

П.П. Король, В.У. Волошин, О.В. Рудик
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕРОЗІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗЕМЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АНАМОРФОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

© Король П.П., Волошин В.У., Рудик О.В., 2012

Предложено оригинальный метод построения анаморфированных картографических изображений. Осуществлено апробацию метода для картографического обеспечения мониторинговых исследований эрозионно-опасных земель южных районов Волынской области.

In this article an original method of constructing pseudo cartograms are proposed. A testing of the method for mapping software monitoring studies of erosion-prone lands of southern Volyn region are carried out.

Постановка проблеми. Охорона та відтворення родючості ґрунтів, їх захист від забруднення та деградації є одними із першочергових завдань аграрної політики держави.

Динаміка змін якісних показників ґрунтів засвідчує стійку тенденцію до зниження їх родючості та погіршення загальної екологічної ситуації і вимагає проведення комплексних моніторингових досліджень як на регіональному, так і на загальнонаціональному рівнях. Проведення таких досліджень вимагає опрацювання, проведення аналізу значної за обсягом різнопланової геопросторової інформації та побудови математико-картографічних моделей з метою прийняття ефективних управлінських рішень.

Розвиток наук про Землю, що пов'язані з просторово-часовим аналізом, передбачає не тільки вдосконалення способів зображення географічних об'єктів, явищ і процесів, а й відображення причинно-наслідкових зв'язків з іншими явищами, особливо в тих випадках, коли аналізуються складні системи. При цьому виникає необхідність дослідження просторових варіацій характеристик декількох явищ одночасно. Виконання такого аналізу спрощується, якщо хоча б одна із змінних у просторі характеристик є рівномірно розподіленою, а аналіз інших характеристик, що взаємопов'язані з нею, проводиться на її фоні. З цією метою здійснюється перетворення вихідного картографічного зображення явища у трансформоване (анаморфоване) зображення, в основу якого покладена певна просторово-часова характеристика.

Геоінформаційне тематичне картографування забезпечує просторово-часовий аналіз і моделювання фізико-географічних явищ та процесів, зокрема деградаційних, що пов'язані з водною ерозією ґрунтів.

Розглянуто питання застосування нетрадиційних методів математико-картографічного моделювання моніторингових досліджень сучасного стану ерозійно-небезпечних земель південних районів Волинської області.

Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Починаючи з 1995 р. науковці Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки виконують комплексні регіональні моніторингові дослідження ерозійних процесів у ґрунтах Волинської височини. Це дослідження проводиться в межах держбюджетної теми 0111U002146 “Дослідження сучасного стану та розробка засобами ГІС-технологій і РЕМ-мікроскопії засад раціонального землекористування ерозійно-деградованих земель Волинської височини”.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми. На початку ХХ ст. німецький картограф Г. Віхель запропонував використовувати нетрадиційні картографічні зображення – “картограмами”. Нетрадиційність полягала в тому, що площі адміністративно-територіальних одиниць на цих зображеннях були пропорційними до величини карто-

графованого показника. У подальшому такі нетрадиційні картографічні зображення почали називати анаморфованими картографічними зображеннями або анаморфозами.

Перші спроби аналітичного розв'язання задачі побудови анаморфованих картографічних зображень були здійснені у роботі [3], однак насправді значним поступом на шляху до вирішення цієї проблеми стала праця, що присвячена чисельним методам створення анаморфоз [2].

Чимало методів створення анаморфованих карт запропонували науковці [1, 4–7], однак більшість з них є дуже складними, не мають чіткої комп'ютерної реалізації або містять інші недоліки, що пов'язані із низькою суміжністю областей або значною залежністю від вибору координатних осей.

Виклад основного матеріалу проблеми. Анаморфованим картографічним зображенням (анаморфозою) називають похідне від традиційної карти топологічно-перетворене непросторово-подібне картографічне зображення, утворене під дією трансформації математичної основи, що, своєю чергою, залежить від величини (щільності) картографованого показника. Серед анаморфованих картографічних зображень виділяють лінійні, площинні та об'ємні анаморфози.

Найпоширенішим різновидом таких зображень є площинні анаморфози, що вирівнюють щільність картографованого явища за рахунок зміни площ одиниць територіального поділу початкового картографічного зображення. Водночас важливо, щоб максимально зберігалася взаємне розташування сусідніх територіальних одиниць та їх форма.

У роботі пропонується повністю автоматизований ітераційний аналітичний метод створення анаморфованих картографічних зображень, суть якого полягає в наступному.

