

*Олександр Васильович Лаврінчук (канд. техн. наук, ст. наук. співроб., начальник НДД)*

*Сергій Володимирович Гринюк (слухач)*

*Михайло Юрійович Ракушев (докт. техн. наук, ст. наук. співроб., доцент кафедри)*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕШИФРУВАННЯ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

*Стаття присвячена аналізу процесу виявлення та розпізнавання об'єктів за даними космічної зйомки, при цьому технологію військового дешифрування представлено чотирма рівнями, які обумовлені прямими та зворотними зв'язками між собою і утворюють декілька локальних систем. Оскільки переважна більшість часу на проведення дешифрування витрачається на етапі розпізнавання простих об'єктів, підвищити його оперативність запропоновано за рахунок автоматизації процесу виявлення та розпізнавання простих об'єктів шляхом використання зображень моделей об'єктів у якості еталонів.*

**Ключові слова:** космічний знімок; дешифрування; зображення об'єкта.

### Вступ

Космічна розвідка відіграє важливу роль в інформаційному забезпеченні військово-політичного керівництва держави та органів військового управління всіх рівнів і є важливим інструментом отримання інформації про склад, положення і стан військ противника, характер дій його угруповань, а також про оперативне обладнання та інфраструктуру визначених територій. При цьому висока інформаційна насиченість космічних знімків ефективно використовується лише в тому випадку, коли їх обробка ведеться оперативно, а результати обробки своєчасно доводяться до споживачів.

Військове дешифрування матеріалів космічної зйомки має складний психофізіологічний характер і включає декілька рівнів розумової активності та логічні рішення різної складності. Об'єктами дешифрування є штучні утворення, рідше – природні. Специфічність дешифрування матеріалів космічної зйомки зумовлена способами і методами отримання зображення і формами його подання. Отримання зображень базується на здатності апаратури бортового спеціального комплексу космічного апарата фіксувати властивості об'єктів поглинати, відбивати і випромінювати електромагнітну енергію відповідно до їх форми, матеріалу та ін. [1, 2].

Досвід ведення бойових дій в районі Перської затоки, в Афганістані, Іраку, на Балканському півострові [3-5], а також хід АТО на сході України показали, що для проведення оперативного отримання інформації про місцевість обробка зображень повинна проводитись автоматизовано на ПЕОМ за допомогою відповідних програмних засобів.

Вагомий внесок у результати наукових досліджень в галузі виявлення та розпізнавання об'єктів космічної розвідки належить науковим школам Артюшина Л.М., Бушуєва С.І., Драновського В.Й., Комарова В.Г., Лялько В.І., Мосова С.П., Попова М.О., Присяжного В.І.,

П'ясовського Д.В. та ін. Проте, незважаючи на досягнуті результати, технологія дешифрування матеріалів космічної зйомки, особливо в частині, що стосується автоматизації процесу дешифрування, нині достатньо ще не вивчена. Тому в даний час актуальним напрямком досліджень в обробці космічних знімків є максимальна її автоматизація [1, 6, 7].

Враховуючи це, **метою статті** є проведення аналізу технології дешифрування космічних знімків для визначення доцільних напрямків його автоматизації шляхом перекладання певних процедур на засоби обчислювальної техніки.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Процес дешифрування складається з декількох рівнів та етапів, що ведуть дешифрувальника від виявлення до розпізнавання об'єктів, а потім до їх загальної оцінки, визначення сутності складного об'єкта і формування інформації про нього. Залежно від властивостей зображень, характеру місцевості і розташованих на ній об'єктів, кваліфікації дешифрувальника та інших факторів, рівні й етапи дешифрування можуть чітко розділятися чи непомітно переходити з одного в інший. Так чи інакше, усі вони обумовлені прямими та зворотними зв'язками між собою і утворюють декілька локальних систем. Виходячи з цього, технологію військового дешифрування можна представити чотирма рівнями (рис. 1) [1, 8]:

**Перший рівень.** На першому рівні відбувається своєрідна психологічна підготовка дешифрувальника, з'ясовується, які види інформації підлягають обробці, уточнюються задачі і формується модель їх рішення.

Для першого рівня характерні такі етапи:

1. Визначення (уточнення) основних завдань на дешифрування:

загальне завдання дешифрування;

необхідна повнота і детальність інформації;

види інформаційно-звітних документів, строки їх представлення.

