

¹Сергій Іванович Болобан (канд. техн. наук, с.н.с.)²Віталій Володимирович Зуйко (канд. військ. наук)¹Руслан Миколайович Осадчук (канд. техн. наук)¹Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова, Житомир, Україна²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ НА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗНІМКАХ

На основі аналізу радіолокаційних знімків розкриваються особливості формування радіолокаційних зображень нерухомих об'єктів та їх дешифрувальних ознак. Розглядаються знімки ділянок земної поверхні, що отримані за допомогою радіолокаційних систем знімання космічного базування у порівнянні зі знімками оптичного діапазону хвиль тих самих ділянок.

Ключові слова: космічна система дистанційного зондування Землі; радіолокаційне зображення; дешифрувальна ознака.

Вступ

Постановка проблеми. Успішність вирішення багатьох видів військових та цивільних задач залежить від наявності достовірної інформації. Така інформація, в тому числі, може бути отримана в результаті дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космічних апаратів та повітряних суден [1, 2]. Особливе місце серед засобів дистанційного зондування займають радіолокаційні станції землеогляду з синтезованою апертурою антени (РСА), в наслідок принципових переваг, що їм притаманні. РСА дозволяють отримувати радіолокаційні зображення (РЛЗ) земної поверхні високої та надвисокої розрізненості у будь-який час доби, незалежно від рівня освітленості поверхні, на значних відстанях спостереження та, фактично, за будь-яких метео умов [3]. Завдяки цьому, в останні роки дуже значна увага приділяється застосуванню радіолокаційних засобів для вирішення задач огляду земної поверхні, виявлення малорозмірних об'єктів, отримання високо детальних зображень місцевості [4, 5].

Отримані від космічних або повітряних РСА дані проходять через декілька етапів обробки. Найбільш відповідальним, трудомістким та складним є процес дешифрування РЛЗ. Цей процес відноситься до інтелектуального й важко формалізованого виду людської діяльності і саме він є ключовим у визначенні ефективності всієї системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в цілому [6-8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна кількість публікацій стосовно РСА присвячена принципам їх побудови та особливостям функціонування [3, 9-11], однак, особливості формування РЛЗ об'єктів, їх дешифрувальних ознак розглянуті фрагментарно. Окремі акценти зроблені на дешифруванні водної поверхні [8], льодової обстановки [8, 10], плавзасобів [10], елементів рельєфу [12, 13], штучних споруд [14], будівель [15, 16] або

наведені результати експертних досліджень, щодо здатності фахівців дешифрувати РЛЗ на базі досвіду роботи зі знімками, отриманими в оптичному діапазоні хвиль [17]. Тому дослідження щодо розвитку теорії й практики дешифрування РЛЗ на сучасному етапі розвитку систем ДЗЗ є важливим напрямком у розвитку основ науково обґрунтованої експлуатації радіолокаційних засобів ДЗЗ.

Метою статті є узагальнення даних щодо особливостей формування та прояву дешифрувальних ознак нерухомих об'єктів на базі досвіду роботи з РЛЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження

В силу специфіки дифракції електромагнітних хвиль (ЕМХ) радіодіапазону на поверхнях складної форми та специфічних особливостей радіолокаційного знімання – відтворення форми, розмірів, взаємного розташування об'єктів на РЛЗ може значно відрізнитися від зображень, що отримуються в оптичному діапазоні за аналогічної або ж навіть більшої розрізненості. З цих же причин істотно знижується інформативність текстурних і тонових ознак, які визначаються структурою і характеристиками елементів поверхонь об'єктів.

РЛЗ об'єктів складної форми формуються сукупністю окремих яскравих плям від “блискучих точок” об'єкту, що створюють потужний відбитий сигнал у напрямку на РСА. “Блискучі точки” утворюються поверхнями об'єктів, розташованими перпендикулярно до напрямку опромінення або елементами об'єкта, що утворюють кутові відбивачі. Конкретний вигляд РЛЗ об'єкта складної форми залежить від його орієнтації до напрямку опромінення, тому при зміні орієнтації змінюється кількість і взаємне розташування “блискучих точок”. Наявність інтенсивного відбиття суттєво полегшує виявлення складних штучних об'єктів, однак в окремих випадках не дає можливості проводити їх детальне розпізнавання (рис. 1).

