце існування і розмноження живих істот), інформаційної (ґрунт — джерело наукової, культурологічної

та освітньої інформації), виробничої (ґрунт — засіб виробництва продуктів харчування, фуражу, сировини для промисловості), інженерної та регулятивної функцій. В останньому випадку йдеться про непересічну роль ґрунту в глобальних біогеохімічних циклах, управлінні складом атмосфери і біосферними потоками окремих хімічних елементів, а також про регуляцію поверхневого стоку тощо.

Очевидно, що для виконання цієї умови величина ерозії має бути компенсована ґрунтоутворенням, тобто допустима норма ерозії в кожній точці схилу повинна дорівнювати швидкості формування ґрунту або, принаймні, швидкості формування гумусного горизонту.

Слід зазначити, що процес ерозії має певну просторову неоднорідність, яка визначається просторовою неоднорідністю факторів ерозії — протиерозійної стійкості ґрунтів, ухилу схилу, його довжини, експозиції, характеру рослинності, гідрометеорологічного параметра тощо. Просторовий аналіз процесу ерозії за допомогою ГІС-технологій детально викладено в монографії [3]. Водночас процес ґрунтоутворення, що компенсує ерозію, також має певний просторовий розподіл, який залежатиме від мікрокліматичних факторів (волого- і теплозабезпеченості в кожній точці схилу), ґрунтових параметрів (зокрема ступеня еродованості), рослинних показників (кількості та якості рослинних решток, які щороку надходять у ґрунт) тощо.

Очевидно, що для побудови просторового розподілу швидкості ґрунтоутворення в межах конкретних схилів потрібна наявність математичної моделі, яка б урахувала зазначені вище складові. Крім того, використання такої моделі дасть можливість за допомогою ГІС-технологій виконати не лише обробку вхідної інформації, а й на виході зробити просторовий розподіл отриманих значень швидкостей ґрунтоутворення.

Найближчою до наведених вище вимог є так звана математична модель ґрунтоутворення [3–5], яка розраховує потенційні швидкості утворення гумусного горизонту на схилах з чорноземами для умов Степу України ( $G_c$ , мм/рік):

$$G_c = 0,00027 \cdot [1 - \exp(-\beta \cdot M)](1,3 \cdot Q_c^{2,1} - H_T), \quad (1)$$

де  $H_T$  — вихідна потужність гумусного горизонту (фактор еродованості чорноземного ґрунту), мм;  $Q_c$  — річні енергетичні витрати на ґрунтоутворення на схилах, ккал/см<sup>2</sup>,  $M$  — середня багаторічна кількість органічної речовини, що надходить у ґрунт за контрольований період, т/га;  $\beta$  — коефіцієнт, який враховує

невідповідність модельованого процесу утворення гумусного горизонту природному.

Технологію отримання математичної моделі (1) докладно описано в роботах [3, 4]. Відзначимо лише, що в основу моделювання було покладено інструментальні вимірювання швидкості утворення гумусного горизонту в голоценої (останні 8000–10000 років), тобто це є моделюванням «за аналогією з приблизною подібністю» [4], яке має неповну (відносну) тожність компонентів та взаємовідносин порівнюваних об'єктів і процесів. Таке порівняння зазвичай базується на певному рівні знання про конкретні явища. Сучасний рівень ґрунтознавства, на нашу думку, дає змогу дійти висновку про наявність відносної аналогії між процесами утворення ґрунтів у природних умовах та в умовах сучасних схлилових агроландшафтів.

Компоненти моделі (1) розраховують у такий спосіб.

Річні енергетичні витрати на ґрунтоутворення в (1) визначають за роботою [1] за формулою:

$$Q_c = R_c \cdot \exp(-18,8 \cdot R_c^{0,73}/P_c), \quad (2)$$

де  $R_c$  — радіаційний баланс у точці схилу, ккал/см<sup>2</sup> за рік;  $P_c$  — річна сума опадів, мм.

Величину радіаційного балансу та річну суму опадів для схлилових ґрунтів обчислювали відповідно за формулами [3]:

$$R_c = R_o \cdot (S_c/S_o), \quad (3)$$

$$P_c = P_o \cdot \gamma \cdot (S_c/S_o), \quad (4)$$

де  $R_o$  — величина радіаційного балансу на рівнинній ділянці, ккал/см<sup>2</sup> за рік;  $P_c$  — кількість опадів на рівнинній ділянці, мм;  $S_o$  — величина сонячної радіації на вододілі, ккал/см<sup>2</sup> (визначається за даними найближчої метеостанції);  $S_c$  — величина сонячної радіації на схилі, ккал/см<sup>2</sup>;  $\gamma$  — параметр, який для північних схилів дорівнює 1, південних — 0,95 [3].

