

УДК 631.4:631.459

**А.В. П'яткова**, канд. геогр. наук, доц.  
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова  
кафедра фізичної географії і природокористування,  
пров. Шампанський, 2, Одеса, 65058, Україна  
e-mail: avpyatkova@mail.ru

## **ПРОСТОРОВА ГІС-РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЕРОЗІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗЕМЕЛЬ**

Наведена просторова реалізація моделі раціонального використання земельних ресурсів ерозійно-небезпечних земель з використанням сучасних геоінформаційних технологій. Приведений приклад використання розробленої моделі для тестової ділянки у межах степу України.

**Ключові слова:** ерозійно-небезпечні землі, земельні ресурси, водна ерозія ґрунту, просторова мінливість, геоінформаційні технології.

### **ВСТУП**

Водна ерозія є однією з основних причин погіршення агрономічних та агроекологічних властивостей ґрунтів, зниження їх продуктивності. У світі за даними Глобальної оцінки деградації ґрунтів, обумовленої людиною, нараховується більше 1 млрд. га еродованих у різному ступені ґрунтів. На території України щорічний приріст еродованих земель складає 80-100 тис. га [6].

На думку багатьох учених деградація ґрунтів в результаті водної ерозії може призвести до спустелювання територій, так чи інакше торкаючись всіх компонентів ландшафту. Тому збереження ґрунтів багато у чому залежить від адекватної оцінки і прогнозу ерозійної небезпеки, заходів протиерозійного захисту ґрунтів, організації та облаштування території, що у комплексі надасть можливість переходу на принципово новий рівень господарювання, наприклад, ландшафтно-адаптивні системи землеробства.

Основу проектування та створення ерозійно-стійких агроландшафтів складають математичні моделі, які дозволяють виконувати кількісну оцінку ерозійної небезпеки території та визначати найбільш раціональний підхід до землекористування у певних природно-господарських умовах [3, 4, 5, 6, 13, 14, 16 та ін.]. Однією з найбільш обґрунтованих є логіко-математична модель раціонального використання земельних ресурсів, запропонована Г. І. Швєбсом [16], яка відображає основні особливості функціонування ґрунтової системи у агроландшафті і дозволяє на основі кількісної оцінки фактичних та оптимальних у даних умовах запасів ґрунтового ресурсу обґрунтувати сценарій оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель.

Основною проблемою вище означених моделей є нехтування значною просторовою неоднорідністю природних та господарських факторів ґрунтоутворення, а також факторів втрати родючості ґрунтів, у тому числі провідного з них – водної ерозії ґрунту. Але такий підхід є в корені помилковим, оскільки, як показують останні дослідження [1, 10, 11, 13 та ін.], фактори формування продуктивності ґрунту та фактори водної ерозії є значно мінливими у просторі, навіть у межах невеликих за площею схилових ділянок. Тому при розробці та реалізації моделі раціонального використання земельних ресурсів необхідно враховувати просторову внутрішньохилову мінливість основних складових компонентів моделі, а саме вміст гумусу у ґрунті, потужність гумусового горизонту як показники ґрунтового ресурсу, а також водно-ерозійні втрати ґрунту, допустимі у даних умовах втрати ґрунту та інші компоненти, що визначають функціонування ґрунту як системи, що дозволить обґрунтувати систему захисту ґрунтів для кожного окремого поля або його частини. Тим більше, що сучасні технології геоінформаційних систем (ГІС), або ГІС-технології, дозволяють реалізувати складні алгоритми розрахунків просторово неоднорідних величин.

Метою даного дослідження є просторова реалізація у середовищі ГІС моделі раціонального використання земельних ресурсів з урахуванням внутрішньохислової мінливості основних факторів формування продуктивності ґрунту і його втрат в результаті водної ерозії.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В основу просторової реалізації моделі раціонального використання земельних ресурсів покладена система математичних рівнянь оптимізаційного варіанту логіко-метематичної моделі Г.І. Швєбса у редакції, представленої у роботах [3, 6, 11, 13].

У відповідності до [13, 16] комплексну характеристику ресурсу ґрунтової родючості – бонітет ґрунту ( $B_{II}$ ) – запропоновано представляти у вигляді добутку потужності гумусового горизонту ( $H_r$ , см) та середнього вмісту гумусу у цьому горизонті ( $\bar{G}$ , %):

$$B_{II} \approx H_r \bar{G} \quad (1)$$

У залежності від співвідношення існуючого за даних умов господарювання та оптимального для даної культури або групи культур значень показника ґрунтового ресурсу здійснюється вибір сценарію оптимізації використання ґрунтових ресурсів:

I сценарій – регульоване витрачання ґрунтового ресурсу –

$$(H_r \bar{G})_{ucx} > (H_r \bar{G})'_{omn} \quad (2)$$

II сценарій – просте відтворення ґрунтового ресурсу –

$$(H_r \bar{G})'_{omn} \geq (H_r \bar{G})_{ucx} \geq (H_r \bar{G})''_{omn} \quad (3)$$

III сценарій – розширене відтворення ґрунтового ресурсу -

$$(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{ucx} < (H_{\Gamma}\bar{\Gamma})''_{onm} \quad (4)$$

де  $(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{ucx}$  – вихідне значення бонітету ґрунту;  $(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})'_{onm}$  та  $(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})''_{onm}$  – граничні оптимальні значення бонітету ґрунту [3].