2. Уточнення і врахування факторів, що визначають умови зйомки і властивості знімків: геофізичні умови зйомки; фізико-географічні особливості поверхні; стан КА і бортового спеціального комплексу;

ступінь обробки матеріалів зйомки; первинне визначення району пошуку об'єкта (об'єктів); вибір прийомів, методів дешифрування; загальне планування процесу дешифрування.

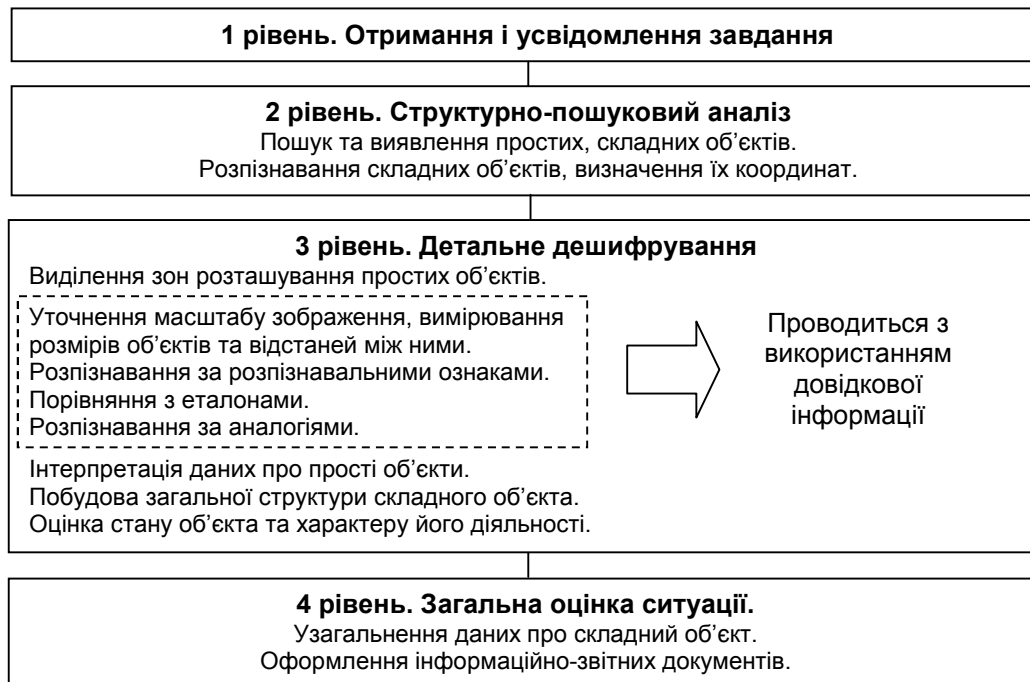


Рис. 1. Рівні технології дешифрування космічних знімків

**Другий рівень.** На другому рівні здійснюється пошук і виявлення заданих об'єктів. Залежно від ситуації, характеру місцевості й особливостей об'єкта, пошук проходить від часткового і простого до загального і складного чи навпаки. З усієї кількості зображених об'єктів на цьому рівні вибираються потрібні чи задані. Розпізнавання об'єкта може відбуватися одночасно чи шляхом тривалого перебору ряду ознак і образів. Зазвичай тут застосовуються загальні групові і комплексні розпізнавальні ознаки. На цьому рівні здійснюються пошукові і розпізнавальні операції евристичного характеру і застосовується імовірно-модальна логіка типу: у цьому районі велика імовірність розташування якогось об'єкта.

Характерними рисами другого рівня є загальний аналіз ситуації і пошук складних об'єктів. На цьому рівні відбувається пошук та виявлення:

- складного об'єкта (декількох складних об'єктів у межах знімку);
- зон можливого розташування простих об'єктів всередині складного;
- пошук необхідних заданих простих об'єктів.

**Третій рівень.** На третьому рівні проводиться детальний аналіз зображення: розпізнавання й інтерпретація простих і складних об'єктів.

До простих об'єктів відносяться окремі зразки озброєння та військової техніки, а також окремі військові об'єкти.

Складний об'єкт – це сукупність декількох однакових або різних простих об'єктів, які розміщені на обмеженій ділянці території і функціонально пов'язані між собою [1, 2].

