

УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-19>

Віктор ОЛЕВСЬКИЙ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0003-3824-1013

Scopus Author ID: 56419822400

Ірина УДОВИК

кандидат технічних наук, доцент, деканка факультету інформаційних технологій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького 19, Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-5190-841X

Scopus-Author ID: 55998874400

Дмитро ГРИЦАК

кандидат фізико-математичних наук, докторант кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0001-8956-8468

Scopus Author ID: 57220062399

Юлія ОЛЕВСЬКА

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-0235-1360

Scopus Author ID: 57191851171

Юлія ЖУРАВЛЬОВА

асистент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, zhuravlova.yu.s@ntu.one

ORCID: 0000-0003-3146-6826

Scopus Author ID: 57904162900

Бібліографічний опис статті: Олевський, В., Удовик, І., Грицак, Д., Олевська, Ю., Журавльова, Ю. (2024). Методологічні основи інформаційних технологій аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 4, 159–168, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-19>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ БАГАТОКАНАЛЬНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті аналізуються методологічні основи інформаційних технологій, що використовуються для обробки та аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень. Сучасні космічні супутники забезпечують високоякісні зображення в різних спектральних діапазонах, що відкриває нові можливості для моніторингу земних процесів і дослідження навколишнього середовища.

Мета роботи – виявити ключові етапи та технології, що забезпечують ефективний аналіз багатоканальних аерокосмічних зображень.

Методологія дослідження полягає у інтеграції сучасних інформаційних технологій для всебічного аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень. Початковий етап передбачає попередню обробку даних, яка включає корекцію геометрії, атмосферну корекцію та нормалізацію яскравості. Ці процеси необхідні для усунення спотворень, які можуть вплинути на точність аналізу. Подальший спектральний аналіз

є критично важливим для класифікації об'єктів на зображеннях. Застосування алгоритмів, таких як підтримуючі вектори (SVM) та випадковий ліс (Random Forest), дозволяє автоматизувати процес класифікації і підвищити його точність. У статті також розглядається просторовий аналіз, що передбачає вивчення просторових зв'язків між об'єктами. Геостатистичні методи, такі як інтерполяція, використовуються для оцінки просторового розподілу різних явищ, що відбуваються на поверхні Землі. Цей підхід особливо важливий для вивчення змін у ландшафтах та їх структурних характеристик. Часовий аналіз на основі часових рядів є ще одним важливим аспектом, що дозволяє дослідникам моніторити зміни в покритті території, розвиток інфраструктури та екологічні процеси. Використання таких даних є важливим для вивчення тенденцій та прогнозування майбутніх змін. Стаття акцентує увагу на застосуванні сучасних інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС) та методів машинного навчання, що суттєво підвищують ефективність аналізу багатоканальних космічних зображень. Інтеграція цих технологій дозволяє забезпечити точність і оперативність у дослідженнях, що стосуються навколишнього середовища, та сприяє кращому розумінню глобальних змін на планеті.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні методологічних основ та розвитку сучасних інформаційних технологій аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень. В роботі запропонована послідовність кроків обробки зображень на основі розробленої в НТУ «ДП» нової технологія геометричної та спектральної корекції космічних зображень високого просторового розрізнення з урахуванням фізичних механізмів фіксації інформації та розробленого авторами алгоритму глибокого навчання з попередньою обробкою зображень для системи підтримки прийняття рішень.

Висновки статті підкреслюють важливість подальшого розвитку методів і технологій в цій галузі, а також необхідність міждисциплінарного підходу для забезпечення всебічного аналізу та моніторингу. Розроблені в роботі методологічні основи обробки багатоканальних аерокосмічних зображень та удосконалена методика їх аналізу дозволяє створити на базі первинних зображень інформаційну систему підтримки прийняття рішень з керування літальних апаратів з урахуванням розташованих на земній поверхні об'єктів.

Ключові слова: методи машинного навчання, багатоканальні космічні зображення, інформаційні технології, нейронна мережа, геоінформаційні системи.

Viktor OLEVSKIY

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, olevskiy.v.i@nmu.one

ORCID: 0000-0003-3824-1013

Scopus Author ID: 56419822400

Iryna UDOVYK

Candidate of Technical Science, Associate Professor, Dean of Information Technologies Department, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, udovyk.i.m@nmu.one

ORCID: 0000-0002-5190-841X

Scopus-Author ID: 55998874400

Dmytro HRYSHCHAK

Candidate of Technical Sciences, Doctorant at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, hryshchak.d.d@nmu.one

ORCID: 0000-0001-8956-8468

Scopus Author ID: 57220062399

Yuliia OLEVSKA

Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Applied Mathematics, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, olevska.yu.b@nmu.one

ORCID: 0000-0002-0235-1360

Scopus Author ID: 56419822400

Yuliia ZHURAVLOVA

Assistant at the Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, zhuravlova.yu.s@nmu.one

ORCID: 0000-0003-3146-6826

Scopus Author ID: 57904162900

To cite this article: Olevskiy, V., Udovik I., Hryshchak, D., Olevska, Yu., Zhuravlova, Yu. (2024). Metodolohichni osnovy informatsiinykh tekhnolohii analizu bahatokanalnykh aerokosmichnykh zobrazen [Methodological foundations of information technologies for the analysis of multi-channel aerospace images]. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, 4, 159–168, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-19>

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE ANALYSIS OF MULTI-CHANNEL AEROSPACE IMAGES

The article analyzes the methodological foundations of information technologies used for processing and analysis of multi-channel aerospace images. Modern space satellites provide high-quality images in various spectral ranges, which opens up new opportunities for monitoring Earth processes and studying the environment.