Згідно з роботами [3, 4] для умов Степу України співвідношення між прямою сонячною радіацією на схилі та на рівнинних ділянках розраховували як:

$$S_c/S_o = (\sinh \cdot \cos \alpha - \cosh \cdot \sin \alpha \cdot \cos A) / \sinh, \quad (5)$$

де  $h$  — висота Сонця, градуси;  $\alpha$  — крутизна схилу, градуси;  $A$  — азимут схилу, градуси.

Середньобагаторічну кількість органічної речовини, що надходить у ґрунт з органічними добривами та рослинними рештками, розраховують за [3, 4]:

$$M = [\sum_{t=1}^T (Y_t \cdot p_t \cdot k_{6t} + D_t \cdot S_t)] / T, \quad (6)$$

де  $T$  — довжина періоду, що контролюється, роки;  $Y_t$  — урожайність сільськогосподарської культури в році  $t$ , т/га;  $P_t$  — коефіцієнт виходу рослинних решток за вирощування  $t$ -ї сільськогосподарської культури, частки одиниці;  $K_{\text{біт}}$  — біохімічний коефіцієнт [3, 4];  $D_t$  — кількість гною, внесеного в ґрунт за вирощування  $t$ -ї культури, т/га;  $S_t$  — уміст сухої речовини в гної, частки одиниці.

Для опрацювання методики картування допустимої норми ерозії модельною ділянкою було обрано територію навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету (ННПЦ МНАУ). Координати північно-східного кута всього комплексу агроландшафтів ННПЦ МНАУ —  $46^{\circ}56' 56,5''$  п. ш.,  $31^{\circ}42' 56,5''$  сх.д. Площа землекористування становить приблизно 1000 га.

Рельєф господарства — рівнинний з плоскими вододілами та широкими пологими схилами, які переходять у лощини. Ґрунти господарства — чорноземи південні різного ступеня еродованості. Нееродовані південні чорноземні ґрунти займають 56,6% земель ННПЦ МНАУ, слабоеродовані — 38,8%, середньо- та сильноеродовані — 4,6%. Структура площ сільськогосподарських культур і технологія їх вирощування є типовою для зони Південного Степу України.

Як вихідні дані використовували кліматичні дані, тематичні карти (ґрунтова карта масштабу 1:10000 та карта землекористування), топографічну карту масштабу 1:10000, космічний знімок високої просторової роздільної здатності, отриманий за допомогою супутника Landsat 7 ETM. Використовували також архівні дані щодо багаторічної структури посівних площ та сівозмін, а також середніх урожайностей сільськогосподарських культур.

Для просторової інтерпретації моделі (1) потужність гумусного горизонту ( $H_r$ ) оцінювали за даними цифрової ґрунтової карти залежно від ступеня еродованості, яка на території господарства в кожній точці вододілів і схилів становила 40–85 см.

Побудову електронних карт та їх аналіз здійснювали з використанням геоінформаційних продуктів ArcGIS 9.3 та векторизатора EasyTrace. Для розрахунків за математичними моделями та з допомогою інструменту «Вектор в растр» усі векторні карти було конвертовано в растрові електронні карти.

Для отримання кінцевої карти, яка визначає просторовий розподіл величини допустимої

норми ерозії, було створено проміжні карти, які, крім того, що вони є джерелом просторово-розподіленої інформації, мають і самостійне значення. Це цифрова карта рельєфу (для визначення ухилу поверхні та експозиції в (5)). Карту було побудовано методом Крігінга з відображенням висот за допомогою світлотіньової відмивки (рис. 1). Окреме значення мають її похідні — карти ухилів та експозицій схилів.

Наступним етапом було створення електронних карт параметрів  $R_0$  та  $P_c$  і річних енергетичних витрат на ґрунтоутворення. Найменші значення енергетичних витрат на ґрунтоутворення (менше 22 Ккал/см<sup>2</sup>) мають схили південної та південно-східної експозицій, які найгірше забезпечені вологою, найбільші (понад 23 Ккал/см<sup>2</sup>) — «вологі» схили північної та північно-західної експозицій (рис. 2). Плакорні ділянки господарства мають значення енергетичних витрат на ґрунтоутворення близько 22,5 Ккал/см<sup>2</sup>.

