

УДК 528.946
В.М.,

д.т.н., професор Мельник

lucaviy@ukr.net, ORCID: 0000-0002-8466-8205,
Мендель В.П., mendel-vadim@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2914-7490,
Муляр Н.В., nazarblack93@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6047-8231,
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк

КАРТОГРАФІЧНА ОЦІНКА ЕРОЗІЙНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ ВОЛИНСЬКОГО ОПІЛЛЯ МЕТОДОМ НЕЙРОМЕРЕЖ

Виконано аналіз наукового напрямку та запропоновано використання нейромережевого підходу при дослідженні ерозійних процесів на регіональному рівні. Запропоновано використовувати карти Кохонена для простеження просторового розподілу показників деградації ґрунтового покриву. Встановлені особливості розвитку водної ерозії в межах Волинського Опілля.

Ключові слова: нейромережі, водна ерозія, карти Кохонена, кластери, регіональні ядра.

Проблеми ефективного управління територіями різного призначення обумовлює науково-практичні дослідження в області інформаційного забезпечення. В цьому плані важливим і актуальними є спроби розробки новітніх технологій і методів. До числа останніх відносяться нейромережеві методи і адаптовані принципи їх застосування. Їх реалізація дозволяє отримувати коректну топографо-геодезичну, картографічну, ґрунтознавчу, зокрема, ерозієзнавчу інформацію. Подібним чином отримані геоінформаційні дані дозволяють створювати графічні, текстові та електронні документи.

Актуальними є розробка математичного та програмного обґрунтування, а також оптимізація графічної інтерпретації результатів застосування пропонуванних методів.

Мета статті – дослідження практичного застосування нейромережевого методу в ерозієзнавстві.

Методологічні принципи застосування в ерозієзнавстві нейромереж.

Процес змиву ґрунтів включає багато чинників, які в тій чи іншій мірі впливають на інтенсивність ерозії. Оперативність впровадження захисних заходів в багатьох випадках залежить від можливості прогнозування досліджуваного явища. Сучасні засоби ГІС пропонують широкі можливості обліку та інтерпретації порушень [1], в тому числі, і ерозійно небезпечних земель [2]. Проте у випадку з ерозійними процесами виникає потреба в отриманні даних, які показують тенденції

до розвитку деструктивних процесів – прогнозування. Вирішення такого завдання можливе за допомогою нейромережевого підходу.

Новітніми у просторовому прогнозуванні явищ і процесів як на регіональному так і на локальному рівнях є *нейромережеві методи (НММ)*. Вони за змістом подібні до методу множинної регресії: дозволяють прогнозувати одні показники залежно від значень інших, а також значення окремих показників у майбутньому залежно від їх попередніх значень (з урахуванням певного часового періоду). Проте специфікою нейромережевого підходу є використання вхідних даних прикладів, що виступають основою для „навчання” нейромережі [3]. Викладені в роботі положення не претендують на оригінальність та новітність методико-технічних прийомів побудови нейромереж, а базуються на відомих методиках [4; 5; 6]. Проте використання НММ у вітчизняній практиці ерозіознавства невідома дотепер.

Основний принцип нейромережевих методів базується на подібності з дією нейронів у людини. Нейрон має відростки нервів (дендритів) двох типів: декілька дендритів, які приймають вхідні імпульси (x_i) та один, який передає вихідні імпульси - аксон (y). Аксон контактує з дендритами сусідніх нейронів через спеціальні утворення - синапси, що впливають на силу імпульсу. Після кожного проходження імпульсу через синапс значення змінюється у певну кількість разів (ваговий коефіцієнт, w_i - внесок нейрона у остаточний результат). У випадку коли імпульси, які одночасно надходять до нейрона по декількох дендритах, відбувається сумування їх значень. Коли сумарний імпульс більший за встановлене порогове значення відбувається збудження нейрона. Завдяки цьому формується вихідний імпульс з даного нейрона, який передається аксонами далі, до інших нейронів. Аналогічний принцип дії штучних нейромереж: дозволяють визначити значення вихідного сигналу за відомою сумою вхідних з врахуванням вагових коефіцієнтів:

$$y = f(S) = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i\right) \quad (1)$$

Приклад нейромережі виконаної як тестової для моделювання характеристик ерозійно-небезпечних властивостей ґрунтів представлена на рис. 1.