The purpose of the work is to identify the key stages and technologies that provide effective analysis of multi-channel aerospace images.

The research methodology consists in the integration of modern information technologies for comprehensive analysis of multi-channel aerospace images. The initial stage involves data preprocessing, which includes geometry correction, atmospheric correction, and brightness normalization. These processes are necessary to eliminate distortions that can affect the accuracy of the analysis. Further spectral analysis is critical for object classification in images. The use of algorithms such as support vectors (SVM) and random forest (Random Forest) allows you to automate the classification process and increase its accuracy. The article also considers spatial analysis, which involves the study of spatial relationships between objects. Geostatistical methods, such as interpolation, are used to estimate the spatial distribution of various phenomena occurring on the Earth's surface. This approach is especially important for studying changes in landscapes and their structural characteristics. Temporal analysis based on time series is another important aspect that allows researchers to monitor changes in land cover, infrastructure development, and ecological processes. Using such data is essential for studying trends and predicting future changes. The article focuses on the application of modern information technologies, in particular, geographic information systems (GIS) and machine learning methods, which significantly increase the efficiency of the analysis of multi-channel space images. The integration of these technologies allows for accuracy and efficiency in research related to the environment and contributes to a better understanding of global changes on the planet.

The scientific novelty of the research lies in the creation of methodological foundations and the development of modern information technologies for the analysis of multi-channel aerospace images. The paper proposes a sequence of image processing steps based on the new technology of geometric and spectral correction of space images of high spatial resolution developed at NTU «DP», taking into account the physical mechanisms of information fixation and the deep learning algorithm developed by the authors with pre-processing of images for the decision support system.

The conclusions of the article emphasize the importance of further development of methods and technologies in this field, as well as the need for an interdisciplinary approach to ensure comprehensive analysis and monitoring. The methodological foundations of processing multi-channel aerospace images developed in the work and the improved technique of their analysis allow creating an information system for decision-making support for aircraft control based on primary images, taking into account objects located on the earth's surface.

Key words: machine learning methods, multi-channel space images, information technologies, neural networks, geo-information systems.

Актуальність проблеми. Багатоканальні аерокосмічні зображення – це дані, отримані від дронів чи супутників, які фіксують електромагнітне випромінювання в різних спектральних діапазонах. Кожен канал може відобразити різні фізичні властивості об'єктів, що дозволяє отримувати більш детальну інформацію про них. Використання багатьох каналів значно покращує можливості для класифікації, детекції змін та моніторингу. У сучасному світі, де інформація стає критично важливим ресурсом, аналіз багатоканальних космічних зображень відіграє ключову роль у ряді галузей, таких як екологія, сільське господарство, урбаністика, моніторинг кліматичних змін та управління природними ресурсами. Космічні супутники надають можливість отримувати детальну інформацію про

стан Землі в різних спектральних діапазонах, що дозволяє виявляти та аналізувати численні природні та антропогенні явища. Основними причинами актуальності дослідження методологічних основ інформаційних технологій для аналізу таких зображень є наступні.

1. Зростаюча потреба в моніторингу навколишнього середовища. Зміни клімату, забруднення довкілля, руйнування природних екосистем вимагають постійного спостереження та аналізу. Багатоканальні зображення забезпечують цінні дані для оцінки стану природних ресурсів та екосистем.

2. Розвиток технологій дистанційного зондування. Інновації у сфері супутникових технологій дозволяють отримувати зображення з високою роздільною здатністю та різними

спектральними характеристиками. Це створює нові можливості для детального аналізу об'єктів і явищ на Землі.

3. Необхідність інтеграції даних. З метою отримання комплексного розуміння складних процесів, які відбуваються на Землі, важливо поєднувати дані з різних джерел. Методологічні основи інформаційних технологій дозволяють інтегрувати інформацію з космічних зображень з іншими формами даних, такими як наземні спостереження, демографічні дані та інше.

4. Зростання обсягу даних. Завдяки постійному вдосконаленню технологій збору даних, обсяги інформації, що генеруються космічними супутниками, зростають експотенційно. Це вимагає розробки нових методів та алгоритмів для обробки, аналізу та візуалізації цих даних.