Просторовий розподіл річних енергетичних витрат, значення потужностей гумусного

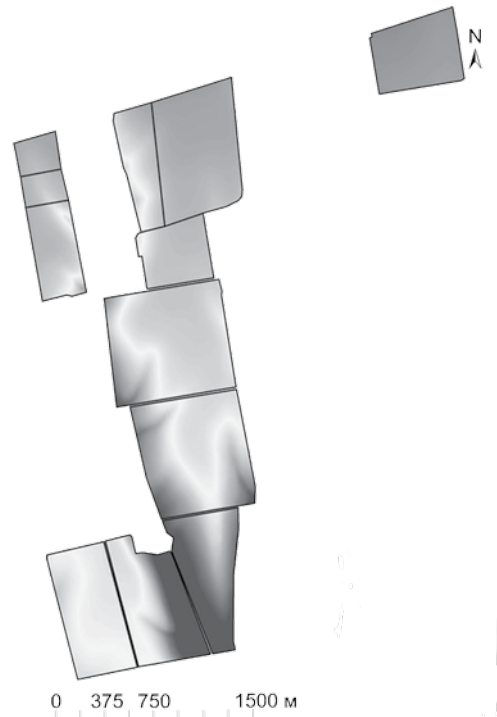
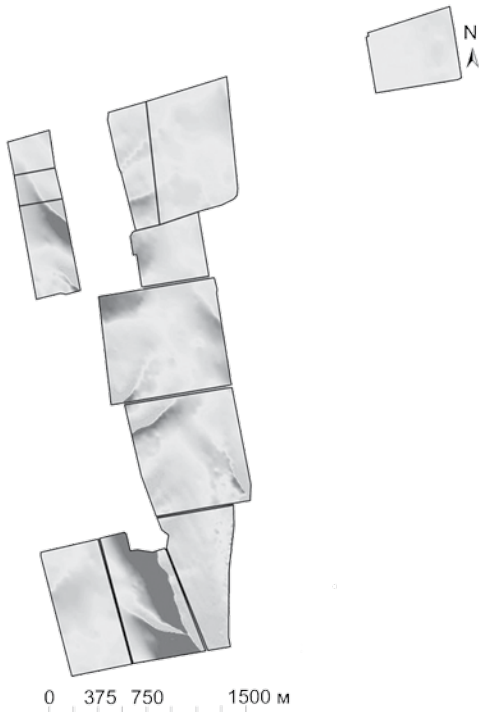
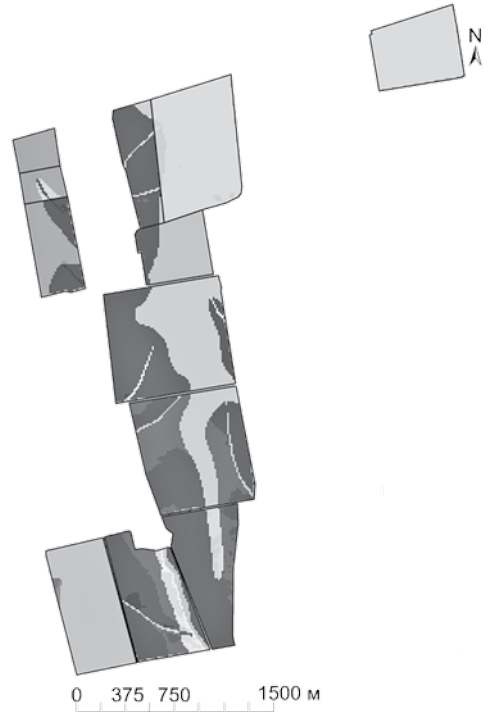


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу: ■ — максимальне значення висоти над рівнем моря (63,12 м); ■ — мінімальне значення висоти над рівнем моря (31,48 м)



**Рис. 2.** Річні енергетичні витрати на ґрунтоутворення: ■ — максимальні (23,42 Ккал/см<sup>2</sup>); ■ — мінімальні (21,29 Ккал/см<sup>2</sup>)



**Рис. 3.** Допустимі норми ерозії, т/га за рік: швидкість утворення гумусного горизонту, т/га: ■ — 0,0–0,3; ■ — 0,3–0,35; ■ — 0,35–0,4; ■ — 0,4–0,45; ■ — 0,45–0,5; ■ — 0,5–0,55; ■ — 0,55–0,6; ■ — 0,6–0,65; ■ — 0,65–0,7; ■ — 0,7–0,75; ■ — 0,75–0,85; ■ >0,85

горизонту та значення параметра  $M$ , який розраховують згідно з (6), дають змогу провести засобами ArcGIS картування допустимої норми ерозії в межах агроландшафтів ННПЦ МНАУ за математичною моделлю (1) (рис. 3).

