

В.Г. Красиленко<sup>1</sup>, Р.О. Яцковська<sup>2</sup>, В.І. Яцковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Вінницький соціально-економічний інститут Університету «Україна», Вінниця

<sup>2</sup> Вінницький національний аграрний університет, Вінниця

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ФРАГМЕНТІВ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИ ЇХ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ

*Запропоновані модифікації еквівалентнісних моделей розпізнавання зображень, узагальнені на випадок великорозмірних кольорових та багато-спектральних зображень, що дозволяють проводити селекцію фрагментів зображень за їх кольоровими чи спектральними ознаками та виконувати їх класифікацію. Виконано моделювання цих моделей у програмному середовищі Mathcad, та наведено результати моделювання, що підтверджують адекватність алгоритмів та моделей, їх добру збіжність та якість і можливість їх застосування для селекції та групування окремих фрагментів земельних ділянок за їх ознаками при дистанційному аеро-агро-моніторингу.*

**Ключові слова:** розпізнавання зображень, кластеризація фрагментів зображень, еквівалентнісна просторово-інваріантна модель, просторова еквівалентнісна нелінійна функція, дистанційний аеро-агро-моніторинг.

### Вступ

Для багатьох галузей та сфер все більш актуальним завданням стає аналіз багатоспектральних чи гіперспектральних зображень різних природних явищ та процесів при спостереженні за ними з супутників, літаків, безпілотних апаратів, тощо та кореляційно-екстремальна координатна прив'язка в системах навігації, дистанційного моніторингу для кадастрових робіт, геодезичних та агрономічних потреб [1–3]. За кордоном, особливо в останнє десятиріччя, дуже активно ведуться дослідження в цих напрямках, про що свідчать і створення спеціалізованих періодичних фахових видань, журналів, спеціальних тематичних випусків у них та широкий спектр публікацій, в тому числі і для вирішення завдань аеро-агро-моніторингу [4–13].

Важливою та основною складовою такого аналізу є обробка та розпізнавання цифрових зображень, вибір та виділення фрагментів, що становлять певний інтерес для спостерігачів, виділення характерних особливостей та текстурно-топологічних чи спектральних ознак [4–20].

Відомі деякі роботи [16–18], в яких на основі еквівалентнісної парадигми, узагальнених підходів до просторово-інваріантних розпізнавань [18], біо-інспірованих нейроасоціативних методів обробки зображень [21] та еквівалентнісних моделей частково розглядалися подібні питання, наприклад, в [16–17] розглядалися аспекти застосування еквівалентнісних функцій та моделей на їх основі для розпізнавання текстурно-топологічних ознак чорнобілих зображень та кластеризації фрагментів зображень, а в [16–19; 22–23] було розглянуто виділення контурів, ліній з різним кутом нахилу, різної товщи-

ни, просторово дискретних мікрозображень, подібних до різних геометричних фігур, тощо. Базовою моделлю вищеперерахованих робіт були еквівалентнісні моделі, описані більш детально в роботах [19–20], а в роботах [18–21] також було показано що вони можуть бути широко застосованими, як для аналізу та розпізнавання зображень, так для побудови нейронних моделей, структур, асоціативної і гетероасоціативної пам'яті.

Частково питання кластеризації фрагментів зображень розглядалися в роботах [22–23], але в них не розглядалися аспекти кластеризації фрагментів кольорових зображень саме за їх кольоровими чи спектральними ознаками. В той же час саме багатоспектральні чи гіперспектральні зображення дозволяють отримати з них більше корисної інформації [1–3; 10–13].

Особливістю аеро-гео-моніторингу є те, що його необхідно проводити періодично, та визначати зміни спектральних ознак, оскільки саме вони часто несуть в собі потрібну для дослідника чи експериментатора корисну інформацію про схожість сільськогосподарських культур, їх дозрівання, стан забур'янення, ушкодження посівів хворобами, шкідниками тощо. Тому, в даній роботі ми акцентуємо увагу і ставимо за мету адаптувати відомі еквівалентнісні моделі та методи розпізнавання образів на їх основі для випадку селекції фрагментів кольорових зображень в залежності від їх спектральних та частково текстурних ознак.