Одночасно виявляються і розпізнаються тільки відкриті прості об'єкти. Замасковані об'єкти й елементи складних об'єктів, стан і характер їх діяльності визначаються в результаті складної розумової роботи із залученням узагальнень, аналізу зображень і синтезу отриманої інформації. Велику роль при цьому відіграє інтуїція дешифрувальника.

На рис. 2 схематично проілюстрована робота дешифрувальника під час виявлення та розпізнавання простих об'єктів.

Спочатку візуально аналізується зображення  $b_j$  простого об'єкта. Визначається набір типів, серед яких буде проводитись розпізнавання. По кожному типу з бази еталонних зображень дешифрувальник може отримати еталонне зображення  $E_i$  для візуального порівняння з реальним зображенням. Якщо інформації  $I$  недостатньо для прийняття остаточного рішення про належність реального зображення до певного типу об'єкта  $A_i$ , то додатково аналізується допоміжна інформація про об'єкт розпізнавання. В якості такої інформації можуть використовуватись різні креслення об'єктів, їхні параметри та характеристики, особливості їх функціонування та

застосування і т.д. За необхідності, можуть використовуватись також паспортні дані самого космічного знімка, а саме: час зйомки  $t_3$  та координати  $\varphi_0, \lambda_0$  об'єкта зйомки.

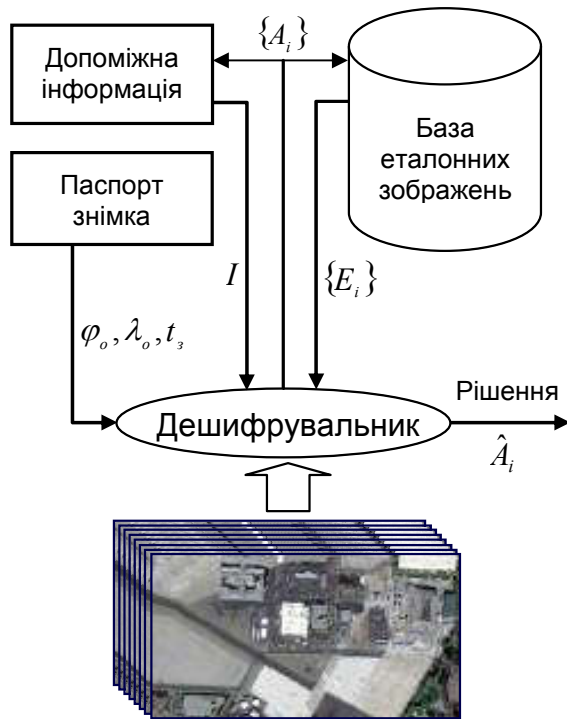


Рис. 2. Схема роботи дешифрувальника в процесі виявлення та розпізнавання простого об'єкта

У процесі дешифрування постійно відбувається перехід від розпізнавання зображень простих об'єктів до розпізнавання зображень більш складних об'єктів і навпаки. При цьому виявляється взаємозв'язок між об'єктами, відбувається перехід від дешифрування окремих об'єктів до розпізнавання й інтерпретації ситуацій. Розуміння ситуації, що відобразилась на знімку, дозволяє знову перейти до розпізнавання окремих об'єктів, але на більш високому рівні обробки інформації. На всіх етапах цього рівня відбувається розпізнавання за аналогією, екстраполяція інформації про розпізнані об'єкти і ділянки місцевості та ще не вивчені і не розпізнані.

**Четвертий рівень.** На четвертому рівні формується судження про окремі об'єкти, їх групи і об'єкти дешифрування в цілому, робиться остаточний висновок про характер, стан і діяльність об'єкта, а також коротко формулюється і фіксується отримана інформація.

Важливо відмітити, що детальне дешифрування є невід'ємним етапом усього процесу дешифрування матеріалів космічної зйомки. Достовірне і своєчасне виявлення та розпізнавання простих об'єктів є запорукою вірної інтерпретації стану і діяльності складних об'єктів та формування правильних висновків про них.

Скорочуючи час на проведення правильного виявлення та розпізнавання, підвищується оперативність підготовки й подання результируючих інформаційно-звітних документів. Це підвищує ефективність всієї розвідувальної системи в цілому.