5. Економічні та соціальні виклики. Ефективне управління ресурсами та сталий розвиток територій вимагають високоякісного аналізу даних. Використання інформаційних технологій для аналізу космічних зображень може сприяти оптимізації прийняття рішень у сфері екології, агрономії, урбаністики та інших галузях.

Таким чином, дослідження методологічних основ інформаційних технологій для аналізу багатоканальних космічних зображень є актуальним і необхідним кроком для розвитку сучасних методів моніторингу та управління природними ресурсами. Аналіз таких зображень є складним процесом, що потребує використання спеціалізованих інформаційних технологій. У цій статті розглянемо методологічні основи аналізу багатоканальних космічних зображень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз багатоканальних космічних зображень є галуззю, яка динамічно розвивається та активно досліджується в наукових колах. Методологічні основи інформаційних технологій у цій сфері об'єднують різні підходи, від обробки зображень до статистичних методів і машинного навчання. Нижче наведено огляд основних джерел, що висвітлюють ці теми.

Класичний підручник (Gonzalez R. C., Woods R. E., 2018) охоплює основи обробки цифрових зображень, включаючи методи корекції, фільтрації та виявлення ознак. Він є основою для розуміння подальшого аналізу космічних зображень. У виданні (Jensen J. R., 2015) описуються принципи дистанційного зондування та методи аналізу даних, отриманих з космічних супутників. Книга також акцентує увагу на екологічних застосуваннях та управлінні ресурсами. Ще одне авторитетне джерело (Lillesand T., Kiefer R. W., Chipman J., 2015)

детально описує технології та методи обробки космічних зображень, а також різноманітні аспекти їх інтерпретації. У книзі (Kogan F., 2019) обговорюються різні концепції та застосування дистанційного зондування, зокрема методи, що використовуються для аналізу змін у покритті території та екологічних змін. Оглядове дослідження (Hansen, M., Loveland, T., 2012) аналізує різні методи картографування земельного покриття на основі супутникових зображень, включаючи машинне навчання та статистичні методи. У статті (Adegun, A., Viriri, S., Tarato, JR., 2023) розглядаються новітні підходи глибокого навчання для аналізу космічних зображень, а також їх переваги та недоліки в різних застосуваннях. Книга (Mather, P.M. & Magaly, K., 2011) пропонує всебічний огляд комп'ютерної обробки супутникових зображень, з акцентом на алгоритми обробки та методи візуалізації даних.

Аналіз багатоканальних космічних зображень є складним процесом, що супроводжується низкою проблем, які можуть вплинути на точність і достовірність отриманих результатів. Нижче наведено основні проблеми та можливі шляхи їх вирішення.

Атмосферні умови можуть значно спотворити сигнал, що отримується від земних об'єктів. Це призводить до зміни спектральних характеристик зображень. Подолання цих спотворень можливо шляхом використання алгоритмів атмосферної корекції (Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2018), таких як 6S (Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum) або Dark Object Subtraction (DOS).

Рух супутника, нахил сенсора та інші фактори можуть призвести до геометричних спотворень зображень. Для виправлення геометричних спотворень використовують геометричну корекцію та ресемплінг. Можуть бути корисними такі алгоритми як cubic convolution (Hansen, M. C., Loveland, T. R., 2012).

Багатоканальні зображення генерують великі обсяги даних, що ускладнює їх обробку та аналіз. Для подолання цієї перешкоди використовують методи зменшення розмірності, такі як PCA (Principal Component Analysis) та тензорний аналіз для спрощення даних перед аналізом (Hansen, M. C., Loveland, T. R., 2012).

Неправильна класифікація або виявлення об'єктів через подібність спектральних характеристик долається шляхом використання алгоритмів машинного навчання, таких як Random Forest або SVM (Support Vector Machine), для підвищення точності класифікації (Han W., Zhang X., Wang Y. et al, 2023).

Недостатня кількість даних або їх нерівномірний розподіл можуть ускладнити аналіз (Kogan F., 2022). Шляхи подолання недоліку: застосування методу інтерполяції та екстраполяції для заповнення прогалів у даних; використання даних з інших джерел, таких як наземні спостереження.

Таким чином, аналіз багатоканальних космічних зображень стикається з численними викликами, але сучасні методи та технології можуть суттєво поліпшити точність і ефективність цього процесу. Використання алгоритмів обробки даних, машинного навчання та інтеграція різних джерел інформації дозволяє подолати багато з цих проблем, відкриваючи нові можливості для досліджень і практичних застосувань.

Мета дослідження полягає у виявленні ключових етапів та технологій, що забезпечують ефективний аналіз багатоканальних космічних зображень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження в області аналізу багатоканальних космічних зображень є багатогранними і активно розвиваються. Важливою є інтеграція у них сучасних інформаційних технологій, що дозволяють покращити точність і ефективність аналізу. Це надає необхідну теоретичну базу та практичні приклади, що роблять їх корисними для науковців та інженерів у цій галузі. Методологічні основи аналізу полягають у проведенні наступних етапів дослідження.