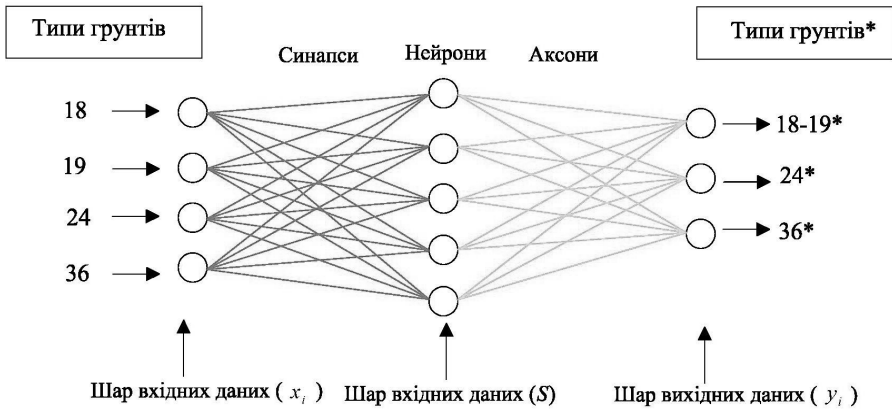


Рис. 1. Архітектура нейромережі з контрольованим навчанням на прикладі типових ґрунтів Волинського Опілля (18 – темно-сірі опідзолені слабо змиті ґрунти з плямами середньо змитих 10-30%; 19 – темно-сірі опідзолені слабо змиті ґрунти з плямами середньо змитих 30-50%; 24 – чорноземи опідзолені з плямами середньо змитих 30-50%; 36 – намиті опідзолені неоглесні і глеюваті ґрунти; 18-19¹ - характеристики ґрунтів після обробки)

Головна перевага НММ - відсутність строгої математичної моделі. Це особливо важливе в ході виконання аналізу процесів, яким можна надати відповідної конкретної математичної формалізації (у тому числі ерозійні процеси на різних рівнях його вивчень).

У загальному вигляді алгоритм функціонування нейромереж даного типу наступний. По суті, цей алгоритм зворотного розподілу похибок є узагальненим алгоритмом найменших квадратів і використовується для пошуку таких значень синаптичних ваг, які мінімізують середньоквадратичне відхилення між виходом нейронної мережі і відомим цільовим результатом. Схеми алгоритму показана на рисунку 1. Вхід кожного елемента прихованого шару розраховується шляхом сумування добутків вихідних навчальних даних на відповідні ваги згідно наступної формули:

$$\lambda N_1 = \sum_i x_i W_{is} \quad (2)$$

Тут x_i – вектор вихідних даних для i -го елемента вхідного шару, W_{is} – матриця ваг, індекс означає елемент вхідного шару, а індекс s – елемент

* Таке об'єднання відбулось за рахунок групування певних характеристик, які знаходяться у фіксованому діапазоні. На практиці такий підхід реалізується при побудові карт Кохонена.

прихованого шару. Значення, які розраховані за формулою (2), використовуються для обчислення функції активізації, яка після перемноження на матрицю W_{is} дає результуючі значення елементів вихідного шару. Варто відмітити, що точність обробки може суттєво залежати від виду функції активізації [5]. В сучасній практиці широко використовують сигмоїдальну функцію, яка записується як

$$R_s = 1 / [1 + \exp^{-\lambda N_s}] \quad (3)$$

Тут R_s – вихід s -го елемента прихованого шару, а λ – параметр, який визначає зв'язок між елементами прихованого і зовнішнього шарів. Всі виходи елементів прихованого шару множаться на ваги і сумуються. В результаті вихід мережі для j -го елемента визначаються як:

$$R_j = R_s W_{sj} \quad (4)$$

де R_j – вихід мережі для j -го елемента (тобто як клас об'єкта), а W_{sj} – вага синаптичного зв'язку між елементом прихованого шару і елементом вихідного шару.

Для кореляції ваг використовується інтерполяційна процедура, яка полягає в мінімізації похибок мережі, що визначається наступним чином:

$$E = 0.5 \sum_{j=1}^c (T_j - R_j)^2 \quad (5)$$

Тут T_j – цільовий вектор, R_j – вихід мережі, а c – кількість класів. Цільовий вектор визначається приналежністю пікселів вихідної вибірки до різних класів (номери класів представлені в двійковій формі).