### Викладення основного матеріалу

Запропонована нами модифікація відомих методів для розпізнавання фрагментів кольорових зо-

бражень саме за їх спектральними ознаками, коротко кажучи, за кольором, полягає в тому, що для визначення міри близькості між вибраним в якості еталона фрагментом та всіма іншими можливими фрагментами аналізованого зображення використо-

вується усереднена по всіх спектральних каналах просторова нормована еквівалентнісна (нееквівалентнісна) функція [18; 20]. Наприклад, нееквівалентнісна функція для визначення несхожості фрагментів, що порівнюються, буде мати вигляд:

$$NE\_R_{k,l} := \frac{1}{3} \sum_s \text{mean}(\text{submatrix}(R_s, k, k+lx-1, l+ly-1) - C\_R_s), \quad (1)$$

де  $R_s$  – це відповідно R,G,B ( $s \in r, g, b$ ) спектральні складові аналізованого зображення;

$C\_R_s$  – відповідно R,G,B спектральні складові вибраного експериментатором еталонного фрагменту з відповідною розмірністю  $lx \times ly$  елементів;

$\text{submatrix}(R_s, k, k+lx-1, l+ly-1)$  – вибраний  $k, l$ -й фрагмент аналізованого зображення при просторовому зміщенні, а  $NE\_R_{k,l}$  – відповідний  $k, l$ -й елемент просторової нормованої нееквівалентнісної функції.

Для знаходження міри близькості чи схожості використовується доповнювальна дуальна еквівалентнісна функція, що визначається наступним чином:

$$E\_R := RD - NE\_R, \quad (2)$$

де  $RD$  – матриця, всі елементи якої мають значення 255, її нормоване значення:

$$E_n\_R := \frac{E\_R}{255}, \quad (3)$$

чи адаптивно-скоригована коефіцієнтом  $\alpha$  нелінійності її нелінійна нормована еквівалентнісна функція (ННЕФ) після еквалізації:

$$EN\_R_{k,l} := 0.5 \left[ 1 + (2 \cdot E_n\_R_{k,l} - 1)^\alpha \right] \cdot 255. \quad (4)$$

Коефіцієнт  $\alpha \in 1, 3, 5, \dots$ . При збільшенні коефіцієнту перевага надається більш співпадаючим фрагментам.

Після бінаризації ННЕФ відповідним пороговим значенням  $\text{thr}$  визначаються функції  $EN\_RT_{k,l} := \Phi(EN\_R_{k,l} - \text{thr}) \cdot EN\_R_{k,l}$  або  $EN\_RTD_{k,l} := \Phi(EN\_R_{k,l} - \text{thr}) \cdot 1$ , які відрізняються лише тим, що в першому випадку всі пік селі, які менші за порогове значення, обнуляються, а інші залишаються зі своїми значеннями, а в другому випадку – ті, які перевищують поріг, прирівнюються до значення «1», що після відповідної еквалізації відповідає значенню «255».

Для проведення експериментів нами вибрано кольорове зображення за допомогою пакету MathCad вводилося у програмний модуль, його матриця зображення записувалася як матриця  $A$ :  $A := \text{submatrix}(Im, 0, \text{rows}(Im) - 1)$ , автоматично ви-

значалися індекси елементів з урахуванням розмірності, тобто кількості рядків та стовбців:  $i := 0.. \text{rows}(Im) - 1$ ,  $j := 0.. \frac{\text{cols}(Im)}{3} - 1$ , виділялися відповідні спектральні складові:

$$R := \text{submatrix} \left( Im, 0, \text{rows}(Im) - 1, 0, \frac{\text{cols}(Im)}{3} - 1 \right), \quad (5)$$

$$G := \text{submatrix} \left( \begin{array}{c} Im, 0, \text{rows}(Im) - 1, \\ \frac{\text{cols}(Im)}{3}, \frac{\text{cols}(Im) \cdot 2}{3} - 1 \end{array} \right), \quad (6)$$

$$B := \text{submatrix} \left( \begin{array}{c} Im, 0, \text{rows}(Im) - 1, \\ \frac{\text{cols}(Im)}{3}, \frac{\text{cols}(Im) \cdot 3}{3} - 1 \end{array} \right) \quad (7)$$