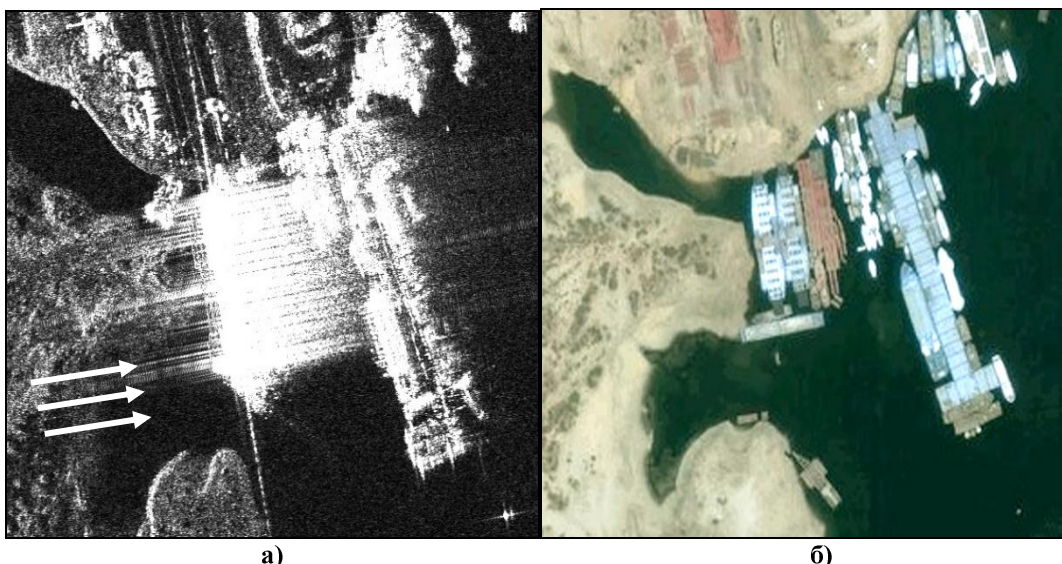


Рис. 1. Спотворення радіолокаційного зображення (стрілками вказано напрямок опромінювання EMX PCA) за рахунок потужного відбиття від поверхонь штучних об'єктів складної форми (а); оптичне зображення тієї ж ділянки місцевості (б)

При зміні ракурсу спостереження значно змінюється форма і текстурні портрети РЛЗ однотипних об'єктів, що ускладнює їх візуальне розпізнавання операторами, які мають досвід дешифрування лише оптичних знімків. Так на

рисунку 2 представлено радіолокаційний та оптичний знімок з зображеннями однотипних будівель. Спотворення форми будівель на радіолокаційному знімку не дає змоги встановити факт їх однотипності без додаткових даних.

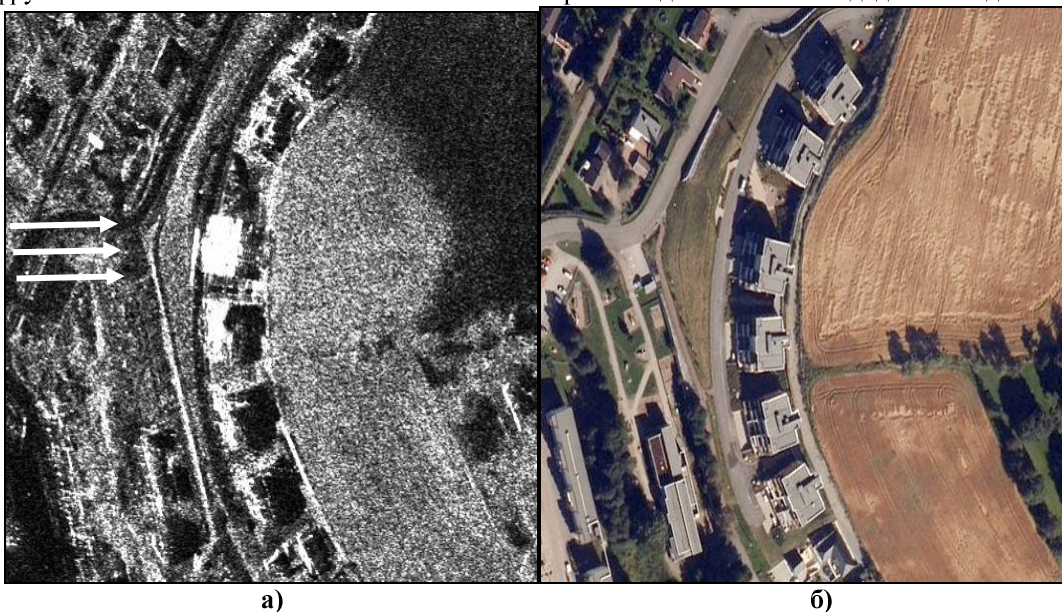


Рис. 2. Спотворення форми зображень однотипних будівель на радіолокаційному знімку (а) (стрілками вказано напрямок опромінювання EMX PCA); оптичне зображення тієї ж ділянки місцевості (б)

Тіні від об'єктів на радіолокаційних знімках мають істотні відмінності від тіней на інших видах знімків, зокрема:

радіолокаційні тіні завжди розташовані за напрямком зйомки;

об'єкти, які розташовані в області тіні, на радіолокаційному знімку не зображуються.