Перед початком аналізу необхідно провести попередню обробку зображень, наприклад за методикою (Гнатушенко В.В., Каштан В.Ю., 2017), яка включає:

- корекцію геометрії: усунення спотворень, викликаних рухом супутника або атмосферними умовами.
- атмосферну корекцію: видалення впливу атмосфери на спектральні дані.
- нормалізацію яскравості: приведення зображень до єдиного масштабу для подальшого аналізу.

Найбільш перспективною є розроблена у роботах (Shevchenko V.Yu., Hnatushenko V.V., та ін., 2015; Kashtan V.Yu., Shedlovska Y.I., Hnatushenko V.V., 2017) нова технологія геометричної та спектральної корекції космічних зображень високого просторового розрізнення з урахуванням фізичних механізмів фіксації інформації. Для визначення ефективності розробленої інформаційної технології отримані кількісні оцінки якості синтезованих багатоканальних зображень, зокрема ентропія по Шеннону, сигнальна ентропія та інші. В роботі пропонується метод об'єднання на основі

використання пакетної побудови вейвлет-базисів (Каштан В.Ю., Гнатушенко В.В., 2016) з декореляцією первинних видових даних, бікубічної інтерполяції, методу HSV та гіперсферичного перетворення (НСТ) (Шевченко В.Ю., Гнатушенко В.В., Кавац О.О., 2015). Основними етапами перетворення первинних багатоканальних зображень є завантаження фотограмметричних панхроматичного (ПЗ) і багатоканальних (БКЗ) зображень, отриманих зі супутника; потім передискретизація БКЗ і приведення його розмірності до розмірності ПЗ на основі бікубічної інтерполяції. Далі проводиться геометрична, радіометрична та контрастна корекція БКЗ та ПЗ і перетворення зображення з формату RGB в кольорову систему HSV. Після заміни компоненти яскравості багатоканального зображення такою ж компонентною панхромного зображення, проводиться обернене перетворення отриманого на попередньому етапі зображення з формату HSV в кольорову систему RGB. Отримане зображення вже буде мати підвищене просторове розрізнення у порівнянні з первинним знімком у натуральних кольорах. Наступним етапом є застосування розробленого методу геометричної та спектральної корекції за допомогою пакетного вейвлет-перетворення, також представленого в (Каштан В., Гнатушенко В., 2015). Зворотний пакетний вейвлет-розклад та одержання зображення БКЗ у форматі RGB дозволяє зробити перетворення 8-канального зображення, яке після інтерполяції в гіперсферичний колірний простір НСТ і зворотного НСТ-перетворення призводить до отримання результату Fusion.

Аналіз отриманих результатів дозволяє відзначити, що використанні запропонованої методики підвищує якість первинних космічних знімків та якість розпізнавання об'єктів на 10–12%. В подальших дослідженнях ми будемо користуватися саме цією технологією, лише замінивши бікубічну інтерполяцію на розроблену нами багатовимірну інтерполяцію типу Паде, яка є більш точною та компактною (Olevskiy V.I., Olevska Yu.B., Olevskiy O.V., Hnatushenko V.V., 2023).

Подальший спектральний аналіз є ключовим етапом обробки зображень. Він включає класифікацію зображень шляхом використання алгоритмів для визначення типів покриття, таких як SVM (Support Vector Machine) або Random Forest. SVM є потужним інструментом для обробки та аналізу багатоканальних космічних зображень. Він відмінно підходить для завдань класифікації та регресії завдяки своїй здатності знаходити оптимальну гіперплощину,

що розділяє дані. SVM можна використовувати для класифікації різних ознак на зображеннях, таких як ліси, водойми, урбанізовані території тощо. Спочатку можна витягнути важливі характеристики з багатосмугових зображень, такі як текстури, кольори та форми, а потім використовувати SVM для класифікації. SVM може працювати з великими обсягами даних, що часто зустрічається на космічних знімках. Використовуючи основні функції (наприклад, функцію радіального базису), SVM можуть ефективно обробляти нелінійні дані. Метод можна також адаптувати до конкретних завдань шляхом вибору коригування гіперпараметрів. SVM передбачає наступні кроки:

- Збір та попередня обробка зображень, включаючи корекцію атмосфери та нормалізацію даних.

- Визначення та виділення тих ознак, які будуть використовуватися для класифікації.

- Розбиття даних на навчальні та тестові вибірки, навчання моделі SVM на навчальній вибірці.

- Тестування та валідація, під час яких оцінюються продуктивність моделі на тестовому зразку, використовуючи такі показники, як точність та повнота.

- Використання навченої моделі для класифікації нових космічних зображень.

SVM добре працює навіть з невеликою кількістю прикладів навчання. Метод демонструє високу точність класифікації завдяки своїй здатності знаходити оптимальну межу між класами. Можливість використовувати різні основні функції дозволяє адаптувати SVM до різних типів даних. Таким чином, SVM є важливим інструментом при аналізі багатоканальних аерокосмічних знімків, що дозволяє ефективно класифікувати і витягувати корисну інформацію з великих обсягів даних.