**Результати досліджень.** За аналізу з'ясувалося, що допустима норма ерозії в межах агроландшафтів ННПЦ МНАУ становить 0,003–0,075 мм/рік, або 0,1–0,9 т/га за щільності складання 1,2 т/м<sup>3</sup>. Візуальний аналіз просторового розподілу допустимої норми ерозії підтверджує її чітку диференціацію залежно

від мікрокліматичних показників (тепло- та вологозабезпеченості схилів), що є функцією від параметрів рельєфу і, особливо, від ґрунтових умов. Ступінь еродованості ґрунту, який в (1) виражається через потужність гумусного горизонту  $H_g$ , найсильніше впливає на величину  $G_c$ . Чим еродованіший ґрунт, тим більша потенційна швидкість утворення гумусного горизонту, що пов'язано з форматом моделі (1), яка базується на прямих вимірюваннях цього процесу.

## Висновки

Використання ГІС-технологій та адекватних математичних моделей дає можливість отримувати електронну карту допустимої норми ерозії для схилівих земель з південними чорноземами різного ступеня еродованості. Порівняння реальних темпів ерозії з її допустимим значенням дає змогу здійснити протиерозійне проектування

і довготривале управління ґрунтовими ресурсами на землях ННПЦ Миколаївського національного аграрного університету.

Допустима норма ерозії в умовах ННПЦ становить 0,1–0,9 т/га і найбільше залежить від мікрокліматичних показників, які є функцією рельєфних параметрів та ступеня еродованості ґрунту.

## Бібліографія

1. Волобуев В.Р. Введение в энергетикку почвообразования/В.Р. Волобуев. — М.: Наука, 1974. — 128 с.
2. Добровольский Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник/Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. — М.: МГУ, 2006. — 364 с.
3. Светличный А.А. Современные проблемы эрозиоведения/А.А. Светличный, Ф.Н. Лисецкий, С.Г. Черный. — Белгород: Константа, 2012. — 456 с.
4. Чорний С.Г. Оцінка допустимої норми ерозії для ґрунтів Степу України/С.Г. Чорний//Укр. геогр. журн. — 1999. — № 4. — С. 18–22.
5. Якість ґрунту. Ерозія ґрунту. Допустимі норми: ДСТУ 7081:2009. — [Чинний від 2009–01–01]. — К.: Держспоживстандарт України 2009. — 31 с. — (Національний стандарт України).
6. Blum W.E.H. Functions of soil for society and the vironment/W.E.H. Blum// Reviews in Environmental Science and Biotechnology. — 2005. — № 4(3). — P. 75–79.
7. European Commission. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Thematic Strategy for Soil Protection. 2006. COM (2006)231; last accessed 04/04/2007: <http://ec.europa.eu/environment/soil/>.
8. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection volume— II erosion/Editors Lieve VanCampniideBujarrabal Anna Rita Gentile, Robert J.A. Jones Luca Montanarella, Claudia OlazabalSenthil-Kumar Selvaradjou, 192 с. <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/vol2.pdf>.
9. Roose E. Land husbandry: components and strategy/E. Roose//FAO Soils Bulletin. — 1996. — № 70. — FAO, Rome. — 380 p.
10. Verheijen F.G.A. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe/ F.G.A. Verheijen, R.J.A. Jones, R.J. Rickson, C.J. Smith//Earth-Science Reviews. — 2009. — V. 94. — Issues 1–4. — P. 23–38.

Надійшла 23.05.2014.

### ОГОЛОШЕННЯ

**ІНСТИТУТ ПРОДОВОЛЬЧИХ РЕСУРСІВ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
оголошує прийом до аспірантури без відриву  
від виробництва на 2014 рік зі спеціальностей:**

- 03.00.20 — біотехнологія (технічні науки);  
05.18.04 — технологія м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів;  
05.18.05 — технологія цукристих речовин та продуктів бродіння.

**До заяви на ім'я директора інституту потрібно додати такі документи:**

- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, завірений за місцем роботи; автобіографію;
  - список опублікованих наукових праць і винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності;
  - медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у;
  - копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста або магістра та копію залікової відомості;
  - посвідчення про складання кандидатських іспитів (за наявності).
- Паспорт і диплом про вищу освіту подаються вступником особисто.

**Вступні іспити зі спеціальності, філософії та іноземної мови  
проводитимуться у жовтні 2014 року.**

**Документи приймаються до 08 жовтня поточного року.**

Документи подавати або надсилати за адресою: 02660, м. Київ, вул. М. Раскової, 4а.  
Довідки за телефоном: 517-26-88.