Згідно з [3, 13] перевищення вихідних запасів ґрунтового ресурсу над оптимальними (*I-й сценарій землекористування*) дозволяє допускати прояв ерозії з інтенсивністю, що перевищує темпи ґрунтоутворення. Доцільно допустимі щорічні втрати ресурсу ґрунтової родючості ( $\Delta(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{oon}$ ) розраховуються за формулою

$$\Delta(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{oon} = \frac{\gamma[(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{onm} - (H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{ucx}(e^{-bt_1} - e^{-bt_2})]}{(t_2 - t_1)}, \quad (5)$$

де  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту у межах гумусового горизонту, г/см<sup>3</sup>;  $(t_1 - t_2)$  – проміжок часу, роки;  $e$  – основа натурального логарифму;  $b$  – параметр, який визначає інтенсивність змін у часі, являючись визначником кривизни функції  $H_{\Gamma}\bar{\Gamma} = f(t)$ .

Величина доцільно допустимих втрат ґрунту ( $\Delta H_{\Gamma(\varepsilon)oon}$ ) в результаті водної ерозії визначається за формулою:

$$\Delta H_{\Gamma(\varepsilon)oon} = \frac{1}{0,1 \gamma p \Gamma_{0-10}} \left[ \Delta(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{oon} + 0,1 \gamma \Delta H_{\Gamma(II)} \bar{\Gamma} - 0,001 \gamma H_{\Gamma} \bar{\Gamma} + \right. \\ \left. + k_{\Gamma}'' \alpha D + \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} k_{\Gamma}' A_{\varphi} - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} k_{p\varphi} Y_{\varphi} \right] \quad (6)$$

де  $p$  – коефіцієнт перевищення вмісту гумусу у схилових наносах у порівнянні з початковим значенням, безр.;  $\gamma$  – щільність ґрунту у межах гумусового горизонту, г/см<sup>3</sup>;  $\Delta H_{\Gamma(II)}$  – швидкість утворення гумусового горизонту, мм/рік;  $A$  та  $D$  – відповідно кількість рослинних решток та органічних добрив, т/га, при цьому  $A = k_e Y$ , де  $k_e$  – коефіцієнт виходу поживних решток, безр.;  $\alpha$  – коефіцієнт перерахунку різноманітних видів органічних добрив в еквівалентну кількість підстилкового навозу;  $k_{\Gamma}'$  та  $k_{\Gamma}''$  – відповідно коефіцієнти гуміфікації рослинних решток та органічних добрив, безр.;  $Y$  – урожайність основної продукції, т/га;  $k_p$  – коефіцієнт виносу гумусу з урожаєм, безр.;  $t_2 - t_1$  – період ротації сівозміни, роки.

Коли фактичний бонітет ґрунту близький до його оптимального значення реалізується *II-й сценарій землекористування*, або сценарій простого відтворення. Доцільно допустимі втрати розраховуються за рівнянням (6) у припущенні, що зміни ґрунтового ресурсу не відбувається, тобто  $\Delta(H_{\Gamma}\bar{\Gamma})_{oon} = 0$  [6, 13].

Землі з виснаженим ресурсом ґрунтової родючості, на яких реалізується *III-й сценарій землекористування*, зазвичай характеризуються високим ступенем еродованості та малою потужністю гумусового горизонту. Тут до-

пустимі втрати ґрунту призначаються мінімально можливими на основі еколого-економічних критеріїв. Для таких умов компенсація ерозійних втрат здійснюється за рахунок ефективних протиерозійних та ґрунтовідновлюючих заходів, додаткових доз органічних добрив. Дози органічних добрив, необхідні для відтворення ґрунтової родючості, обчислюються на основі балансу гумусу орного шару ґрунту:

$$D = \frac{1}{k_r \alpha} \left[ \Delta(H_r \bar{G})_{\text{нак}} + 0,1\gamma G_{0-10} p \Delta H_s - 0,1\gamma \Delta H_{r(\Pi)} \bar{G} + \right. \\ \left. + 0,001\gamma H_{\text{нак}} G^* - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} k'_{r\varphi} A_\varphi + \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} k_{p\varphi} V_\varphi \right] \quad (7)$$

де  $\Delta H_s$  – змив ґрунту, т/га/рік, який задається на основі еколого-економічних розрахунків;  $H_{\text{нак}}$  – потужність орного горизонту ґрунту, см;  $G^*$  – вміст гумусу в орному горизонті, %;  $\Delta(H_r \bar{G})_{\text{нак}}$  – доцільні темпи накопичення гумусу, т/га/рік.

Таким чином, оптимізація використання ерозійно-небезпечних земель зводиться до: 1) визначення сценаріїв оптимізації використання ґрунтового ресурсу на різних ділянках, 2) розрахунків водно-ерозійних втрат ґрунту при відповідних варіантах землекористування, 3) розрахунків доцільно допустимих втрат ґрунту при різних можливих варіантах землекористування, 4) порівняння отриманих результатів та обрання найкращого варіанту землекористування у заданих природно-господарських умовах. У тому разі, коли розрахункові втрати ґрунту не перевищують доцільно допустимі, можна вважати, що землекористування забезпечує бездефіцитний баланс гумусу та рівень змиву ґрунту, який не порушує рівноваги у агроландшафті в цілому на даному етапі господарювання. За інших умов необхідні корінні зміни використання земель.

Рівняння (1)-(7) стали основою для просторової реалізації моделі раціонального використання земельних ресурсів. Пріоритетною задачею реалізації моделі стало врахування внутрішньосхилової мінливості всіх складових балансу гумусу, як основної характеристики його родючості. Для моделювання просторової мінливості факторів водної ерозії та формування родючості ґрунтів застосовані методи польової зйомки, статистичної обробки польових даних та математичного і геоінформаційного моделювання [1, 10, 11, 12 та ін.]. Метод геоінформаційного моделювання використаний і для реалізації моделі раціонального використання земельних ресурсів у ГІС.