Виявлення та розпізнавання простих і складних об'єктів у процесі дешифрування знімків здійснюється за їх розпізнавальними ознаками. Інформативність ознак виражає їх придатність для прийняття правильного рішення в процесі розпізнавання. Оцінки інформативності ознак використовуються для того, щоб забезпечити необхідну ефективність (наприклад, імовірність правильного розпізнавання) дешифрування в інтерактивному режимі при мінімальному наборі ознак. Критерій інформативності ознак використовують також для вибору оптимального піднабору ознак із заданого набору. Це завдання є досить складним, оскільки в загальному випадку, коли ознаки є статистично взаємозалежними, інформативність певного піднабору ознак не повною мірою визначається інформативністю окремих ознак, що входять до нього. Для кожного з випробуваних піднаборів необхідно знаходити оптимальну вирішальну функцію й оцінювати отриману імовірність правильного розпізнавання.

При вирішенні завдань практичного дешифрування, тобто при виявленні і розпізнаванні об'єктів, які зображені на матеріалах конкретної зйомки, в першу чергу використовуються відтворювані ознаки – характерні риси і відмінні властивості, притаманні зображенням об'єктів на матеріалах зйомки. Вони є засобом, за допомогою якого виявляються і розпізнаються зображення об'єктів. На значення відтворюваних ознак впливають масштабні, перспективні, фотометричні та інші перетворення, що відбуваються при отриманні і передачі зображення. На сьогодні розпізнавальні ознаки класифікують за трьома групами: прямі, непрямі і комплексні [1].

Прямі ознаки безпосередньо належать зображенням об'єктів. Вони характеризуються геометричними і оптичними особливостями. Такими ознаками є елементарні властивості об'єктів: форма, розмір, структура, тон або колір, тінь зображення об'єктів, що властиві кожному простому об'єкту. Однак прямі ознаки не однозначні, тобто та сама ознака, наприклад, прямокутна форма, відповідає різним об'єктам, а той самий об'єкт у різних ситуаціях може мати різний обрис.

Непрямі ознаки – це кількісні ознаки, просторові, часові, функціональні і причинні залежності між об'єктами. Непрямі розпізнавальні ознаки – це ознаки, через які об'єкти та їх властивості вказують на наявність і властивості інших об'єктів, що не зобразилися на знімку. Непрямі ознаки базуються на закономірних взаємозв'язках між природним ландшафтом і розташованими на ньому об'єктами, між

складними і простими об'єктами, а також між елементами складних об'єктів. Вони проявляються в слідах діяльності, за ступенем відношення одних об'єктів до інших та у зміні властивостей і характеристик одних об'єктів у результаті впливу на них інших.

Комплексні ознаки – закономірні поєднання прямих і непрямих ознак. Комплексні ознаки – це ознаки складних об'єктів.

На зображеннях, отриманих у різних діапазонах електромагнітних випромінювань, ознаки розпізнавання проявляються по-різному. Тільки знімки у видимому діапазоні спектра безпосередньо відображають об'єкти з усіма деталями, нагадуючи картину, що спостерігається візуально.

На космічних знімках, які отримані сучасними оптико-електронними засобами, форма об'єктів передається поки ще з недостатньою для однозначного сприйняття детальністю. Контури об'єктів виражаються більш узагальнено, без деталей, внутрішня структура (вежі, кабіни й ін.) зазвичай не виділяється або зображується плямами неправильної форми

Розмір зображення на оптико-електронних знімках змінюється по полю залежно від кута поля зору чи кута візування. У межах кута  $20^\circ$  зміни розміру зображення незначні, важко виявляються при вимірах і практично на точність розпізнавання не впливають. Однак, при більших кутах зору, розмір зображення суттєво змінюється (на краю знімка може складати усього від 1/2 до 1/8 і менше розміру такого ж об'єкта в центрі знімка), тому цей факт не враховувати не можна.

Тон зображення об'єктів на оптико-електронному знімку визначається наступними факторами: освітленістю місцевості, структурою поверхні і характером поширення відбитого світла, властивостями речовини поглинати і відбивати світлову енергію. Місцевість може бути освітлена прямим і розсіяним сонячним світлом. Розсіяне сонячне освітлення має місце при низькому стоянні Сонця і у разі перебування об'єкта в тіні від хмар. У цьому випадку на оптико-електронних знімках тіні від об'єкта і його деталей відсутні, зображення має низьку контрастність. На зображенні деяка розмитість створюється за рахунок закриття одних деталей іншими і більшої яскравості випуклих деталей. При прямому сонячному освітленні тон всіх об'єктів на зображенні визначається кутом падіння променів на його поверхню. Чим крутіше падають сонячні промені на поверхню, тим більше її освітленість, світліший тон зображення. Більш темною відобразиться ділянка, на яку промені падають під гострим кутом [1, 2].