Нехай D_0 – початкове картографічне зображення, що представлено множиною територіальних одиниць $\{S_i | i = \overline{1, n}\}$, кожна з яких характеризується постійною щільністю p_i . Вважатимемо, що $p_i > 0, i = \overline{1, n}$. Сімейство $\{S_i | i = \overline{1, n}\}$ задовольняє умови:

$$\bigcup_{i=1}^n S_i = D_0, \quad (1)$$

$$\Delta(S_i \cap S_j) = 0, i \neq j, \quad (2)$$

$$\Delta(S_i) > 0, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де $\Delta(S_i)$ – площа територіальної одиниці S_i .

На кожному кроці ітерації для будь-якої точки $z = (x, y)$ картографованої території, що анаморфується, визначається сумарний вектор зсуву,

$$\vec{v}(x, y) = \sum_{i=1}^n \vec{v}_i, \quad (4)$$

де $\vec{v}_i$ – вектор зсуву, що визначає характер деформації меж i -ї територіальної одиниці. З метою збереження цілісності картографічного зображення, на перших k кроках ітерації, вектор зсуву $\vec{v}_i$ множиться на поправочний коефіцієнт $c_i = 1/(k - i + 1)$. Після цього виконується переобчислення координат точок для зовнішньої та внутрішніх меж кожної територіальної одиниці за формулою

$$z_{нов} = z_{см} + c_i \vec{v}(z_{см}), \quad (5)$$

а тоді визначаються площі трансформованих територіальних одиниць $\Delta(S'_i)$, $i = \overline{1, n}$, нові щільності:

$$p'_i = \frac{p_i \Delta(S_i)}{\Delta(S'_i)}, i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

та обчислюється величина

$$\varepsilon_i = \max_{i=1, n} |p_i - \bar{p}|, \quad (7)$$

що характеризує точність анаморфованого зображення.

Якщо $\varepsilon_j \leq \varepsilon$, (де ε – наперед задана точність, зазвичай, $\varepsilon = 0.01$), то ітеративний процес припиняється на j -му кроці.

Детальніше розглянемо визначення координат сумарного вектора зсуву $\vec{v}(x_o, y_o)$. Для цього початкове картографічне зображення D_0 розіб'ємо на множину дрібних комірок округлої форми площею Δs , в межах яких щільність є постійною і дорівнює p . У результаті трансформації точка $z_o = (x_o, y_o)$ зміститься на вектор $\vec{v}_s$, що напрямлений вздовж вектора $\vec{z}'z_o$, де z' – центр комірки. Довжина вектора $\vec{v}_s$ становить

$$|\vec{v}_s| = \left(\frac{p}{\bar{p}} - 1 \right) \frac{\Delta s}{2\pi r} \quad (8)$$

де r – довжина вектора $\vec{z}'z_o$, $\bar{p}$ – середня щільність.

Отже,

$$\vec{v}_s = \frac{p - \bar{p}}{\bar{p}} \frac{\vec{r}}{2\pi r^2} \Delta s. \quad (9)$$

Підсумуємо (8) за всіма комірками D_0 і перейдемо до границі цієї суми при прямуванні розмірів комірок до нуля. Отримаємо

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \lim_{\substack{\max \Delta s \rightarrow 0 \\ s \in D_0}} \left(\sum_{s \in D_0} \left(\frac{p_s - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \frac{\vec{r}_s}{2\pi r_s^2} \Delta s \right) = \\ &= \int_{D_0} \left(\frac{p - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \frac{\vec{r}}{2\pi r^2} ds \end{aligned} \quad (10)$$

Враховуючи, що для кожної територіальної одиниці S_i щільність є постійною і дорівнює p_i , формулу (9) подамо у вигляді

$$\vec{v} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \int_{S_i} \frac{\vec{r}}{r^2} ds \quad (11)$$

Неважко показати, що

$$\int_{S_i} \frac{\vec{r}}{r^2} ds = - \text{grad} \left[\int_{S_i} \ln \frac{1}{r} ds \right]. \quad (12)$$

Отже,

$$\vec{v}(x_o, y_o) = - \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \text{grad} \left[\int_{S_i} \ln \frac{1}{r} ds \right]. \quad (13)$$

Використовуючи формулу Стокса для інтегрування по площі територіальної одиниці, в цьому випадку, інтегрування можна звести до інтегрування по її границі.