Ще одним із найпопулярніших алгоритмів машинного навчання, який успішно застосовується в обробці та аналізі багатоканальних космічних зображень, є метод випадкового лісу (Random Forest, RF). Цей метод заснований на ансамблевому підході, що використовує множини вирішальних дерев для підвищення точності класифікації та зменшення перенавчання. RF може класифікувати різні типи об'єктів, такі як сільськогосподарські угіддя, водоймища, ліси та урбанізовані зони, що корисно для моніторингу навколишнього середовища та управління природними ресурсами. Метод випадкового лісу ефективно працює з великими обсягами даних, що притаманно космічних зображень, забезпечуючи хорошу масштабованість. RF

може враховувати інформацію з різних спектрів (наприклад, видимий, інфрачервоний) та отримувати корисні ознаки з багатоканальних зображень, він стійкий до шуму в даних і може ефективно обробляти пропуски, що особливо важливо для супутникових знімків. Етапи використання Random Forest наступні:

- Збір, попередня обробка та нормалізація космічних зображень. Це може включати корекцію атмосферних ефектів і виділення областей, що цікавлять.

- Визначення ключових ознак, таких як текстури, спектральні індекси (наприклад, NDVI для рослинності), які можуть покращити класифікацію.

- Поділ даних на навчальну та тестову вибірки. Модель випадкового лісу навчається на вибірці з використанням великої кількості дерев (зазвичай від 100 до 1000).

- Оцінка продуктивності моделі на тестовій вибірці з використанням метрик, таких як точність та повнота.

- Використання навченої моделі для класифікації нових космічних зображень та отримання карток класифікації.

RF часто демонструє відмінні результати у завданнях класифікації завдяки агрегуванню передбачень кількох дерев. RF дозволяє оцінювати важливість ознак, що допомагає зрозуміти, які характеристики найбільш значущі для класифікації. Метод може бути налаштований для різних типів завдань, включаючи класифікацію та регресію. Таким чином, випадковий ліс є потужним інструментом для аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень, дозволяючи отримувати точні класифікації та отримувати важливу інформацію з великих обсягів даних.

Всі ці дії необхідні для виділення певних ознак, аналізу спектральних характеристик для виявлення певних об'єктів або явищ. Саме це є практичною ціллю аерокосмічних досліджень земною поверхні. Виявляються цікаві для дослідника об'єкти і явища і далі проводиться їх просторовий аналіз. Він передбачає вивчення просторових зв'язків між об'єктами на зображеннях, геостатистичний аналіз з використанням методів інтерполяції для оцінки просторового розподілу явищ, а також аналіз фрагментації зображення і вивчення структури ландшафтів та їх зміни з часом. Аналіз змін у часі є важливим для моніторингу екологічних та соціальних процесів. Використовуються часові ряди (Гнатушенко В., Олевська Ю., Олевський В., 2024), що дозволяють відстежувати переміщення досліджуваних об'єктів, зміни в покритті території, розвитку інфраструктури та ін.

Використання інформаційних технологій та геоінформаційних систем (ГІС) є основою для аналізу багатоканальних аерокосмічних зображень з метою візуалізації даних та подальшої їх інтеграції до систем автоматичного керування літальними пристроями або систем підтримки прийняття рішень. На цьому етапі доцільно створювати нейронні мережі алгоритмами машинного навчання і застосувати їх для автоматизації, класифікації та виявлення аномалій. Нами розроблена система машинного навчання нейронної мережі для виявлення раку молочної залози (Aziukovskyi O., Hnatushenko V.,

Zavizion V., та інші, 2024), яка може бути застосована також для аналізу аерокосмічних знімків (рис. 1).

Початковий рівень – це згортова нейронна мережа (VGGNet), яка ідентифікує підозрілі на наявність небезпеки зони на зображеннях. Основною метою цього першого рівня є побудова глибокої архітектури з численними згортовими шарами для ефективного вилучення функцій із зображень. Це забезпечує високу точність розпізнавання завдяки спеціалізації мережі для певного типу зображення, тим самим зменшуючи кількість помилкових