При значних кутах візування висотні об'єкти можуть зображуватись зі значними викривленнями. Елементи рельєфу, нерівна та гірська місцевість зображується складним

малюнком, спостерігається залежність яскравості зображення схилу узвишся від напрямку на джерело випромінювання.

На фронтальних схилах локальні кути падіння будуть меншими ніж на горизонтальній поверхні, тому зображення схилів матимуть світліший тон. На зворотних схилах кути падіння будуть більшими, що робить їх темнішими на зображенні. У підсумку в залежності від ракурсу знімання буде змінюватися загальний вигляд зображення гористої місцевості (рис. 3).

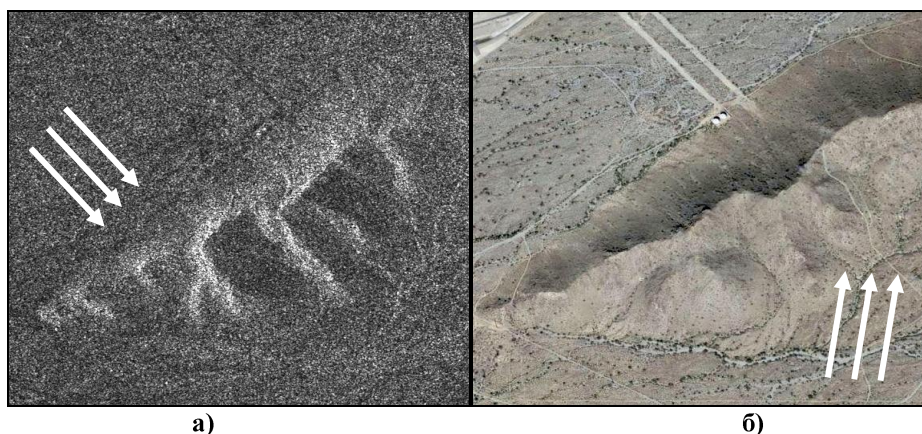


Рис. 3. Зображення гористої місцевості: а – радіолокаційний знімок (стрілками вказано напрямок опромінювання ЕМХ РСА); б – оптичний знімок тієї ж ділянки місцевості (стрілками вказано напрямок освітленості)

Для висотних об'єктів на РЛЗ характерний ефект “оберненої висоти” (layover effect). Ефект “оберненої висоти” виникає коли ЕМХ, що випромінюються РСА досягають вершини об'єкта раніше Н, а ніж його основи В (рис. 4). Відповідно, на РЛЗ зображення вершини об'єкта зміщено відносно свого дійсного положення у бік РСА

(основа і вершина на РЛЗ “мінються” місцями). Зображення точки Н сформується в місці де і зображення точки Н' горизонтальної поверхні. Таке зворотне зображення висотних об'єктів на РЛЗ не відповідає звичному їх зображенню на знімках оптичного діапазону за перспективною зйомки.

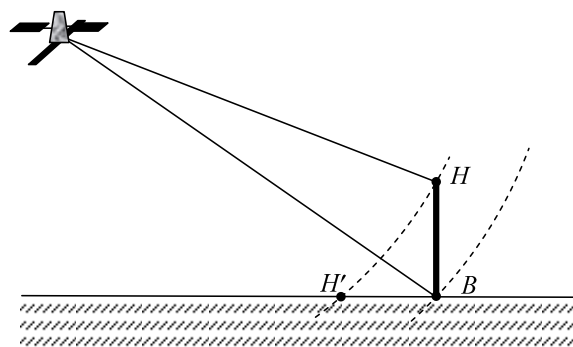


Рис. 4. До пояснення ефекту “оберненої висоти”

Дуже чітко проявляється ефект “оберненої висоти” для штучних висотних об'єктів. На рисунку 5 наведено приклади знімків опори

високовольтної лінії електропередач. З рисунку 5 а видно, що зображення опори ніби “лежить” на земній поверхні в напрямку на РСА.