Інструментом для просторової реалізації моделі (1)-(7) обраний пакет *PCRaster*, розроблений на кафедрі фізичної географії Університету м.Утрехта (Нідерланди) у 1992 [17]. Він представляє собою сукупність програмних модулів (“операторів”), які орієнтовані на аналіз растрової інформації. На відміну від багатьох інших ГІС-пакетів *PCRaster* [17] розроблений для моделювання процесів, пов’язаних з током води та твердого матеріалу вздовж схилів – вод-

ної ерозії ґрунту, току та акумуляції забруднювачів, концентрації речовин у поверхневих та підземних водах і т.п.

Блок картографічного моделювання *PCRaster* містить оператори для всебічного аналізу електронних растрових карт. Набір операторів відповідає концепції картографічної алгебри і картографічного моделювання, а саме, концепції пакету MAP (*Map Algebra Package*), розробленого С.Д. Томліном [18]. До складу пакету також входить набір геоморфологічних і гідрологічних функцій, які дозволяють на основі аналізу цифрової моделі рельєфу (ЦМР) території отримувати растрові карти ухилів поверхні, поперечної та поздовжньої кривизни схилів, експозицій, напрямків току води, довжини ліній току, площі місцевих водозборів вздовж схилу та інш., що важливо при моделюванні просторово розподілених величин (розподіл тепла та вологи у ґрунті, зон переважаючого змиву та акумуляції ґрунту, вмісту гумусу у ґрунті тощо). Саме ці можливості пакету і дозволили виконати просторову реалізацію моделі раціонального використання земельних ресурсів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Більшість факторів, які характеризують цінність ґрунту як ресурсу та які визначають приходні та витратні частини балансу гумусу у ґрунті, а саме вміст гумусу у гумусовому, орному та верхньому (0-10 см) горизонтах ґрунтового профілю, потужність гумусового горизонту, втрати гумусу у результаті дії водно-ерозійного процесу та з урожаєм сільськогосподарських культур, мінералізація гумусу та поповнення його рослинними рештками мають значну просторову неоднорідність, спричинену як природними умовами, так і антропогенним впливом.

Відомо, що вміст гумусу та потужність гумусового горизонту визначаються типом та підтипом ґрунту, значною мірою – ступенем еродованості ґрунтового покриву, а також – особливостями землекористування та рівнем агротехніки. Швидкість формування гумусового горизонту, крім факторів ґрунтоутворення, визначається типом та підтипом ґрунту і ступенем еродованості (табл. 1).

Таблиця 1

#### Середня швидкість формування гумусового горизонту ґрунтів різного ступеню змитості (мм на рік / т на га) [3]

Ґрунти	Ступінь змитості		
	Слабка	Середня	Сильна
Підзолисті, дерново-підзолисті	0,04/0,47	-	-
Чорноземи лісостепу	0,06/0,59	0,11/1,30	0,18/2,22
Чорноземи звичайні	0,05/0,54	0,09/1,06	0,15/1,82
Чорноземи південні, темно-каштанові	0,04/0,50	0,08/0,95	0,11/1,35
Каштанові	0,02/0,27	0,05/0,55	0,07/0,88

Основою для урахування просторової мінливості вмісту гумусу та потужності гумусового горизонту є детальна ґрунтова карта території дослідження із контурами еродованості ґрунтів. Геоінформаційними методами контурам призначаються відповідні значення вище названих характеристик. При цьому проблеми граничних територій вирішувалась шляхом згладжування меж у відповідності до представлень про структуру ландшафтних фацій та ширину їх пограничних зон [2, 7 та ін.] (операції сусідства).

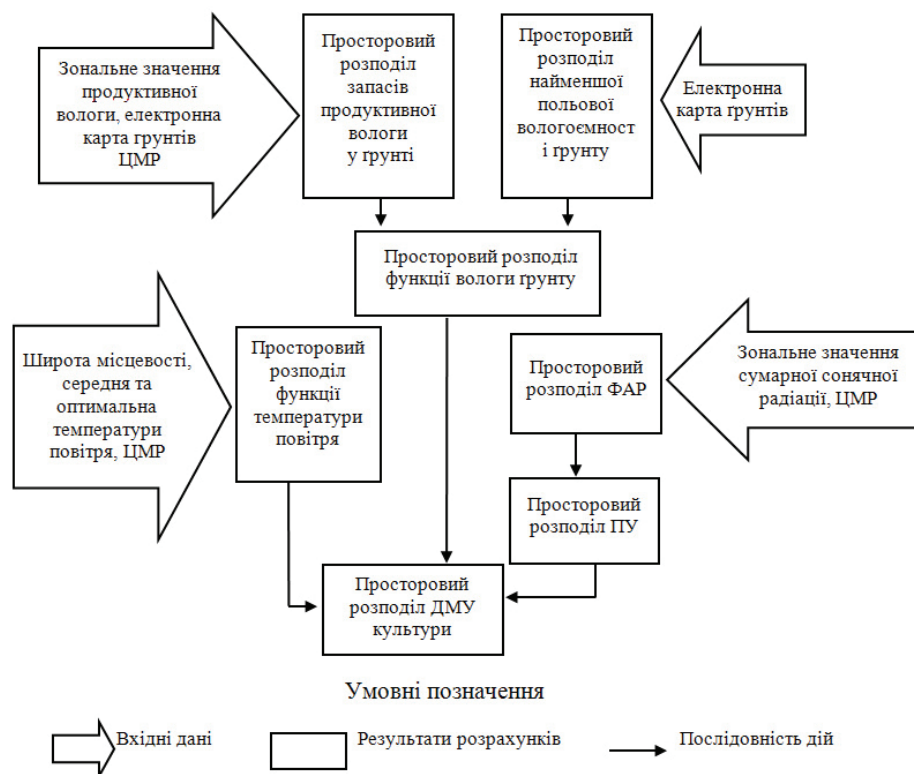
Поповнення гумусу у ґрунті в основному визначається кількістю рослинних решток, які залишаються після збирання урожаю, та внеском органічних добрив. Оскільки можна вважати, що органічні добрива вносять у ґрунт рівномірно по площі поля, просторова мінливість поповнення гумусу у ґрунті визначається кількістю рослинних залишків, яка напряму залежить від типу та урожайності основної продукції. Урожайність культур також визначає і витрати гумусу в результаті живлення рослин, які виносять з ґрунту поживні речовини. Виніс поживних речовин залежить як від кількості продукції, так і від виду рослин, що вирощуються. Таким чином, розрахунки можливої за даних природних умов урожайності сільськогосподарських культур є ключовими у оцінці однієї із складових балансу гумусу у ґрунті.