В результаті отримуємо остаточну формулу для обчислення компонент сумарного вектора зсуву $\vec{v}(x_o, y_o)$ точки $z_o = (x_o, y_o)$:

$$\begin{aligned} \vec{v}(x_o, y_o) &= \begin{pmatrix} \vec{v}_x(x_o, y_o) \\ \vec{v}_y(x_o, y_o) \end{pmatrix}^T = \\ &= \begin{pmatrix} -\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \sum_{j=1}^{m_i} \int_{y_{ij}}^{y_{i,j+1}} \ln \sqrt{(x_o - x)^2 + (y_o - y)^2} dy \\ -\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \bar{p}}{\bar{p}} \right) \sum_{j=1}^{m_i} \int_{y_{ij}}^{y_{i,j+1}} \text{arctg} \frac{x_o - x}{y_o - y} dy \end{pmatrix}^T, \end{aligned} \quad (14)$$

де m_i – кількість ланок ламаної межі i -ї територіальної одиниці S_i ; $y_{ij}, y_{i,j+1}$ – ординати кінців j -ї ланки цієї межі; x, y – координати точок, що належать j -й ланці цієї межі, тобто відрізьку прямої, кінці якого мають координати $(x_{ij}, y_{ij}), (x_{i,j+1}, y_{i,j+1})$. Причому

$$(x_{i\ m_i+1}, y_{i\ m_i+1}) = (x_{i\ 1}, y_{i\ 1}),$$

$$x = \frac{x_{i\ j+1} - x_{i\ j}}{y_{i\ j+1} - y_{i\ j}} y + \frac{y_{i\ j+1} x_{i\ j} - y_{i\ j} x_{i\ j+1}}{y_{i\ j+1} - y_{i\ j}}, \quad (15)$$

На основі запропонованого алгоритму нами розроблено програмний модуль побудови анаморфованих картографічних зображень, що може бути інтегрований у середовище геоінформаційної системи ArcGIS фірми ESRI. Сучасний розвиток тематичної картографії, зокрема геоморфологічного картографування, зумовлює необхідність розробки анаморфованих картографічних зображень, що розширює функціональні можливості картографування та забезпечує можливість наочного відображення на них детальної тематичної інформації.

Таблиця 1

Середньорічні та фактичні обсяги змиву ґрунту

№ з/п	Назва адміністративного району	Обсяги змиву ґрунту					
		фактичний, тис.т/рік	середньорічний, тис.м ³ при крутизні схилів, °				
			1-2	2-3	3-5	5-7	7-10
1	Володимир-Волинський	170	3	56	74	48	15
2	Горохівський	504	-	111	186	192	59
3	Іваничівський	126	11	54	43	16	8
4	Ківерцівський	113	1	36	30	52	8
5	Локачинський	269	-	69	108	74	32
6	Луцький	429	-	90	167	173	41

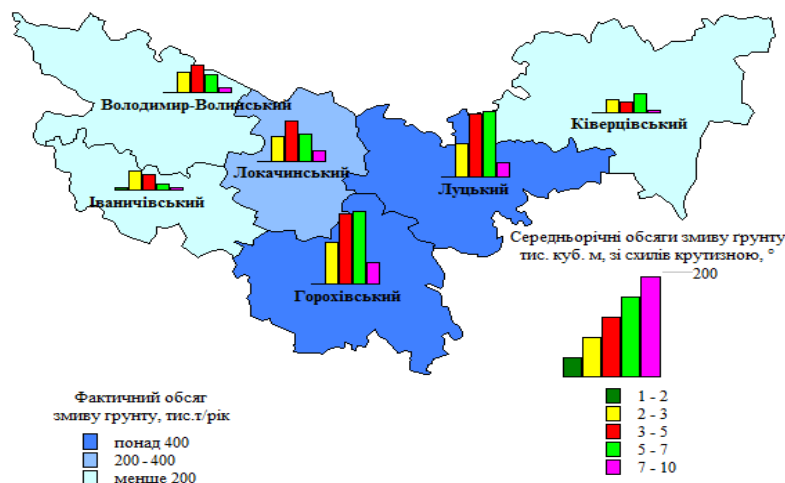


Рис. 1. Середньорічні та фактичні обсяги змиву ґрунту в розрізі адміністративних районів Волинської області

Розглянемо можливості застосування запропонованого алгоритму побудови анаморфованих картографічних зображень для забезпечення сучасних вимог проведення моніторингових досліджень стану ерозійно-небезпечних земель Волинської височини, для яких особливо актуальною є проблема водної ерозії.

Допустимі норми ерозії, тобто втрата ґрунту під час ерозії, здебільшого розраховуються на основі процесу ґрунтоутворення за певний період і можливості компенсації втрат продуктивності за допомогою обґрунтованих нормативів землекористування.