та їх доповнення:

$$RN_{i,j} := 255 - R_{i,j}$$

$$GN_{i,j} := 255 - G_{i,j}$$

$$BN_{i,j} := 255 - B_{i,j}.$$

Для вибору підходящого еталону експериментатор, підводячи курсор до пікселя фрагмента, що його зацікавив, автоматично визначає початкові координати  $io, jo$ , розміри  $lx, ly$  еталонного фрагменту та формує відповідні його спектральні складові:

$$C\_R := \text{submatrix}(R, io, io+lx-1, jo, jo+ly-1), \quad (8)$$

$$C\_G := \text{submatrix}(G, io, io+lx-1, jo, jo+ly-1), \quad (9)$$

$$C\_B := \text{submatrix}(B, io, io+lx-1, jo, jo+ly-1). \quad (10)$$

Для кожного такого вибраного фрагменту, наприклад для фрагменту з координатами та розмірністю  $io := 234$ ,  $jo := 415$ ,  $lx := 5$ ,  $ly := 5$  визначаються розмірності та індекси  $(k, l)$  по одній та другій координатах ННЕФ:  $k := 0.. \text{rows}(R) - lx$ ,  $l := 0.. \text{cols}(R) - ly$ . Використовуючи формулу:  $\text{mean}(EN\_RTD) \cdot \text{rows}(EN\_RTD) \cdot \text{cols}(EN\_RTD)$ , можна визначати площу виділеного фрагменту в пікселях.

## Результати модельних експериментів

Для перевірки запропонованих модифікацій еквівалентнісних моделей, що були спеціально адаптовані для вирішення вищезначеного завдання, а

саме для селекції і вибору фрагментів зображень за їх кольоровими ознаками нами було проведено низку модельних експериментів результати яких наведені нижче.

На рис. 1 показано початкове зображення яке використовувалося для експерименту.



Рис. 1. Початкове зображення земельних угідь взяте для аналізу

На рис. 2 показано один з варіантів інтерфейсного вікна Mathcad з формулами та результатами моделювання. На ньому видно формули, які викори-

стовувалися для попередньої обробки зображення, виділені після їх нелінійної обробки просторові нелінійні нормалізовані еквівалентнісні функції EN\_RT та EN\_RTD, що відображають області фрагментів з найбільшою схожістю з еталонним зображенням, та початкове R,G,B зображення.

Приклад виділення фрагменту з червоним кольором (покрівля будинку) показаний на рис. 3, а результат виділення по зеленому еталонному фрагменту поля з аналогічною спектральною гамою показаний на рис. 4. З урахуванням обмежень розміру статті результати оброблених зображень при виділенні фрагментів з іншими спектральними ознаками тут не наводяться. Результати моделювання показали, що на якість виділення фрагментів суттєво впливають значення вибраного порогу бінаризації еквівалентнісної функції, а для перевірки якості необхідно створити свій окремий програмний модуль і використовувати його для тестування по набору відібраних і оцінених експертами масивах зображень. Ці аспекти діагностики та тестування ми розглянемо в наступній нашій роботі.