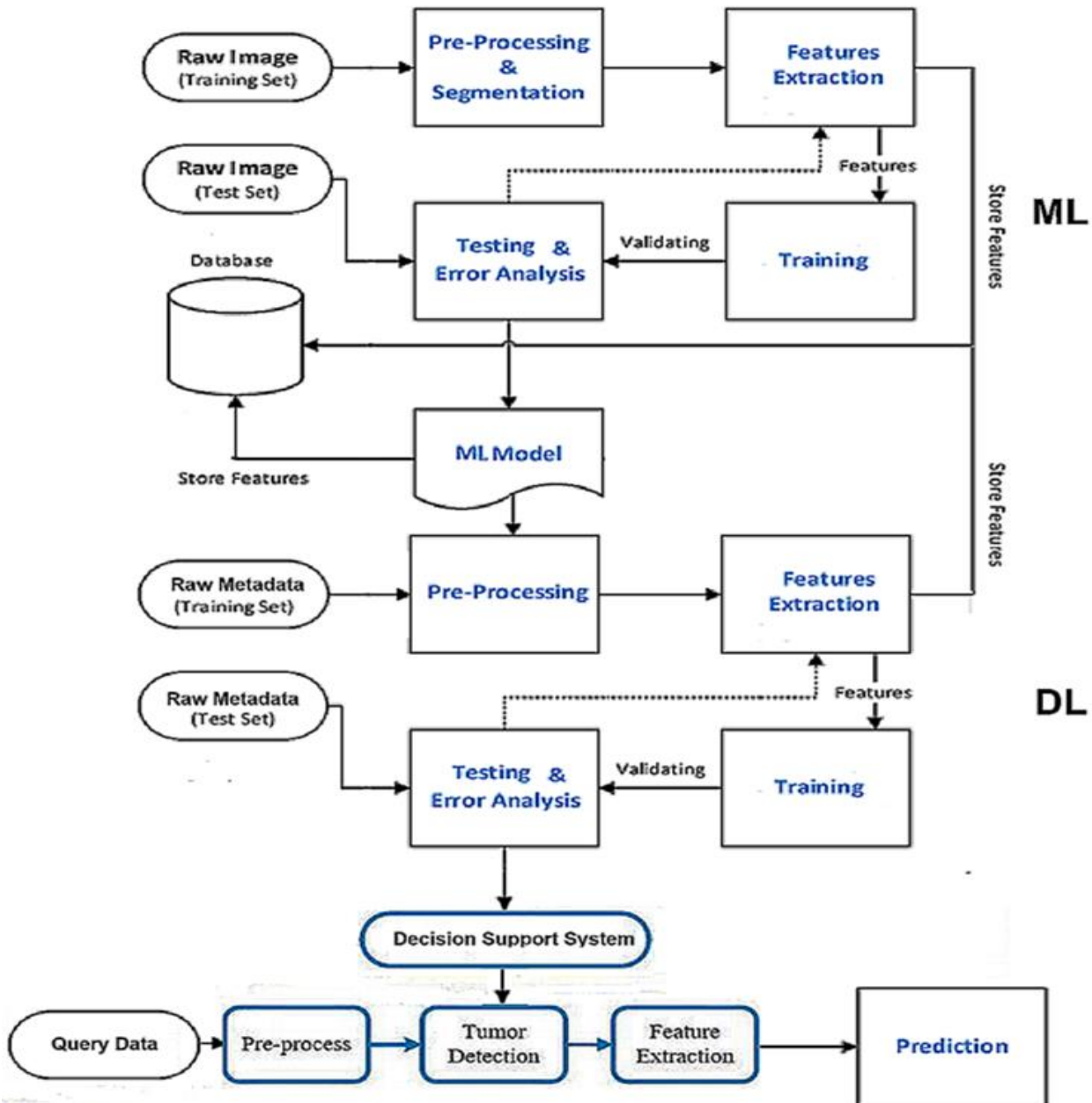


Рис. 1. Алгоритм глибокого навчання з попередньою обробкою зображень для системи підтримки прийняття рішень (Aziukovskyi O., Hnatushenko V., ZavizionV., та інші, 2024)

спрацьовувань. Модель глибокого навчання для системи підтримки прийняття рішень (DSS) навчається за допомогою бази даних, як показано на рис. 1.

Другий рівень призначений для створення DSS. Він виконує класифікацію проблемних об'єктів, виявлених на першому шарі, і генерує рекомендації для подальших досліджень і протоколів дій. У процесі глибокого навчання другий рівень використовує дані об'єктів з першого рівня разом із метаданими з бази даних.

Існуючі DSS стикаються зі значними проблемами у розпізнаванні підозрілих об'єктів на основі монохроматичних даних. Наша архітектура нейронної мережі для DSS вирішує це, об'єднуючи кілька зображень (2 або 3) на першому рівні, щоб підвищити точність виявлення об'єктів. Ці зображення масштабуються до єдиного розміру, який відповідає їхньому фізичному розташуванню на поверхні, а статистичний критерій узгодження застосовується до точок контуру об'єкту із заданим рівнем достовірності.

Ця модель для глибокого навчання може проводити поглиблений аналіз великих наборів даних і відкривати нові відомості, для пошуку яких вона, можливо, не була спеціально навчена.

При інтерпретації та візуалізації даних створюються псевдокольорові зображення, що дозволяють використання кольорових схем для візуалізації різних спектральних каналів. Створюється також 3D-візуалізація та тривимірні моделі для більш глибокого аналізу даних. Обробка зображень може виконуватися програмним забезпеченням для аналізу, таке як ENVI, ERDAS Imagine та інші.