Структура поверхні об'єкта також впливає на тон зображення, тому що визначає характер поширення в просторі сонячного світла. Характер зображення залежить від висоти нерівностей, довжини хвилі, кута опромінення поверхні та їх співвідношень.

Досвід дешифрування космічних знімків показує, що при проведенні дешифрування на етапі виявлення та розпізнавання до підкласу й типу доволі часто необхідно звертатись до довідкової інформації. При цьому склад довідкової інформації (для простих об'єктів) визначається рівнем розпізнавання [1-3, 7, 8]:

для розпізнавання до виду: місцеположення, граничні розміри і співвідношення сторін, характерні узагальнені деталі (конструкції), характерні розподіли яскравості внаслідок конструктивних особливостей;

до класу: характерні деталі конструкції, взаємне розташування деталей, межі габаритних розмірів;

до підкласу: межі габаритних розмірів, форма (загальна і деталей), розміри деталей;

до типу: індивідуальні особливості форми, розмірів, кількості і взаємного розташування деталей.

Апріорна інформація є складовою довідкової і має включати прямі, непрямі та комплексні ознаки. Апріорна інформація в наш час подається в наступній формі:

По-перше. У вигляді примітивів: еталонних зображень, дешифрувальних ключів або карток-еталонів, характерних деталей об'єктів визначеного типу.

По-друге. Як описи простих об'єктів: зображення типового об'єкта, характерні ознаки та їх опис, тактико-технічні характеристики, особливості застосування та функціонування. Описи простих об'єктів можуть пред'являтися як в друкованому так і електронному вигляді. У будь-якому випадку, дешифрувальнику потрібно витратити певний час на пошук та аналіз додаткової інформації, що, в свою чергу, знижує оперативність дешифрування космічних знімків.

Очевидно, що при дешифруванні оператор повинен мати можливість, крім основної, характерної інформації, в інтерактивному режимі мати доступ до додаткової інформації. При цьому додаткова інформація має відповідати рівню дешифрування, на якому проводиться обробка зображення.

### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

Проведений аналіз показує, що переважні часові затрати на дешифрування ( $\approx 70\%$ ) витрачаються на етапі пошуку та виявлення складного об'єкта, зон розташування простих об'єктів та детального дешифрування, основним змістом якого є розпізнавання простих об'єктів. Виходячи з цього, перспективним напрямом подальших досліджень доцільно визначити підвищення оперативності всього процесу дешифрування за рахунок автоматизації процесу виявлення та розпізнавання простих об'єктів за матеріалами космічної зйомки з використанням еталонних зображень моделей об'єктів.

**Література**

**1. Карпович И. Н.** Военное дешифрирование аэроснимков / И. Н. Карпович. – М.: Воен. изд-во, 1990. – 543 с. **2. Злобин В. К.** Обработка аэрокосмических изображений / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 288 с. **3. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції: Монографія / [Артюшин Л. М., Мосов С. П., П'яковський Д. В., Толубко В. Б.]. – К.: НАОУ, 2002. – 208 с. **4. Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення. Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку / [Негода О. О., Толубко В. Б., Мосов С. П., Пічугін М. Ф.]. – К.: НАОУ, 2005. – 271 с. **5. Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: Навчальний посібник /******

[Пастушенко М. С., Присяжний В. І., Яндівський В. О. та ін.]. – Харків: ХВУ, 2003. – 191 с. **6. Вишняков В. Ю., Гринюк С. В., Глушенко О. М., Стасюк В. М.** Автоматизація оброблення інформації дистанційного зондування Землі для вирішення завдань оперативного моніторингу території України // Збірник наукових праць. Вип. 11. За матеріалами XV та XVI наукових конференцій ЖВІРЕ / Житомир. військ. ін-т радіоелектроніки імені С. П. Корольова. – Житомир: ЖВІРЕ, 2007. – С. 44-51. **7. Попов М. А., Гринюк С. В., П'онтківський П. М.** Стан і перспективи розвитку гіперспектральних систем аерокосмічної розвідки // Наука і оборона, № 2, 2012. – с. 39-48. **8. Моисеев В. Л.** Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков. Часть 2 / В. Л. Моисеев, М. А. Попов. – К.: КИ ВВС, 1992. – 337 с.