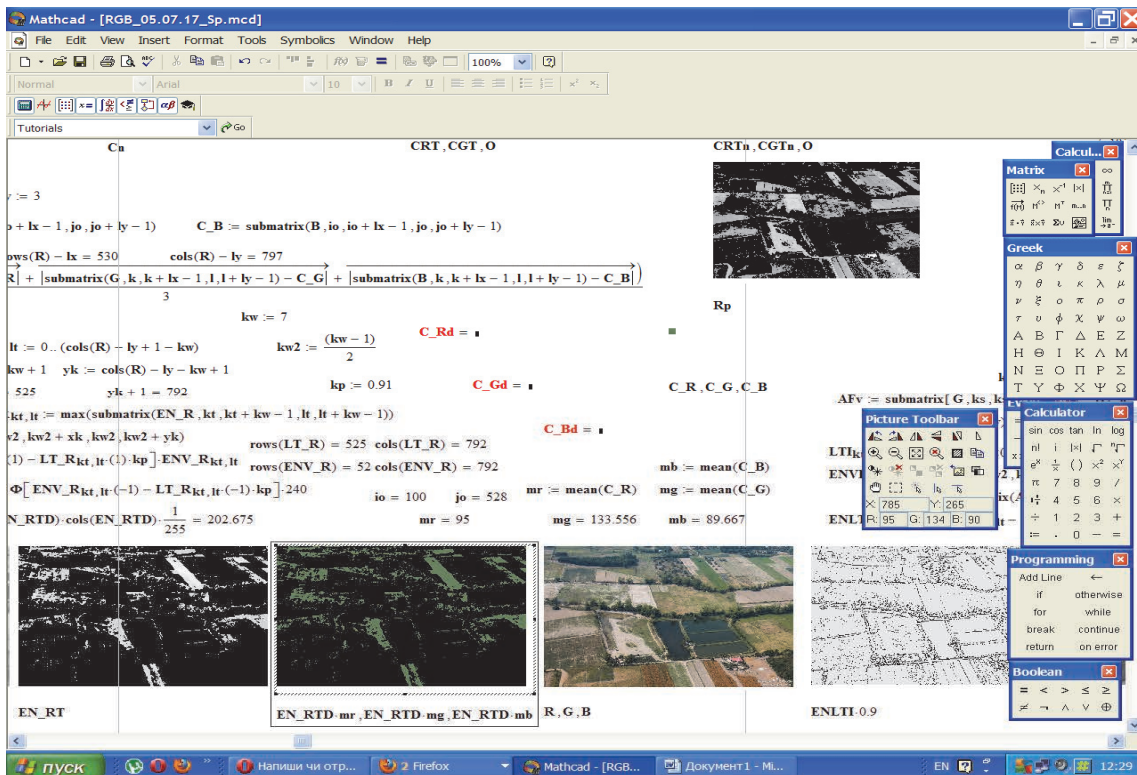


Рис. 2. Загальний вигляд інтерфейсного вікна Mathcad з формулами та результатами моделювання

Тут ми відмітимо лише той факт, що модератор чи експериментатор поки що повинен в напівавтоматичному режимі вибирати найбільш оптимальне значення порогу бінаризації наряду з вибором розміру еталонного фрагменту. Для демонстрації роботи запропонованого підходу та моделей показані результати модельних експериментів з іншим поді-

бним кольоровим зображенням, що показано на рис. 5, а самі результати – на рис. 6.

Тому частково питання стосовно визначення площі нами також в цих модельних експериментах були виконані, наприклад, ми можемо програмно визначати площу або в кількості пікселів або у відносних (частка) одиницях.



Рис. 3. Результат виділення за кольором фрагментів що подібні фрагменту покрівлі будівлі (червоний)

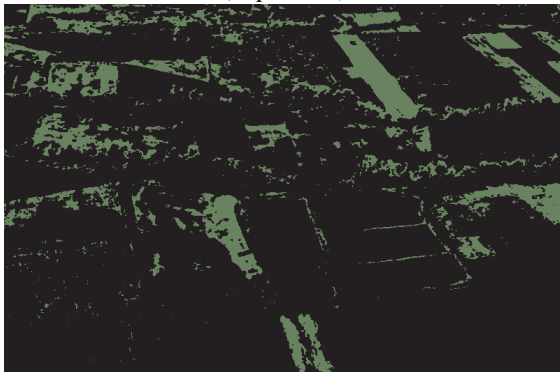


Рис. 4. Результат обробки зображення рис. 1 за фрагментами зеленого поля



Рис. 5. Вигляд другого зображення, яке використовувалося для модельних експериментів при перевірці запропонованого підходу

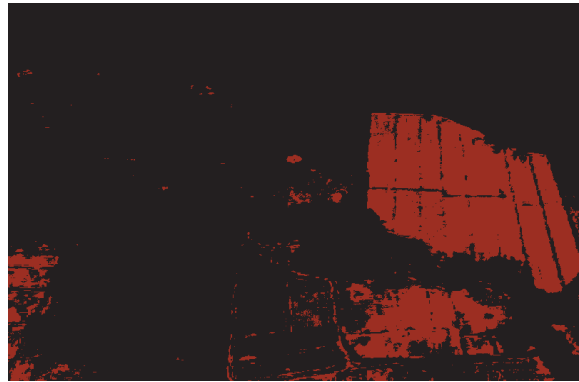


Рис. 6. Виділений фрагмент рис. 4 за спектральною ознакою (теракотовий)

Стосовно групування та кластеризації, тут ми ці аспекти розглядали лише частково, тому що аспекти кластеризації за різними ознаками, такими як топологічно-текстурні, рівень інтенсивності, були розглянуті в роботах [16–18].

Відмітимо те, що в наступних наших роботах ми акцентуємо увагу також на адаптації даних з баз спостережуваних зображень з метою виявлення в них закономірностей і суміщенні процесів виділення кластеризації з процесами самонавчання і визначення оптимальних для заданої кількості кластерів кількості і параметрів еталонних фрагментів.