Отримані значення похибок мережі порівнюються із заданим пороговим значенням E_L , яке зазвичай становлять 0,001. Якщо $E < E_L$, процес інтерполяції припиняється, в іншому випадку значення E передається елементам прихованого і вхідного шарів. Для налаштування ваг необхідно декілька ітерацій, число яких залежить від набору даних.

На сьогодні є ряд програмних продуктів, якими реалізується обчислення нейромереж: MATLAB, Deductor Studio Academic, SoMine, STATISTICA та ін.

Картографічні аспекти застосування в ерозієзнавстві карт Кохонена.

В ерозієзнавстві доцільно застосовувати принципи нейромереж з побудовою карт Кохонена [7]. Такі карти є важливим інформаційним джерелом в ерозієзнавчих дослідженнях. На їх основі можна виконувати коректну багатовимірну

кластеризацію стану території, зокрема, розвитку ерозійних процесів. Побудова карт Кохонена вимагає упорядкування структури відповідних нейронів у формі гексагональної або прямокутної конфігурації мережі. Вибір конфігурації залежить від необхідної швидкості та точності обчислень: прямокутна мережа дозволяє отримати вищу швидкість навчання, а шестикутна - вищий показник відповідності розрахункових відстаней евклідовим). В наших дослідженнях використана методика, яка розроблена проф. Мезенцевим К.В.

Іншим важливим показником є визначення оптимальної кількості кластерів. Відповідно кластер - це певна група нейронів карти Кохонена. Відстані між нейронами в межах групи набагато менші, ніж аналогічні відстані до нейронів сусідніх груп. Нейромережа автоматично визначає кількість кластерів, про те це можна задати і задалегіть.

Для візуалізації отриманих результатів створюються двовимірні карти самоорганізації. При цьому комірки розфарбовуються різними кольорами відповідно для ідентифікації їх до певного кластеру. Деякі комірки можуть бути без кольору, а отже пустими. Значення комірок, які є подібними розташовуються на карті поряд. За статистичною інформацією встановлюється номер гексагональної комірки карти, номер кластерів до яких входять відповідні комірки та відстані до центру комірки. В результаті створюються карти самоорганізації у розрізі досліджуваних параметрів. Певний набір побудованих карт формує відповідний атлас, який і є основою для встановлення зв'язків між основними показниками за якими досліджується природна система [8; 9].

Апробацію методики побудови карт самоорганізації було проведено у розрізі 132 сільських рад шести адміністративних районів півдня Волинської області (Волинського Опілля) в програмному продукті Deductor 4. В основу покладено два основних показники - середньорічні об'єми змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни в період з 1995-2010 років (рис. 2).

Зважаючи на обмеження кількості прикладів, передбачене програмою Deductor Lite, усі територіальні одиниці було об'єднано у п'ять груп. Основні параметри для навчання нейромережі та побудови карт самоорганізації визначено такими:

- конфігурація мережі - двовимірна із шестикутними комірками;
- кількість нейронів - 192 (16 на 12 комірок);
- навчаюча множина охоплювала 95% прикладів, тестова - 5%;
- ініціалізація вагових коефіцієнтів нейронів здійснювалася випадковими значеннями;
- кількість епох - 500, кожні 20 епох порядок прикладів змінювався;
- швидкість навчання на початку - 0,3, у кінці - 0,005; радіус

навчання - на початку 4, у кінці навчання - 0,1 (тобто спочатку коригуються ваги 40 сусідніх нейронів, у кінці - один); функція сусідства - із постійною константою (зважаючи на порівняно незначну кількість нейронів).