Останнім часом з'явилося декілька новітніх напрямків в обробці багатоканальних супутникових знімків (Макс Поляков, 2024). Зовсім скоро у Національному управлінні океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) мають з'явитися нові типи гіперспектральних сенсорів для аналізу складу атмосфери (ACX), які дозволяють отримувати дані в кількох спектральних

діапазонах. Анонсовано використання радарів з синтезованою апертурою (SAR). Ці радари дозволяють отримувати високоякісні зображення незалежно від погодних умов і часу доби. Вони активно використовуються для моніторингу лісових пожеж, розливів нафти та інших екологічних катастроф.

Глобальні сервіси з космічної обізнаності (SSA) використовують супутникові дані для моніторингу космічного простору, включаючи відстеження космічного сміття та прогнозування зіткнень. Сервіси космічної обізнаності розширюють та пришвидшують систематизацію інформації, отриманої з різних супутників, підключених до єдиної мережі. Дані типи сервісів пропонують своїм клієнтам послуги з відстеження, моніторингу земної поверхні, орбітального контролю тощо. Як частина єдиної архітектури SSA-супутники за запитом можуть швидко надати необхідний перелік даних щодо ситуації на Землі. Це виявляється особливо корисним у випадку екстреного реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, або за необхідності швидкої реакції щодо вирішення питань національної і глобальної безпеки.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз багатоканальних аерокосмічних зображень є складним, але водночас надзвичайно важливим процесом для отримання інформації про наземні об'єкти. Використання методологічних основ та сучасних інформаційних технологій дозволяє досягти високих результатів у вивченні різноманітних технічних, екологічних, соціальних та економічних процесів. Подальший розвиток технологій та методів аналізу обіцяє ще більші можливості для дослідників у цій галузі. Розроблені в роботі методологічні основи обробки багатоканальних аерокосмічних зображень та удосконалена методика їх аналізу дозволяє створити на базі первинних зображень інформаційну систему підтримки прийняття рішень з керування літальних апаратів з урахуванням розташованих на земній поверхні об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Adegun A. A., Viriri S., Tapamo J. R. Review of deep learning methods for remote sensing satellite images classification: Experimental survey and comparative analysis. *Journal of Big Data*. 2023. Vol. 10. № 93. P. 1–24.
2. Aziukovskiy O., Hnatushenko V., Zavizion V., Olevskiy V., Bulana T., Ivanov D., Gadiatskiy V. Decision Support System Oncoassist for Breast Cancer Computer-Aided Diagnostic. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2024)*: матеріали XX міжнародної наукової інтернет-конференції. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В., 2024. С. 21–22.
3. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital image processing (4th ed.): Pearson Education, 2018. 1019 p.

4. Han W., Zhang X., Wang Y., Wang L., Huang X., Li J., Wang Sh., Chen W., Li X., Feng R., Fan R., Zhang X., Wang Y. A survey of machine learning and deep learning in remote sensing of geological environment: Challenges, advances, and opportunities. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2023. № 202. P. 87–113.
5. Hansen M., Loveland T. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*. 2012. № 122. P. 66–74.
6. Jensen J.R. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective* (2nd ed.): Pearson Education, 2009. 592 p.
7. Kashtan V. Yu., Shedlovska Y. I., Hnatushenko V. V. Processing technology of multispectral remote sensing images. *International Young Scientists Forum on Applied Physics*, Lviv, October 16–20 2017. Lviv, 2017. P. 355–358.
8. Kogan F. *Remote sensing land surface changes*. Springer, Cham. 2022. 462 p.
9. Lillesand T., Kiefer R. W., Chipman J. *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.): John Wiley & Sons, 2015. 768 p.
10. Mather P. M., Magaly K. *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction* (4th ed.). John Wiley & Sons, 2011. 464 p.
11. Olevskiy V. I., Olevska Yu. B., Olevskiy O. V., Hnatushenko V. V. Raster image processing using 2D Padé-type approximations. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. Vol. 2675. № 1. P. 012015.
12. Shevchenko V. Yu., Hnatushenko V. V., Kavats O. O. Pansharpener technology of high-resolution multispectral and panchromatic satellite images. *Naukovyi Visnyk NGU*. 2015. Vol. 4. № 148. P. 91–98.
13. Гнатушенко В. В., Олевська Ю. Б., Олевський В. І. Методи апроксимації рядами та їх застосування в біологічних і технічних задачах. Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2024. 202 с.
14. Каштан В. Ю., Гнатушенко В. В. Інформаційна технологія підвищення інформативності багатоканальних даних на основі пакетних вейвлет-перетворень. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2016. С. 77–83.
15. Каштан В. Ю., Гнатушенко В. В. Технологія геометричної та спектральної корекцій оптико-електронних космічних знімків. *Вісник ХНТУ*. 2017. Вип. 3. № 62. С. 286–291.
16. Поляков М. Нові можливості супутникових сенсорів: як змінилася EOS-індустрія за минулі роки. URL: <https://maxpolyakov.com/ua/novi-mozhливosti-suputnikovikh-sensoriv-yak-zminilasya-eos-industriya-zaminuli-roki/> (дата звернення: 24.09.2024).
17. Шевченко В. Ю., Гнатушенко В. В., Кавац О. О. Підвищення просторового розрізнення багатоканальних аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі гіперсферичного перетворення. *Науковий журнал Запорізького національного технічного університету, радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2015. Вип. 1. № 32. С. 73–79.