## Висновки

Запропоновано модифікації еквівалентнісних моделей для задач виділення та селекції фрагментів кольорових зображень за їх спектральними та топологічно-текстурними ознаками.

Наведені результати моделювання на конкретних кольорових зображеннях у програмному середовищі Mathcad, конкретні інтерфейсні вікна з формулами та препарованими зображеннями, що підтверджують адекватність моделей, алгоритмів що їх реалізують та показують переваги та перспективи їх застосування для задач аеро-гео-моніторингу.

## Список літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялька та М.О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.
2. Зелик Я.І. Досвід використання європейських проектів CORINE і LUCAS для моніторингу та валідації земного покриву і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень / Я.І. Зелик, Н.М. Куссуль, А.Ю. Шелестов // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. Матеріали доповідей п'ятої Міжнародної конференції "GEOUA" (Україна, Київ, 10–14 жовтня 2016 р.). – Київ: ІКД НАН України та ДКА України, 2016. – С. 24-27.
3. Efficiency Assessment of Multitemporal CBand Radarsat 2 Intensity and Landsat 8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine / S. Skakun, N. Kussul, A. Y. Shelestov, M. Lavreniuk, O. Kussul // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – Aug. 2016. – Vol. 9, No. 8. – P. 3712-3719. – DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2454297.
4. Sushil Kumar Joshi. Spaceborne PolInSAR tomography for vertical profile retrieval of forest vegetation / Sushil Kumar Joshi, Shashi Kumar [Електронний ресурс] // Journal of Applied Remote Sensing 11(1), 016001 (2 January 2017). – Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.11.016001>.

5. Jianhua Wang. Analysis of dynamic changes in land use based on landscape metrics in Nagasaki, Japan / Jianhua Wang, Susumu Ogawa [Електронний ресурс] // Journal of Applied Remote Sensing 11(1), 016022 (6 February 2017). – Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.11.016022>.
6. Airborne multispectral identification of individual cotton plants using consumer-grade cameras / J.K. Westbrook et al. // Remote Sens. Appl.: Soc. Environ. – 2016. – № 4. – P. 37-43.
7. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal thematic map-per data / D.R. Oettera et al. // Remote Sens. Environ. – 2001. – № 76. – P. 139-155.
8. Schmedtmann J. Reliable crop identification with satellite imagery in the context of common agriculture policy subsidy control / J. Schmedtmann, M.L. Campagnolo // Remote Sens. – 2015. – № 7. – P. 9325-9346.
9. Ozdarici A. Field-based classification of agricultural crops using multiscale images / A. Ozdarici, M. Turker // Proc. First Int. Conf. on Object-Based Image Analysis (OBIA'06), Salzburg, Austria, 2006.
10. Suitable remote sensing method and data for mapping and measuring active crop fields / H. Xie et al. // Int. J. Remote Sens. – 2007. – № 28(2). – P. 395-411.
11. Lu D. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance / D. Lu, Q. Weng // Int. J. Remote Sens. – 2007. – № 28(5). – P. 823-870.
12. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology / J.M. Peña-Barragán et al. // Remote Sens. Environ. – 2011. – № 115. – P. 1301-1316.
13. Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery / I.L. Castillejo-González et al. // Comput. Electron. Agric. – 2009. – № 68. – P. 207-215.
14. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур / Р.М. Харалик // ТИИЭР. – 1979. – Т.67. – № 5.
15. Анализ и синтез случайных пространственных текстур / Г.А. Андреев, О.В. Базарский, А.С. Глауберман и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – № 2. – С. 3-33.
16. Красиленко В.Г. Суміщений з самонавчанням метод кластеризації фрагментів зображень за їх структурно-топологічними ознаками та його моделювання [Текст] / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Питання прикладної математики і математичного моделювання: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, 2014. – С. 167-176.
17. Красиленко В.Г. Моделювання суміщеного з самонавчанням методу кластеризації фрагментів зображень за їх структурно-топологічними ознаками / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2014. – № 2 (211). – С. 165-170.
18. Красиленко В.Г. Експериментальні дослідження просторово-інваріантних еквівалентних моделей асоціативної та гетероасоціативної пам'яті 2d образів / В.Г. Красиленко, Д.В. Нікітович // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2014. – Вип. 4 (120). – С. 113-120.
19. Krasilenko V.G. Continuous logic equivalence models of Hamming neural network architectures with adaptive correlated weighting / V.G. Krasilenko, F.M. Saletsky, V.I. Yatskovsky, K. Konate // Proceedings of SPIE. – Vol. 3402. – SPIE, Bellingham, WA 1998. – P. 398-408.
20. Krasilenko V.G. Optical pattern recognition algorithms based on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations / V.G. Krasilenko, A.I. Nikolsky // Proc. of SPIE. – Vol. 4387. – SPIE, Bellingham, WA 2001. – P. 247-260.
21. Krasilenko Vladimir. Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions / Vladimir Krasilenko, Alexander Lazarev, Sveta Grabovlyak // Optical Pattern Recognition XXIII, David P. Casasent; Tien-Hsin Chao, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 8398. – SPIE, Bellingham, WA 2012, 83980N.
22. Krasilenko Vladimir G. Using a multi-port architecture of neural-net associative memory based on the equivalency paradigm for parallel cluster image analysis and self-learning / Vladimir G. Krasilenko, Alexander A. Lazarev, Sveta K. Grabovlyak, Diana V. Nikitovich // Intelligent Robots and Computer Vision XXX: Algorithms and Techniques, Juha Röning; David Casasent, Editors, Proc. of SPIE Vol. 8662. – SPIE, Bellingham, WA 2013. – 86620S. – DOI: 10.1117/12.2003169.
23. Krasilenko Vladimir G. Experimental research of methods for clustering and selecting image fragments using spatial invariant equivalent models / Vladimir G. Krasilenko, Alexander A. Lazarev, Diana V. Nikitovich // Second International Conference on Applications of Optics and Photonics, Manuel Filipe P. C. Martins Costa; Rogério Nunes Nogueira, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 9286. – SPIE, Bellingham, WA 2014. – 928650.