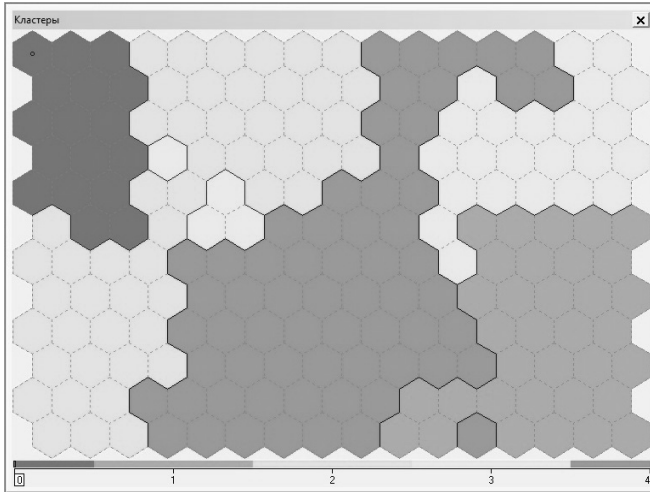


Рис. 2. Інтерпретація території сільських та селищних рад території Волинського Опілля картами самоорганізації Кохонена в період з 1995-2010 років за показниками середньорічних об'ємів змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни, тис.м³.

Визначення оптимальної для цілей дослідження кількості кластерів здійснювалося як автоматично (на першій стадії), так і вручну (для уточнення результатів). Найчастіше виділялося від 3 до 7 кластерів. Експертним шляхом визначено оптимальну їх кількість - 5. Кластеризація проводилася за показниками щорічних абсолютних приростів. У всіх випадках частка розпізнаних прикладів становила 100% (помилка не перевищує 0,05).

Побудовані у результаті дослідження карти самоорганізації представлені на рис. 2. На їх основі ідентифіковано п'ять типів сільських та селищних рад у межах досліджуваної території за динамікою середньорічних об'ємів змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни за період 1995-2010 років.

За даними типізації сільських та селищних рад півдня Волині побудовані відповідні картографічні моделі, які представлені на рис. 3.

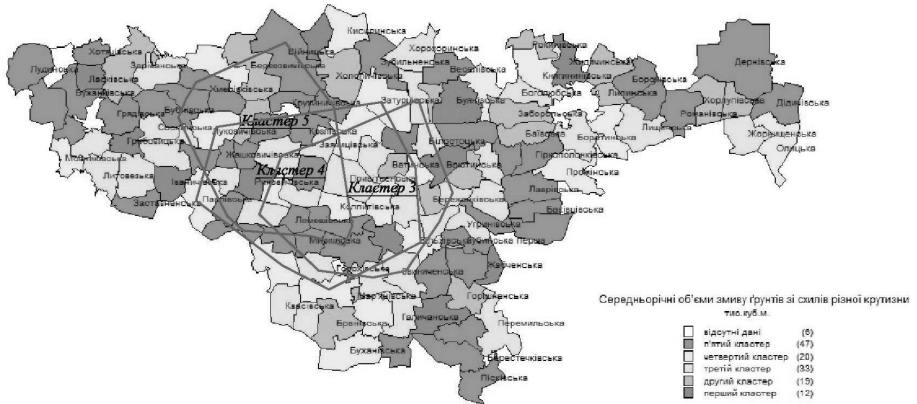


Рис. 3. Класичне представлення кластеризації картами самоорганізації сільських та селищних рад за середньорічними об'ємами змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни.

Відповідно за картографічною моделлю за показниками середньорічних об'ємів змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни встановлені наступні локалізації кластерів: кластер 5 (північно-західна територія області – Володимир-Волинський і Локачинський р-ни), кластер 4 (територія південно-західної частини Волинської області – Іваничівський та Локачинський р-ни), кластер 3 (центр Волинського Опілля – Горохівський, Іваничівський, Локачинський та Луцький р-ни); регіональні ядра: кластери 5 (Крушиничівська сільська рада Локачинського р-ну), 4 Риковичівська сільська рада Іваничівського р-ну), 3 (Привітненська сільська рада Локачинського р-ну).

Дана стадія розвитку змивного процесу шляхом зростання середньорічних об'ємів змиву ґрунтів зі схилів різної крутизни на території досліджуваних сільських рад за межами багатокутників розташувались периферійні території: кластер 5 – Дернівська сільська рада Ківерцівського р-ну та Заставненська Іваничівського р-ну, кластер 4 – Олицька сільська рада Ківерцівського р-ну та Олицька сільська рада Ківерцівського р-ну, кластер 3 Жорнищенська сільська рада Ківерцівського р-ну. Це говорить про незначну кількість периферійних територій, а концентрація в межах 5 кластеру дослідженого кластеру демонструє поширеність процесу ерозії на всій території не залежно від складності морфометрії в межах природних різних прородно-географічних районів Волинської височини.