REFERENCES:

1. Adegun, A. A., Viriri, S., & Tapamo, J. R. (2023). Review of deep learning methods for remote sensing satellite images classification: Experimental survey and comparative analysis. *Journal of Big Data*, 10(93), 1–24.
2. Aziukovskiy, O., Hnatushenko, V., Zavizion, V., Olevskiy, V., Bulana, T., Ivanov, D., & Gadiatskiy, V. (2024). Decision Support System Oncoassist for Breast Cancer Computer-Aided Diagnostic. *Intelectualni systemy pryiniattia rishen i problemy obchysliuvalnoho intelektu (ISDMCI'2024): Materialy XX Mizhnarodnoi naukovoї internet-konferentsii* [Intelligent Decision-Making Systems and Computational Intelligence Issues (ISDMCI'2024): Proceedings of the 20th International Scientific Internet Conference] (pp. 21–22). Kherson: Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vishemirskiy V. S.
3. Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson Education.
4. Han, W., Zhang, X., Wang, Y., Wang, L., Huang, X., Li, J., ... & Wang, Y. (2023). A survey of machine learning and deep learning in remote sensing of geological environment: Challenges, advances, and opportunities. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 202, 87–113.
5. Hansen, M., & Loveland, T. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74.
6. Jensen, J.R. (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective* (2nd ed.). Pearson Education.
7. Kashtan, V. Yu., Shedlovska, Y. I., & Hnatushenko, V. V. (2017). Processing technology of multispectral remote sensing images [Conference paper]. *International Young Scientists Forum on Applied Physics*, October 16–20, Lviv, Ukraine, 355–358.

8. Kogan, F. (2022). *Remote sensing land surface changes*. Springer, Cham.
9. Lillesand, T., Kiefer, R.W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
10. Mather, P. M. & Magaly, K. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction* (4th ed.). John Wiley & Sons.
11. Olevskiy, V. I., Olevska, Yu. B., Olevskiy, O. V., & Hnatushenko, V. V. (2023). Raster image processing using 2D Padé-type approximations. *Journal of Physics: Conference Series*, 2675(1), 012015.
12. Shevchenko, V. Yu., Hnatushenko, V. V., & Kavats, O. O. (2015). Pansharpenering technology of high-resolution multispectral and panchromatic satellite images. *Naukovyi Visnyk NGU*, 4(148), 91–98.
13. Hnatushenko, V. V., Olevska, Yu. B., & Olevskiy, V. I. (2024). Metody aproksymatsii riadamy ta yikh zastosuvannya v biolohichnykh i tekhnichnykh zadachakh [Methods of series approximations and their application in biological and technical tasks]. Kremenchuk: Vydavnytstvo «NOVABOOK» [in Ukrainian].
14. Kashtan, V. Yu., & Hnatushenko, V. V. (2016). Informatsiina tekhnolohiia pidvyshchennia informatyvnosti bahatokanalnykh danykh na osnovi paketnykh veivlet-peretvoren [Information technology for enhancing the informativeness of multichannel data based on packet wavelet transforms]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo* [Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production], 77–83 [in Ukrainian].
15. Kashtan, V. Yu., & Hnatushenko, V. V. (2017). Tekhnolohiia heometrychnoi ta spektralnoi korektsii optyko-elektronnykh kosmichnykh znmkiv [Technology of geometric and spectral correction of optical-electronic satellite images]. *Visnyk KhNTU*, 3(62), 286–291 [in Ukrainian].
16. Polyakov, M. (2024). Novi mozhlyvosti suputnykovykh sensoriv: yak zminylasia EOS-industriia za mynuli roky [New capabilities of satellite sensors: How the EOS industry has changed over the past years]. Retrieved from: <https://maxpolyakov.com/ua/novi-mozhlyvosti-suputnikovikh-sensoriv-yak-zminilasya-eos-industriya-zaminuli-roki/> [in Ukrainian].
17. Shevchenko, V. Yu., Hnatushenko, V. V., & Kavats, O. O. (2015). Pidvyshchennia prostorovoho rozrznennia bahatokanalnykh aerokosmichnykh zobrazhen vysokoi prostorovoi rozrznennia na osnovi hipersferychnoho peretvorenna [Enhancing spatial resolution of high-resolution multichannel aerospace images using hyperspherical transformation]. *Naukovyi zhurnal Zaporizkoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, radioelektronika, informatyka, upravlinnia* [Scientific Journal of Zaporizhzhia National Technical University, Radioelectronics, Informatics, Control], 1(32), 73–79 [in Ukrainian].