## References

1. Lyalka, V.I. and Popov, M. (2016), “Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia” [Multi-spectral methods of remote sensing of the Earth in the problems of nature management], Scientific Opinion, Kyiv, 360 p.
2. Zelik, Y.A., Kussul, N.M. and Shelestov, A.Y. (2016), “Dosvid vykorystannia yevropeiskykh proektiv CORINE i LUCAS dlia monitorynhu ta validatsii zemnoho pokryvu i zemlekorystuvannia na osnovi sputnykovykh ta nazemnykh sposterezhen”, [Experience of using CORINE and LUCAS European projects for monitoring and validation of terrestrial cover and land use on the basis of satellite and ground observations], 5th International Conference "GEOUA": Aerospace Observations in the interests of sustainable development and security. October 10-14, 2016, National Academy of Sciences of Ukraine and DKA of Ukraine, pp. 24-27.
3. Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A.Y., Lavreniuk, M. and Kussul, O. (2016), Efficiency Assessment of Multitemporal CBand Radarsat 2 Intensity and Landsat 8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine, *IEEE*

*Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 9, No. 8, pp. 3712-3719, DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2454297.

4. Sushil Kumar Joshi, Shashi Kumar, (2017), Spaceborne PolInSAR tomography for vertical profile retrieval of forest vegetation, *Journal of Applied Remote Sensing*, No. 11(1), 016001, <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.11.016001> (2 January 2017).
5. Wang, Jianhua and Ogawa, Susumu (2017), Analysis of dynamic changes in land use based on landscape metrics in Nagasaki, Japan, *Journal of Applied Remote Sensing*, No. 11(1), 016022, (6 February 2017). <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.11.016022> (6 February 2017).
6. Westbrook, J.K. (2016), Airborne multispectral identification of individual cotton plants using consumer-grade cameras, *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, No. 4, pp. 37-43.
7. Oettera D.R. (2001), Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal thematic map-per data, *Remote Sens. Environ.*, No. 76, pp. 139-155.
8. Schmedtmann, J. and Campagnolo, M.L. (2015), Reliable crop identification with satellite imagery in the context of common agriculture policy subsidy control, *Remote Sens.*, No. 7, pp. 9325-9346.
9. Ozdarici, A. and Turker, M. (2006), Field-based classification of agricultural crops using multiscale images, *Proc. First Int. Conf. on Object-Based Image Analysis (OBIA'06)*, Salzburg, Austria.
10. Xie, H. (2007), Suitable remote sensing method and data for mapping and measuring active crop fields, *Int. J. Remote Sens.*, No. 28(2), pp. 395-411.
11. Lu, D. and Weng, Q. (2007), A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, *Int. J. Remote Sens.*, No. 28(5), pp. 823-870.
12. Peña-Barragán, J.M. (2011), Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology, *Remote Sens. Environ.*, No. 115, pp. 1301-1316.
13. Castillejo-González I.L. (2009), Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery, *Comput. Electron. Agric.*, No. 68, pp. 207-215.