Просторова неоднорідність урожайності культур визначається мінливістю ґрунтово-кліматичних факторів – вологості верхнього півметрового шару ґрунту, температури приземного повітря, приходу фотосинтетично активної сонячної радіації. Така мінливість проявляється як на регіональному, так і на локальному рівні (у межах окремих полів сівозмін), що пояснюється перш за все перерозподілом тепла та вологи на різних формах рельєфу діяльної поверхні.

Основою для реалізації просторової моделі урожайності культур послужила модель дійсно можливої урожайності (ДМУ), розроблена А. М. Польовим [8, 9]. Основні принципи реалізації просторової моделі ДМУ у викладені у [1, 11]. На рис. 1 представлена принципова схема функціонування моделі просторової мінливості урожайності культур. Основою для розрахунків просторового розподілу кліматичних та ґрунтових показників урожайності сільськогосподарських культур є гідрологічно коректна ЦМР та детальна ґрунтова карта з урахуванням ступеню еродованості. По суті ці дві цифрові карти є базовими і для подальших розрахунків змиву, а також доцільно припустимих втрат ґрунту.

Просторова модель раціонального використання земельних ресурсів складається з декількох програмних модулів, спрямованих на кількісні розрахунки просторової мінливості фактичних втрат ґрунту в результаті водної ерозії, просторової мінливості урожайності сільськогосподарських культур, які використовуються у даній сівозміні, доцільно допустимих втрат ґрунту (рівняння (6)), кількості органічних добрив (рівняння (7)), необхідних для підтримання родючості ґрунту.

Водна ерозія ґрунту призводить до втрат його родючості та є однією з причин дегуміфікації ґрунтів. Всі фактори водної ерозії ґрунту характеризуються



*Рис. 1. Блок-схема функціонування моделі просторової мінливості урожайності сільськогосподарських культур*

значною просторовою неоднорідністю навіть на локальному рівні, у межах полів сівозмін або їх частин, що стало відправним пунктом у розробці та ГІС-реалізації просторової моделі змиву-аккумуляції ґрунту, детально представлені у [10, 11]. Схема моделі наведена на рис. 2.

У загальному вигляді схема просторової моделі раціонального використання земельних ресурсів надана на рис. 3.

Апробація просторової моделі раціонального використання земельних ресурсів і розробка методики її практичного застосування виконана для умов експериментальної ділянки Банівка – типової ділянки ріллі площею 81 га, розташованої на схилі долини малої річки Катлабух (Болградський район, Одеської області).

Однією з проблем використання растрового формату даних при моделюванні просторово розподілених величин є величина елементарної ділянки простору – чарунки растру [13 та ін.]. Як показано у [11, 12] найбільш прийнятною для моделювання ерозійних процесів у межах схилових ділянок та частин балкових або річкових водозборів є величина чарунки растру 10 м. Тобто для