У межах регіональної програми охорони родючості ґрунтів Волинської області “Родючість 2005–2015” проведено комплексні моніторингові дослідження, на основі яких визначені середньорічні та фактичні обсяги змиву ґрунту (табл. 1, рис. 1).

Згідно з програмою водна ерозія особливо поширена в господарствах Володимир-Волинського, Горохівського, Іваничівського, Ківерцівського, Локачинського і Луцького районів.

У районах Волинської височини нараховується близько 136.2 тис. га земель, охоплених площинною ерозією, зокрема слабкозмитих – 87.7 тис. га, середньозмитих – 33.7 тис. га, сильнозмитих – 14.8 тис. га. З 136.2 тис. га еродованих земель на орні припадає 123 тис. га або 90.3 %.

Найбільший модуль змиву спостерігається в Горохівському районі і становить 23 т/га за рік, а об'єм змиву ґрунту – 504 тис. тонн за рік (табл. 2). У Ківерцівському районі модуль змиву становить 22 т/га, Володимир-Волинському і Луцькому 21 т/га, а Іваничівському районі – 17 т/га. За об'ємом змиву картина дещо змінюється. У Луцькому районі він становить 429 тис. т., в Локачинському – 269 тис.т., Володимир-Волинському районі – 170 тис. т. Найменший показник характерний для Іваничівського та Ківерцівського районів – 126 і 113 тис. т. за рік.

Найбільше охоплені ерозією сірі опідзолені, темно-сірі, менше – чорноземи опідзолені, чорноземи малогумусні і слабогумусовані.

За даними фактичних обсягів змиву ґрунту, що наведені у регіональній програмі “Родючість 2005–2015”, побудовано карту-анаморфозу, яка використана як карта-основа для нанесення елементів тематичного навантаження. Як елементи тематичного навантаження використовуються середній фактичний модуль змиву (картограма) та площа еродованих земель (картодіаграма), що подані в розрізі адміністративних районів Волинської області (табл. 2, рис. 2).

Анаморфовані карти можна використовувати як аналітичні (на етапі обґрунтування результатів моніторингових досліджень), так і як карти-висновки (на підсумковому етапі під час отримання показників, що визначають оптимальні управлінські рішення).

Одним з таких показників є обсяги середньорічних втрат гумусу в ґрунтах продуктивних земель. На основі аналізу обсягів середньорічних втрат гумусу визначені оптимальні заходи щодо відтворення гумусового горизонту шляхом внесення органічних добрив, гуміфікації рослинних решток та органіки (табл. 3).

Таблиця 2

Площі еродованих земель

№ з/п	Назва адміністративного району	Площі еродованих земель, тис. га			Середній фактичний модуль змиву, т/га
		загальна	зокрема дією водної ерозії	зокрема ріллі	
1	Володимир-Волинський	19,88	12,5	10,0	21
2	Горохівський	46,01	31,2	25,9	23
3	Іваничівський	14,11	9,2	8,1	17
4	Ківерцівський	16,49	7,5	6,1	22
5	Локачинський	23,93	17,2	14,5	20
6	Луцький	33,48	26,6	23,7	21

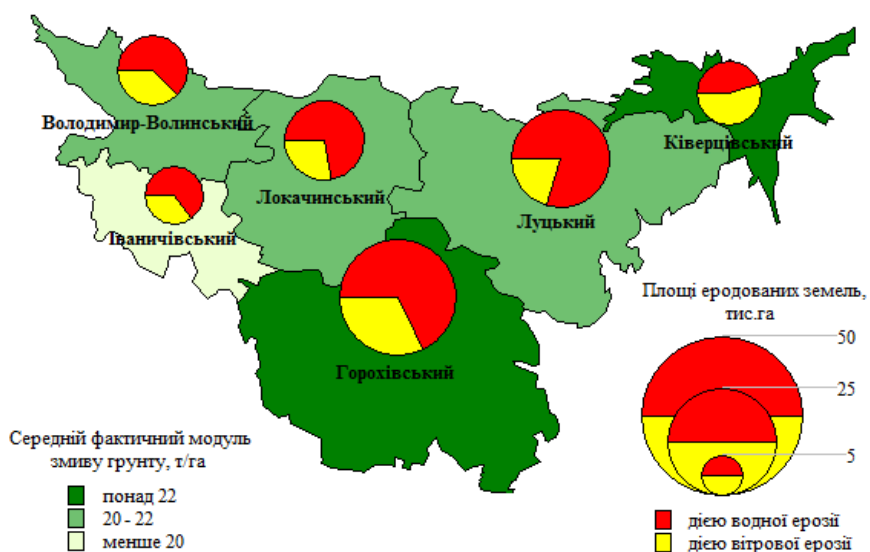


Рис. 2. Анаморфована карта фактичних обсягів змиву ґрунту в розрізі адміністративних районів Волинської області