14. Haralik, R.M. (1979), "Analiz i sintez sluchaynykh prostranstvennykh tekstur" [Statistical and structural approaches to the description of textures], *TIYER*, I.67, No. 5.
15. Andreev, G.A., Bazarsky O.V. and Glauberman, A.S. (1984), "Analiz i sintez sluchaynykh prostranstvennykh tekstur" [Analysis and synthesis of random spatial textures], *Foreign radio electronics*, No. 2, pp. 3-33.
16. Krasilenko, V.G. and Nikitovich, D.V. (2014), "Sumishcheniy z samonavchanniam metod klasteryzatsii frahmentiv zobrazhen za yikh strukturno-topolohichnymy oznakamy ta yoho modeliuвання" [Together with self-study the method of clustering of fragments of images according to their structural-topological features and its modeling], *Collection of scientific works of Oles Gonchar Dnepropetrovsk National University: Questions of Applied Mathematics and Mathematical Modeling*, Dnipropetrovsk, pp. 167-176.
17. Krasilenko, V.G. and Nikitovich, D.V. (2014), "Modeliuвання sumishchenoho z samonavchanniam metodu klasteryzatsii frahmentiv zobrazhen za yikh strukturno-topolohichnymy oznakamy" [Simulation of a method of clustering of fragments of images combined with self-study according to their structural-topological features], *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, №2 (211), pp. 165-170.
18. Krasilenko, V.G. and Nikitovich, D.V. (2014), "Eksperymentalni doslidzhennia prostorovo-invariantnykh ekvivalentnistnykh modelei asotsiyatvnoi ta heteroasotsiyatvnoi pamiaty 2d obraziv" [Experimental investigations of space-invariant equivalent models of associative and hetero-associative memory of 2d images], *Information Processing Systems*, Vol. 4(102), pp. 113-120.
19. Krasilenko, V.G. Saletsky, F.M., Yatskovsky, V.I. and Konate, K. (1998), Continuous logic equivalence models of Hamming neural network architectures with adaptive correlated weighting, *Proceedings of SPIE*, Vol. 3402, SPIE, Bellingham, WA, pp. 398-408.
20. Krasilenko, V.G. and Nikolsky, A.I. (2001), Optical pattern recognition algorithms based on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations, *Proc. of SPIE*, Vol. 4387, SPIE, Bellingham, WA, pp. 247-260.
21. Krasilenko, V., Lazarev, A. and Grabovlyak, S. (2012), Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions, *Optical Pattern Recognition XXIII, Proceedings of SPIE*, Vol. 8398, SPIE, Bellingham, WA, 83980N.
22. Krasilenko, Vladimir G., Lazarev, Alexander A., Grabovlyak, Sveta K. and Nikitovich, Diana V. (2013), Using a multiport architecture of neural-net associative memory based on the equivalency paradigm for parallel cluster image analysis and self-learning, *Intelligent Robots and Computer Vision XXX: Algorithms and Techniques, Juha Röning; David Casasent, Editors, Proc. of SPIE*, Vol. 8662, SPIE, Bellingham, WA, 86620S, DOI: 10.1117/12.2003169.
23. Krasilenko, Vladimir G., Lazarev, Alexander A. and Nikitovich, Diana V. (2014), Experimental research of methods for clustering and selecting image fragments using spatial invariant equivalent models, *Second International Conference on Applications of Optics and Photonics, Manuel Filipe P. C. Martins Costa; Rogério Nunes Nogueira, Editors, Proceedings of SPIE*, Vol. 9286, SPIE, Bellingham, WA, 928650.