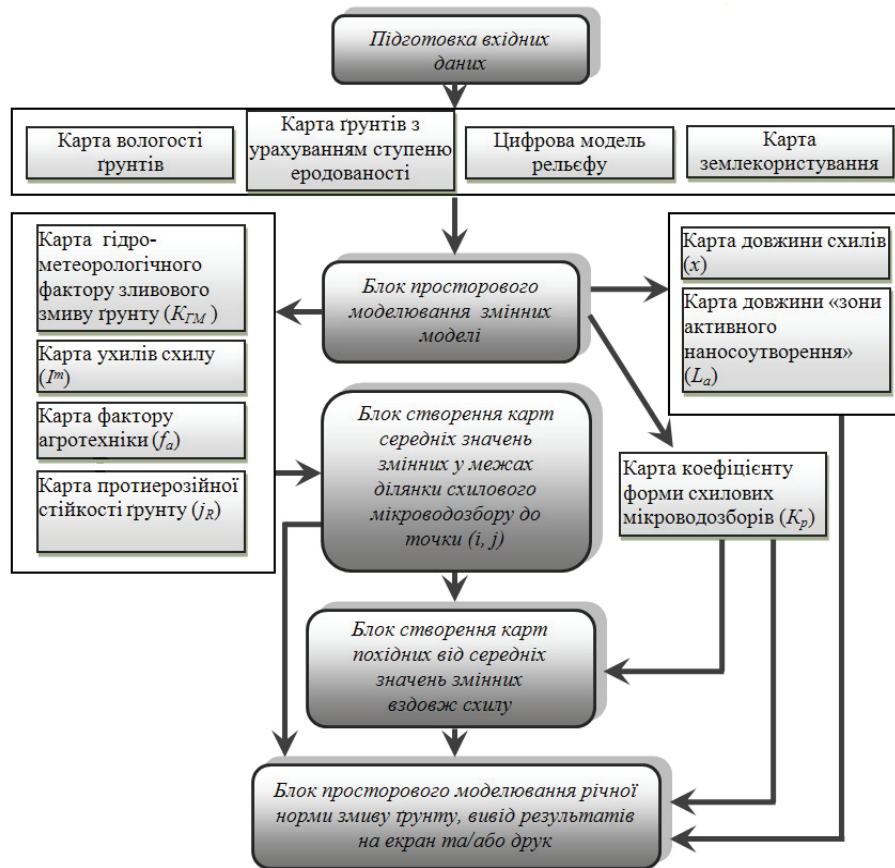


Рис. 2. Блок-схема функціонування просторової моделі змиву-аккумуляції ґрунту

розрахунків за просторовою моделлю раціонального використання земельних ресурсів необхідні растрові карти з величиною чарунки не більше 10 м. В даному випадку величина чарунки растру складає 5 м.

В якості робочих обрані варіанти використання орних земель згідно з рекомендаціями сільськогосподарської науки для території Одеської області [15]: 1) ділянка зайнята одним полем традиційної прямокутної форми шестипільної польової сівозміни; 2) ділянка зайнята одним полем традиційної прямокутної форми чотирипільної ґрунтозахисної сівозміни.

Аналіз електронної карти сценаріїв оптимізації землекористування (рис.4) дає змогу виявити ділянки території, на яких необхідно реалізовувати відповідний сценарій.

Частини ділянки, на яких можуть бути реалізовані I-ий та II-ий сценарії займають близько третини території (відповідно 15,3 та 13,3 % площі) на привододільному схилі, нижній ввігнутій частині схилу та на частині заплави. А



на більшості території (71,4 % площі) не може бути реалізований навіть сценарій простого відтворення ґрунтового ресурсу. Тут необхідно реалізувати III-й сценарій оптимізації землекористування – розширеного відтворення ресурсів ґрунтової родючості.

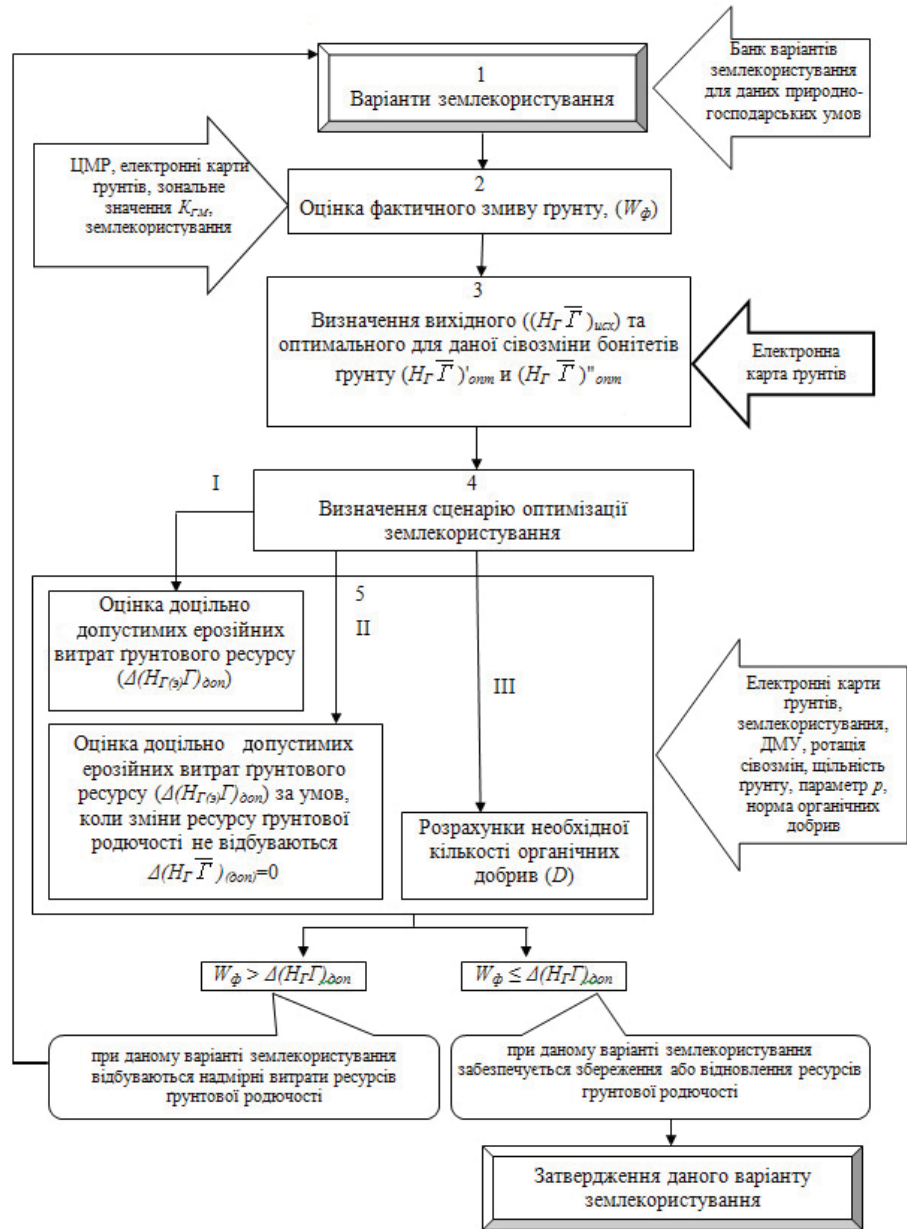


Рис. 3. Блок-схема функціонування просторової моделі раціонального використання земельних ресурсів