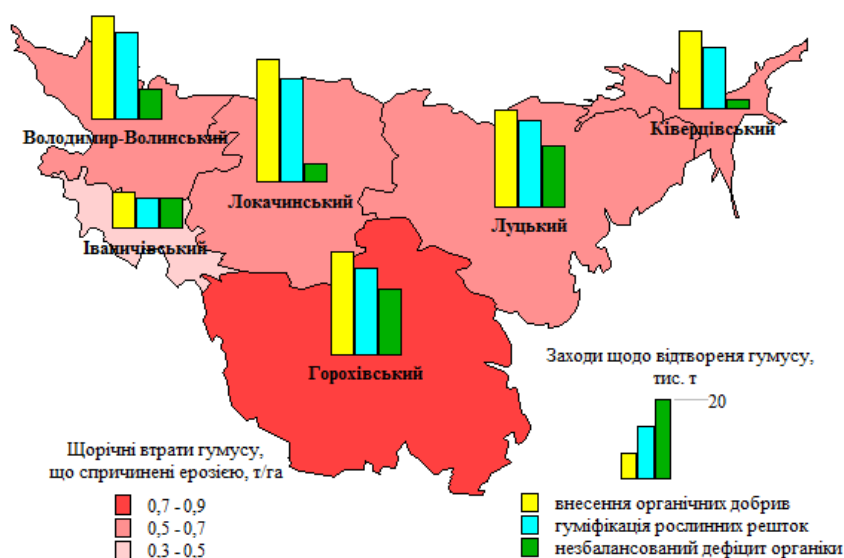


Рис. 3. Анаморфована карта щорічних втрат гумусу в ґрунтах продуктивних земель у розрізі адміністративних районів Волинської області

Розрахунки балансу гумусу, які провели у Волинському обласному центрі охорони родючості ґрунтів і якості продукції "Облдержродючість", показують, що за останні роки простежується значне його падіння (-0,4–0,5 ц/га). Сьогодні напрацьовані технології, норми та способи внесення органічних добрив під провідні сільськогосподарські культури.

Таблиця 3

Заходи щодо відтворення гумусу в ґрунтах продуктивних земель

№ з/п	Назва адміністративного району	Щорічні втрати гумусу спричинені ерозією		Заходи щодо відтворення гумусу, тис. т		
		т/га	тис. т	внесення органічних добрив	гуміфікація рослинних решток	незбалансований дефіцит органіки
1	Володимир-Волинський	0,6	5	20	17	6
2	Горохівський	0,7	15	20	17	13
3	Іваничівський	0,3	2	7	6	6
4	Ківерцівський	0,5	2	15	12	2
5	Локачинський	0,6	8	24	20	4
6	Луцький	0,6	12	19	17	12

На основі опрацювання даних моніторингових досліджень Волинського обласного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції "Облдержродючість" за абсолютними показниками створено анаморфовану карту щорічних втрат гумусу в ґрунтах продуктивних земель південних районів Волинської області (рис. 3), тематичне навантаження якої становлять щорічні втрати гумусу на одиницю площі (картограма) та обсяги заходів щодо відтворення гумусу (картодіаграма).

Висновки. На основі програмної реалізації математичного апарату побудови анаморфованих картографічних зображень в ГІС підтверджено доцільність та ефективність їх застосування для забезпечення моніторингових досліджень ерозійно-небезпечних земель південних районів Волинської області.

1. Бугаевский Л.М. Математическая картография: Учебник для вузов. – М., 1998. – 400 с.
2. Гусейн-Заде С.М., Тикунов В.С. Численные методы создания анаморфированных картографических изображений // Геодезия и картография. 1990. № 1. – С. 38–44.
3. Петров П.В., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Аналитический способ создания анаморфированных картографических изображений // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 2. – С. 56–63.
4. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
5. Gastner M.T., Newman M.E.J. Diffusion – based method for producing density equalizing maps // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, № 101. – 2004. – P.7499–7504.
6. Tobler W.R. Pseudo – Cartograms // The American Cartographer. – 1986. 13. № 1. – P. 43–50.
7. White M.S., Griffin P. Piecewise linear rubber – sheet map transformation / The American Cartographer. – 1985. – № 2. – P. 121–131.