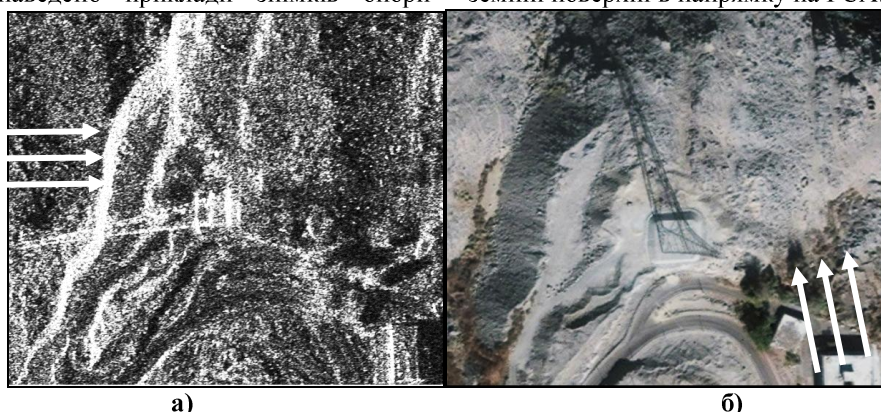


Рис. 5. Зображення опори лінії електропередач: а – радіолокаційний знімок (стрілками вказано напрямок опромінювання ЕМХ РСА); б – оптичний знімок тієї ж ділянки місцевості (стрілками вказано напрямок освітленості)

Близьким до ефекту “оберненої висоти” є ефект “зміщення рельєфу” (foreshortening effect) – звуження зображень фронтальних схилів вздовж похилої дальності та видовження зворотних схилів (рис. 6). Зображення вершини гори зміщується на

знімку у бік РСА, тому схил перпендикулярний напрямку опромінення ЕМХ РСА на зображенні перетворюється в стиснену світлу смугу (рис. 7), у той же час зворотні (затінені) схили здаються видовженими.

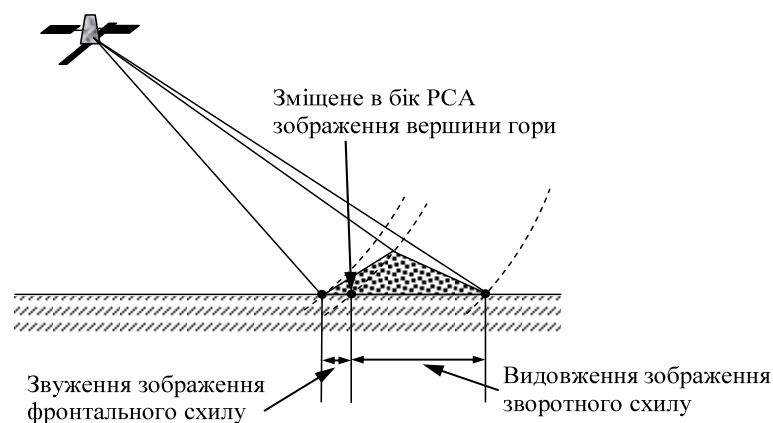


Рис. 6. До пояснення ефекту “зміщення рельєфу”

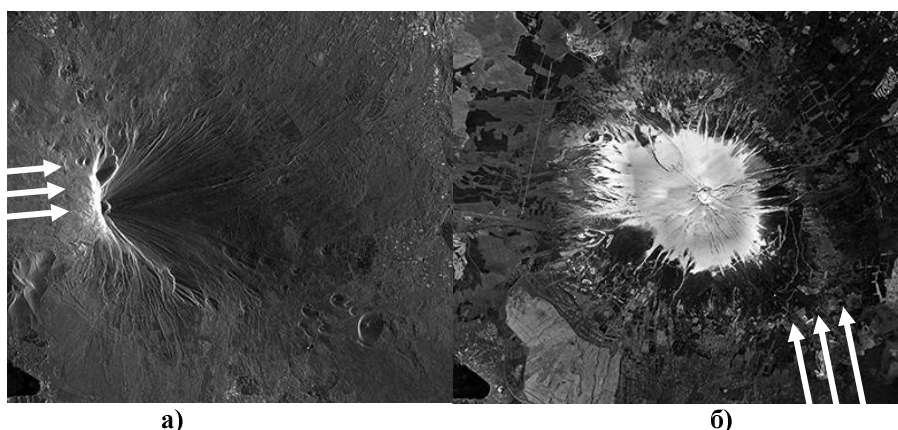


Рис. 7. Зображення височини: а – радіолокаційний знімок (стрілками вказано напрямок опромінювання ЕМХ РСА); б – оптичний плановий знімок тієї ж ділянки місцевості

Об'єкти або конструкції, розташовані над поверхнею зі значним коефіцієнтом відбиття, (наприклад міст над водою), можуть створювати багаторазове відбиття та декілька відміток на РЛЗ (рис. 8). Перша відмітка (найближча до РСА) формується безпосереднім відбиттям ЕМХ від конструкції мосту. Друга (середня) відмітка створюється перевідбиттям ЕМХ, відбитих

конструкціями мосту, від води у бік РСА. Третя найменш яскрава відмітка є відмітка від ЕМХ, що пройшли подвійне відбиття від мосту та одноразове від води. На РЛЗ можуть спостерігатися відмітки і від перевідбиттів більш високих порядків, але вони мають значно темніший тон.