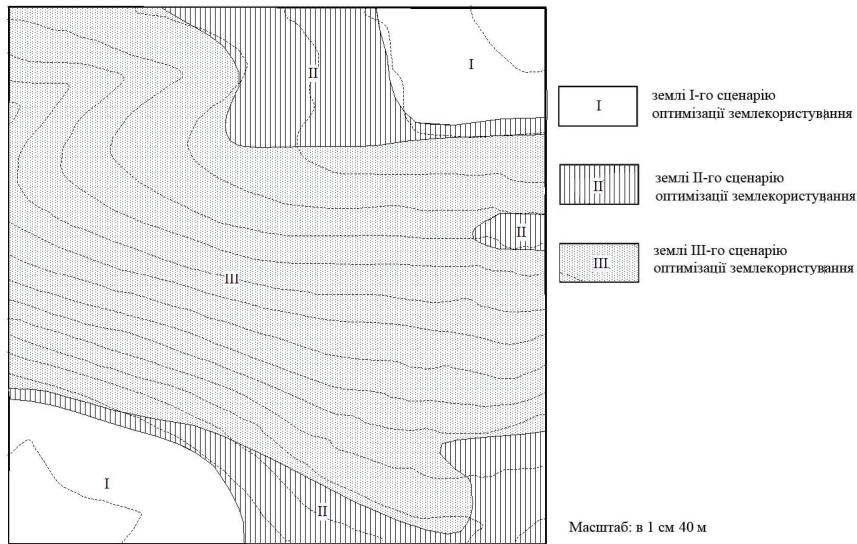


Рис. 4. Сценарії оптимізації землекористування для території ділянки Банівка при впровадженні шестипільної польової сівозміни (варіант №1)

Розрахунки змиву ґрунту при варіантах землекористування №1 та №2 показали досить високі значення втрат ґрунту – вище 10 т/га/рік (рис. 5), особливо у середній частині ділянки.

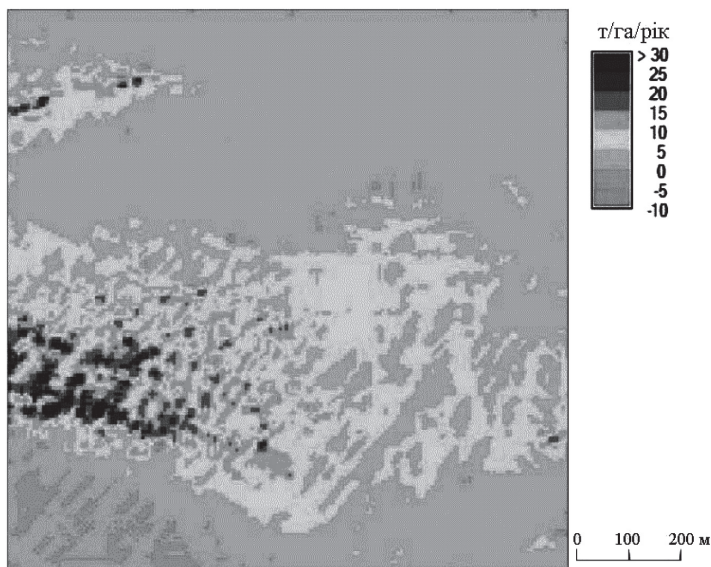


Рис. 5. Розрахований змив ґрунту (варіант землекористування № 1)

Доцільно допустимі втрати ґрунту для земель I-го сценарію оптимізації використання не перевищують 3 т/га/рік. Тобто варіант землекористування №1 не забезпечить збереження ресурсу родючості ґрунту навіть на частинах схилу, де бонітет ґрунту високий і можливе регульоване витрачання ґрунтового ресурсу.

При впровадженні чотирьохпольної ґрунтозахисної сівозміни (варіант землекористування №2) розрахований змив ґрунту дещо зменшується, але його величини по всій площі ділянки лишаються вищими за допустимі втрати ґрунту.

На основі виконаних розрахунків у межах ділянки запропоновано виділити чотири контури за переважаючими величинами розрахованого змиву ґрунту, які розділяються між собою рубежами першого порядку. Виділені контури є окремими полями сівозмін (рис.6).

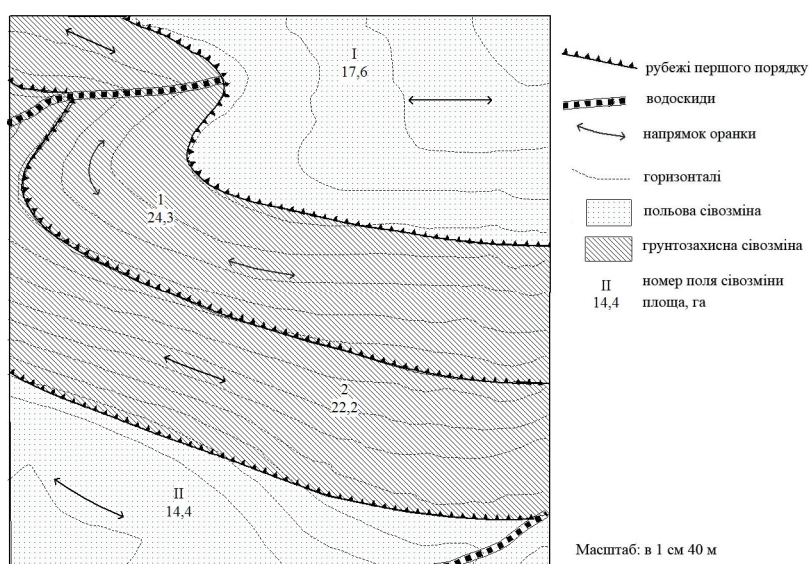


Рис. 6. Схема землекористування на ділянці Банівка при контурній організації території

Після виконання імітаційних експериментів отримано, що найбільш оптимальним варіантом землекористування на дослідній ділянці є контурна організація території із впровадженням різних сівозмін, включаючи залуження території у межах контуру 2 (площею 22,2 га).