Надійшла до редколегії 27.10.2017

Схвалена до друку 07.12.2017

**Відомості про авторів:**

**Красиленко Володимир Григорович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник  
доцент Вінницького соціально-економічного інституту  
Університету «Україна»,  
Вінниця, Україна,  
<https://orcid.org/0000-0001-6528-3150>  
e-mail: krasvg@i.ua

**Яцковська Римма Олександрівна**

асистент Вінницького національного аграрного  
університету,  
Вінниця, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6093-8058>  
e-mail: rimmayatsk@gmail.com

**Яцковський Віктор Іванович**

кандидат технічних наук старший викладач  
Вінницького національного аграрного  
університету,  
Вінниця, Україна  
e-mail: vik@vsau.vin.ua

**Information about the authors:**

**Krasilenko Volodymyr**

Candidate of Sciences Senior Research  
Associate Professor Vinnytsia Socio-Economic Institute  
of the University of Ukraine,  
Vinnitsa, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6528-3150>  
e-mail: krasvg@i.ua

**Yatskovska Rymma**

Assistant Lecturer  
Vinnitsa National Agrarian University,  
Vinnitsa, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6093-8058>  
e-mail: rimmayatsk@gmail.com

**Yatskovskiy Viktor**

Candidate of Sciences  
Senior Instructor  
Vinnitsa National Agrarian University,  
Vinnitsa, Ukraine  
e-mail: vik@vsau.vin.ua

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ  
ФРАГМЕНТОВ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
ПРИ ИХ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ**

В.Г. Красиленко, Р.А. Яцковская, В.И. Яцковский

*На основе обзора и анализа публикаций в статье обоснована перспективность применения для дистанционного агро-агро-мониторинга методов обработки, распознавания цветных и многоспектральных изображений и актуальность совершенствования, адаптации известных моделей и алгоритмов распознавания фрагментов изображений сельскохозяйственных угодий с целью их классификации и изучения пространственно-временных изменений. В соответствии с поставленной целью – адаптацией известных пространственно-инвариантных эквивалентностных моделей и процедур распознавания образов на их основе, выполнением модельных экспериментов для верификации, предложены и промоделированы модификации этих моделей для случая селекции фрагментов цветных изображений в зависимости от их спектральных и частично текстурных признаков. Преимущество предложенных модификаций эквивалентностных моделей распознавания изображений, использующих в качестве меры близости-сходства двумерных образов пространственные эквивалентностные функции со спектральным и адаптивным нелинейным взвешиваниями, заключается в их адаптированности к специфике изображений, возможности обобщения на случай крупноразмерных цветных многоспектральных изображений и в более точной интегральной идентификации-селекции фрагментов изображений в соответствии с их цветными или спектральными признаками с целью их классификации, уточнения, изучения особенностей. Выполнено моделирование этих моделей в программной среде Mathcad, и приведены результаты моделирования, подтверждающие адекватность алгоритмов и моделей, их хорошую сходимость, качество и возможность их применения для селекции и группировки отдельных фрагментов земельных участков по их признакам при дистанционном агро-агро-мониторинге.*

**Ключевые слова:** распознавание изображений, кластеризация фрагментов изображений, эквивалентностная пространственно-инвариантная модель, пространственная эквивалентностная нелинейная функция, дистанционный агро-агро-мониторинг.

**MODELING OF RECOGNITION AND CLASSIFICATION METHODS OF FRAGMENTS OF COLOR IMAGES  
OF AGRICULTURAL PLANTS IN THEIR REMOTE MONITORING**

V. Krasilenko, R. Yatskovska, V. Yatskovskiy

*Based on the review and analysis of publications in the article, the perspectives of application for remote agro-agro monitoring of processing methods, color and multi-spectral image recognition and the relevance of improvement, adaptation of known models and algorithms for recognizing fragments of images of agricultural lands with the purpose of their classification and study space-time changes. In accordance with the goal - the adaptation of known spatially invariant equivalent models and pattern recognition procedures based on them, the implementation of model experiments for verification, modifications of these models are suggested and modeled for the case of selection of fragments of color images depending on their spectral and partially textural features. The advantage of the proposed modifications of the equivalence models of image recognition using spatial equivalence functions with spectral and adaptive nonlinear weights as a measure of closeness and similarity of two-dimensional images is their adaptation to the specificity of images, the possibility of generalization to the case of large-scale color multi-spectral images, and in a more accurate integral identification-selection of image fragments in accordance with their color or spectral recognition for the purpose of classification, specification, study characteristics. Modeling of these models in the software environment of Mathcad is performed, and the simulation results confirming the adequacy of algorithms and models, their good convergence, quality and the possibility of their application for the selection and grouping of individual fragments of land plots according to their characteristics during remote agro-agro monitoring are presented.*

**Keywords:** image recognition, clustering of image fragments, equivalent spatial-invariant model, spatial equivalent nonlinear function, remote agro-agro monitoring.