На основі отриманих даних можна виділити декілька основних стратегічних напрямки розроблення регіональних програм захисту ґрунтів від ерозії:

- дотримання вимог еколого-економічного запровадження сівозмін на

територіях, що входять в багатокутники кластерів 2-5;

- концентрація досліджень морфолого-морфометричних характеристик рельєфу в межах територій, які входять до кластерів 3-5**.

Висновки. Запропоновано здійснювати вивчення площинної ерозії ґрунтів шляхом аналізу статистичних даних змиву (1995-2010 р.) використовуючи нейромережвий підхід. В результаті кластерного аналізу була виконана побудова картографічного відображення ерозійного стану земель Волинського Опілля із застосуванням карт самоорганізації Кохонена. Виконане картографічне відтворення процесу змиву (площі, темпи змиву) є вдалою наочною інтерпретацією та становить оперативно-ефективну нетрадиційну модель вивчень ерозійно-небезпечних територій. Подальші дослідження будуть спрямовані на прогнозування тенденцій розвитку ерозійних процесів з використанням нейромереж.

Список використаних джерел:

1. Маланчук М.С. Кадастрова інвентаризація земель, порушених промисловими розробками родовищ сірки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.24.04 – кадастр та моніторинг земель. Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Л. – 2013. – 18 с.
2. Процик М.Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів: автореф. дисертації канд. техн. наук / М.Т. Процик. – Львів, 2012. – 26 с.
3. Мірошиченко І.В. Модель оцінювання інвестиційного потенціалу країни / І. В. Мірошниченко // Інвестиції: практика та досвід. – 2016. – № 7. – С. 81-85.
4. Интеллектуальные методы анализа экономической информации: практикум в Deductor. – BaseGroup Labs, 2005 (www.basegroup.ru).
5. Kohonen T. Self-Organizing Maps. – Springer, 1997.
6. Thill J.-C. Detecting Geographic Associations in English Dialect Features in North America within a Visual Data Mining Environment Integrating Self-Organizing Maps / J.-C. Thill, W.A. Kretzschmar, I. Casas, X.Yao // SelfOrganizing Maps: Applications in Geographic Information Science / Ed. By P. Agarwal, A. Skupin. – Wiley, 2005.
7. Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку / К.В. Мезенцев. – К.: ВПЦ „Київський університет”, 2005. – 253 с.
8. Питенко А.А. Нейросетевой анализ в ГИС. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Красноярск, 2000. – 27 с.
9. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере. / А.Н. Горбань, Д.А. Россиев. – Новосибирск, 1996. – 278 с.

Д.т.н., професор Мельник В.М., Мендель В.П., Муляр Н.В.,
 Восточноєвропейський національний університет імені Леси Українки, г.
 Луцьк

** Це особливо цікаво, оскільки в межах перетину кластерів 3,4,5 проходить умовна лінія поділу Волинської височини на Надбужький та Луцько-Рівненський фізико-географічні райони

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВОЛЫНСКОЙ ОПОЛЯ МЕТОДОМ НЕЙРОСЕТИ

Выполнен анализ научного направления и предложено использование нейросетевого подхода при исследовании эрозионных процессов на региональном уровне. Предложено использовать карты Кохонена для прослеживания пространственного распределения показателей деградации почвенного покрова. Установлены особенности развития водной эрозии в пределах Волынского Ополья.

Ключевые слова: нейросети, водная эрозия, карты Кохонена, кластеры, региональные ядра.

D.t.s., Professor Melnyk V.M., Mendel V.P., Postgrad. Mulyar N.V.,
Lesya Ukrainka Eastern European National University

CARTOGRAPHIC ASSESSMENT OF THE EROSIIVE STATE OF THE VOLYN REGION BY THE NEURAL NETWORKS METHOD

The analysis of scientific information is carried out and the use of the neural network approach in terms of the erosive processes at the regional level is offered. It is suggested to use the Kohonen maps to trace the spatial distribution of land degradation indicators. The peculiarities of water erosion development in the territory of the Volyn region are established.

Key words: neural networks, water erosion, Kohonen maps, clusters, regional nuclei.