## ВИСНОВКИ

Основні рівняння моделі раціонального використання земельних ресурсів ерозійно-небезпечних земель реалізовані у середовищі ГІС-паketу *PCRaster*. У просторовій ГІС-реалізованій моделі врахована внутрішньосхилова мініли-

вість всіх складових частин балансу гумусу, у тому числі вміст гумусу та потужність гумусового горизонту, швидкість формування гумусового горизонту, витрати та надходження гумусу у ґрунт з урожаєм сільськогосподарських культур, водно-ерозійні втрати як основна причина дегуміфікації ґрунтів. ГІС-реалізація моделі дозволяє на основі кількісних імітаційних експериментів в інтерактивному режимі обирати найбільш оптимальний варіант землекористування для ерозійно-небезпечних територій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванова А. В. Методика оцінки просторової мінливості показників урожайності сільськогосподарських культур [Текст] / А. В. Іванова // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ: НАНУ ІГН, 2006. – С. 281-289.
2. Бобра Т. В. Проблема изучения границ в физической географии / Т. В. Бобра // Культура народов Причерноморья. – 1998. – №2. – С. 45-48.
3. Каишанов А. Н. Основы ландшафтно-экологического земледелия [Текст] / А. Н. Каишанов, Ф. Н. Лисецкий, Г. И. Швец – Москва: Высшая школа, 1994. – 126 с.
4. Лисецкий Ф. М. Определение допустимых эрозионных потерь почвы [Текст] / Ф. М. Лисецкий // Земледелие. – 1988. – №4. – С. 62-64.
5. Лисецкий Ф. М. Пространственно-временная организация агроландшафтов [Текст] / Ф. М. Лисецкий – Белгород: Изд-во Белгородского ун-та, 2000. – 304 с.
6. Лисецкий Ф. М. Современные проблемы эрозиоведения [Текст] / Ф. М. Лисецкий, А. А. Светличный, С. Г. Черный – Белгород: «Константа», 2012. – 456 с.
7. Петлін В. М. Закономірності організації ландшафтних фацій / В. М. Петлін – Одеса: Маяк, 1998. – 238 с.
8. Полевой А. Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур [Текст] / А. Н. Полевой // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. – С. 195-205.
9. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем [Текст] / А. М. Польовий. – Одеса: Екологія, 2013. – 432 с.
10. Пяткова А. В. Особенности моделирования водной эрозии с учетом пространственной изменчивости ее факторов [Текст] / А. В. Пяткова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – С. 437-442.
11. Пяткова А. В. Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.11. – Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів [Текст] / А. В. Пяткова – Одеса: ФОП Попова Н. М., 2011. – 20 с.
12. Пяткова А. В. Проблеми кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту [Текст] / А. В. Пяткова // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – Том. 19. – Вип. 4(23). – 2014. – С. 28-37.
13. Светличный А. А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты [Текст] / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швец – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
14. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия [Текст] / Г. П. Сурмач – Волгоград: Панорама, 1992. – 174 с.
15. Технології виробництва основних видів сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс]: Департамент агропромислового розвитку Одеської обласної державної адміністрації – Режим доступу: <http://ark.odessa.gov.ua/tehnolog-virobnictva-osnovnih-vidv-slskogospodarsko-produkc/>.
16. Швец Г. И. Теоретические основы эрозиоведения [Текст] / Г. И. Швец – Киев-Одесса: Выща школа, 1981. – 223 с.
17. PCRaster manual, version 2: [Электронный ресурс] – Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software. – 1998. – 368 p. – Режим доступу: <http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/book1.htm>
18. Tomlin C. D. Geographic Information Systems and Cartographic modeling [Текст] / C. D. Tomlin – New Jersey: Prentice-Hall, inc., 1990. – 230 p.