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

*Александр Васильевич Лавринчук (канд. техн. наук, ст. науч. сотр., начальник НИЛ)*

*Сергей Владимирович Гринюк (слушатель)*

*Михаил Юрьевич Ракушев (д-р техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедры)*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*Статья посвящена анализу процесса выявления и распознавания объектов по данным космической съемки, при этом технология военного дешифрирования представлен четырьмя уровнями, которые обусловлены прямыми и обратными связями между собой и образуют несколько локальных систем. Поскольку подавляющее большинство времени на проведение дешифрирования тратится на этапе распознавания простых объектов, повысить его оперативность предложено за счет автоматизации процесса обнаружения и распознавания простых объектов путем использования изображений моделей объектов в качестве эталонов.*

**Ключевые слова:** космический снимок; дешифрирование; изображение объекта.

**ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF SPACE IMAGES DECRYPTION**

*Oleksandr V. Lavrinchuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief of the Scientific-Research Laboratory)*

*Serhii V. Hryniuk (Military Student)*

*Mykhailo Yu. Rakushev (Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department)*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The article is devoted to the analysis of the process of detecting and recognizing objects from the space monitoring data, while the military decryption technology is represented by four levels, which are caused with direct and inverse connections between themselves and form some local systems. Because most part of the time for decryption is spent at the stage of recognition of simple objects, to increase its efficiency proposed by automating the process of detection and recognition of simple objects by using the images of objects models as templates.*

**Keywords:** space image; decryption; image of the object.

**References**

**1. Karpovich I.N.** (1990), Military decoding of aerial photographs. [*Voennoe deshyfirovanie aэrosnimkov*], Military Publishing, Moscow, 543 p. **2. Zlobin V.K.** (2006), Aerospace images processing. [*Obrabotka aerokosmicheskikh izobrazhenii*], FIZMATLIT, Moscow, 288 p. **3. Artiushyn L.M., Mosov S.P., Piaskovskiy D.V., Tolubko V.B.** (2002), Aerospace intelligence in local wars of nowadays: experience, problem issues and trends. [*Aerokosmichna rozvidka v lokalnykh viinakh suchasnosti: dosvid, problemni pytannia i tendentsii*], NDAU, Kyiv, 208 p. **4. Nehoda O.O., Tolubko V.B., Mosov S.P., Pichuhin M.F.** (2005), Foreign dual purpose systems of remote sensing of the Earth from space. History, operating principles, application and development prospects. [*Zarubizhni systemy dystantsiinoho zonduvannia Zemli z kosmosu podviinoho pryznachennia. Istorii stvorennia, pryntsypy dii, zastosuvannia i perspektyvy rozvytku*], NDAU, Kyiv, 271 p. **5. Pastushenko M.S., Prysiazhnyi V.I., Yandovskiy V.O. and others** (2003), Using of space

systems to support the actions of the Armed Forces. [*Zastosuvannia kosmichnykh system dlia zabezpechennia dii Zbroinykh Syl*], KhMU, Kharkiv, 191 p. **6. Vyshniakov V.Iu., Hryniuk S.V., Hlushchenko O.M., Stasiuk V.M.** (2007), Automation of data processing of remote sensing for solving operational monitoring of the territory of Ukraine. [*Avtomatyzatsiia obrobлення informatsii dystantsiinoho zonduvannia Zemli dlia vyrishennia zavdan operativnoho monitorynhu terytorii Ukrainy*], On the materials of the XV and XVI scientific conferences of ZMIRE, No.11, pp. 44–51. **7. Popov M.A., Hryniuk S.V., Piontkivskiy P.M.** (2012), The state and prospects of aerospace intelligence hyperspectral systems development. [*Stan i perspektyvy rozvytku hiperspektralnykh system aerokosmichnoi rozvidky*], Nauka i oborona, No.2, pp. 39–48. **8. Moiseev V.L., Popov M.A.** (1992), Photogrammetric processing and deciphering of aerial photographs. [*Fotogrammetricheskaia obrabotka i deshyfirovaniie aэrosnimkov*], KMAIF, Kyiv, 337 p.