## REFERENCES

1. Ivanova, A.V. (2006), "Metodyka ocinky prostоровoyi minlyvosti pokaznykiv urozhajnosti sil' s' kogospodars'kyx kul'tur" ["The methods of assessing spatial variability of crop yields"], *The theoretical and applied aspects of Geoinformatics*, [Teoreticheskiye i prikladniye aspekty geoinformatiki], Kyiv, pp.281-289.
2. Bobra T.V. (1998), Problema izucheniya granits v fizicheskoy geografii [The problem of studying boundaries in the physical geography], *Culture of the people of the Black Sea Coast*, No 2, pp. 45-48
3. Kashtanov, A.N., Lysetsky, F.N., Shvebs, H.I. (1994), *Osnovniy landshaftno-ekologicheskogo zemledeliya* [Fundamentals of landscape-ecological agriculture], Moscow: Vysshaya shkola, 126 p.
4. Lysetsky, F.N. (1988), Opredelenie dopustimyykh erozionnykh poter' pochvyi [The determination of possible soil erosive losses], *Agriculture*, No. 4, pp. 62-64.
5. Lysetsky, F.N. (2000), *Prostranstvenno-vremennaya organizatsiya agrolandshaftov* [Spatial and temporal organization of agricultural landscapes], Belgorod: Belgorod University, 304 p.
6. Lysetsky, F.N., Svetlychniy, A.A., Cherny, S.G. (2012), *Sovremennyye problemy eroziovedeniya* [Recent developments in erosion science], Belgorod: Konstanta, 456 p.
7. Petlin, V.M. (1998), *Zakonomirnosti organizatsiyi landshaftny' h facij* [The patterns of organization of landscape facies], Odesa: Majak, 238 p.
8. Polevoy, A.N. (2004), Bazovaya model otsenki agroklimaticheskikh resursov formirovaniya produktivnosti selskohozyaystvennykh kultur, [Base model of estimation of agroclimatic resources of forming of the productivity of agricultural cultures], *The Meteorology, Climatology and Hydrology*, No.48, pp. 195-205.
9. Pol'ov'y, A.M. (2013), *Modelyuvannya gidrometeorologichnogo rezhymu ta produktyvnosti agroekosystem* [The modeling of the hydrometeorological mode and productivity of agricultural ecosystems], Odesa: Ecology, 432 p.
10. Pyatkova, A.V. (2008), Osobennosti modelirovaniya vodnoy eroziyi s ucheto prostranstvennoy izmenchivosty eye faktorov [Features of soil water erosion modeling taking into account spatial changeability of its factors], *The Meteorology, Climatology and Hydrology*, No 50, pp.437-442.
11. P'yatkova, A.V. (2011), Prostorove modelyuvannya vodnoy eroziyi g'runtu yak osnova naukovo obg'runtuvannya racional'nogo vy'kory'stannya erozijno-nebezpechny'h zemel' [The Spatial Modelling of Water Soil Erosion as the Basis of Scientific Justification of the Rational Use of Erosion Dangerous Lands], *Extended abstract of candidate's thesis*, Odesa: Odesa Ecological University, 20 p.
12. P'yatkova, A.V. (2014), Problemy kil'kisnoy ocinky erozijny'h vtrat gruntu [The problems of quantitative assessment of erosion soil loss], *Odesa National University Herald*, No 4(23), pp. 28-37.
13. Svetlychniy, A.A., Cherny, S.G., Shvebs, H.I. (2004), *Erosiovedenie: teoreticheskiye i prikladniye aspekty* [Soil erosion science: theoretical and applied aspects], Sumy: University Book, , 410 p.
14. Surmach, G.P. (1992), *Relefoobrazovanie, formirovanie lesostepi, sovremennaya eroziya i protivoerozionnyie meropriyatiya* [The formation of relief, forming of forest-steppe, modern erosion and ravine measures], Volgograd, 174 p.
15. "The Technologies of production of basic types of agricultural produce: Department of agroindustrial development of the Odesa regional administration", available at: <http://apk.odessa.gov.ua/tehnolog-virobnictva-osnovnih-vidv-slskogospodarsko-produkc/> [Accessed 10 December 2015]
16. Shvebs, H.I. (1981), *Teoreticheskie osnovy eroziovedeniya* [The Theoretical bases of erosion science], Kyiv-Odesa: Vysshaya shkola, 223 p.
17. Tomlin, C.D. (1990), "Geographic Information Systems and Cartographic modeling", Prentice-Hall, inc., New Jersey, 230 p.
18. "PCRaster manual, version 2" (1998), Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software, Utrecht, 368 p., available at: <http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/book1.htm> [Accessed 12 December 2015]

Надійшла 10.12.2015

УДК 631.4:631.459

**Пяткова А.В.**, канд. геогр. наук, доц.  
Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова,  
кафедра физической географии и природопользования,  
пер. Шампанский, 2, Одесса, 65058, Украина  
e-mail: avpyatkova@mail.ru

## СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГИС-РЕАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

### Резюме

Приведена пространственная реализация модели рационального использования земельных ресурсов эрозионно-опасных земель с использованием современных геоинформационных технологий. Приведен пример использования разработанной модели для тестового участка в пределах зоны степи Украины.

**Ключевые слова:** эрозионно-опасные земли, земельные ресурсы, водная эрозия почв, пространственная неоднородность, геоинформационные технологии.

**Pyatkova A.V.**, PhD in Geography  
Dept. Physical geography  
Odessa I. I. Mechnikov National University,  
Shampansky lane, 2, Odessa, 65058, Ukraine  
e-mail: avpyatkova@mail.ru

## THE CREATION OF A SPATIAL GIS-REALIZED MODEL OF RATIONAL LAND RESOURCES USE OF EROSION-DANGEROUS LANDS

### Abstract

**Purpose.** One of the most reasonable mathematical models of rational land use is a logical and mathematical model, which was proposed by H.I. Shvebs.

The factors of the soil system functioning are accepted unchanging within the territory. But all factors of water-erosive process, and also factors of forming of the soil productivity are considerably changeable in the space.

The purpose of this research is the spatial realization in the GIS of model of the rational land use which taking into account the changeability of basic factors of forming of the soil productivity and its losses as a result of water erosion within the hills.

**Data & Methods.** The fixed system of mathematical equalizations of optimization variant of logical and mathematical model of H.I. Shvebs is in basis of spatial realization of model of the rational land use.

The methods of the field survey, statistical processing of the field data and mathematical and geoinformatical modelling are applied for the modelling of spatial changeability

of factors of water erosion and forming of fertility of soils. The method of geoinformational modelling is used for realization of model of the rational land use in GIS *PCRaster*.

**Results.** The spatial model of rational land use consists of a few programmatic modules, which are constituents directed on quantitative calculations of: spatial changeability of actual losses of soil as a result of water erosion, spatial changeability of the productivity of crops, expediently possible losses of soil, amount of organic fertilizers, necessary for maintenance of fertility of soil. The crop yields, which determines the income and expenditure of humus in the soil and soil erosion, which determines the flow rate of the soil resource are presented like the individual modules.

The spatial model of rational land use allows to elect the most optimum variant of land-tenure for relatively small areas on the basis of quantitative imitation experiments in the interactive mode.

**Keywords:** water soil erosion, erosion-dangerous lands, resources of the soil fertility, spatial changeability, geographic information systems.