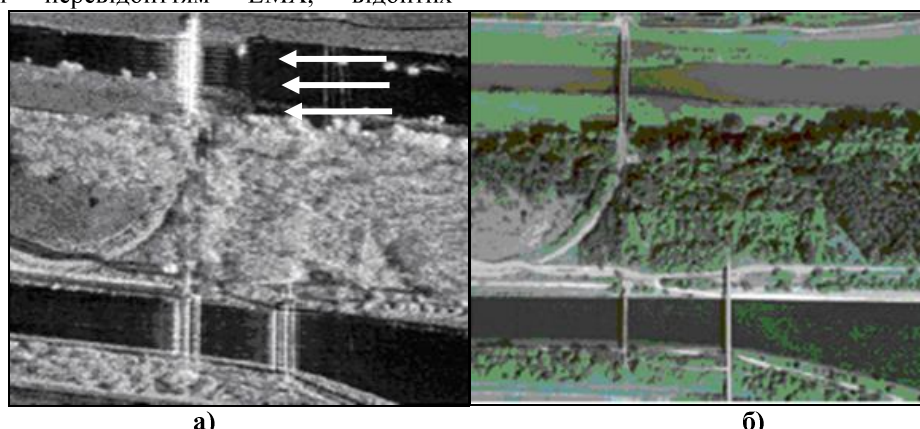


Рис. 8. Зображення мостових конструкцій над водною поверхнею: а – радіолокаційний знімок (стрілками вказано напрямок опромінювання ЕМХ РСА); б – оптичний знімок тієї ж ділянки місцевості

На рисунку 9 а наведено знімок залізобетонного мосту, який розташовано над поверхнею з дифузним характером відбиттям (сухим руслом річки). Верхнє покриття мосту має

дзеркальний характер відбиття. Спостерігається спотворення зображення мосту. Візуально міст нібито зміщений від реального положення в бік від РСА.



Рис. 9. Спотворення зображення мосту над дифузною поверхнею на радіолокаційному знімку (а) (стрілками вказано напрямок опромінювання ЕМХ РСА); оптичний знімок тієї ж ділянки місцевості (б)

Розглянемо РЛЗ від фрагменту мосту, розташованого над дифузною поверхнею S (рис. 10). Світла ділянка $A'D'$ РЛЗ формується одночасним відбиттям від поверхні мосту та ділянки під мостом, при чому основний вклад в формування тону зображення буде вносити безпосередньо ділянка під мостом, враховуючи

дзеркальний характер відбиття поверхні мосту. Темна ділянка $D'B'$ створюється лише дзеркальним відбиттям від мосту, а ділянка $B'E'$ є областю радіолокаційної тіні. Розділити за тоном ці дві ділянки неможливо. В результаті на РЛЗ спостерігається зображення мосту зміщене від реального розташування в бік від РСА.

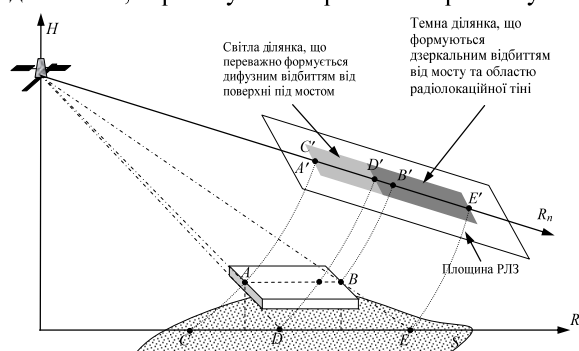


Рис. 10. Ефект зміщення зображення мосту розташованого над поверхнею з дифузним відбиттям

Окремо слід відмітити особливості формування радіолокаційних зображень від штучних об'ємних об'єктів (споруд). Розглянемо в якості об'єкта спостереження прямокутний паралелепіпед висотою h (рис. 11), що імітує будівлю з плоским дахом. Позначимо на об'єкті три точки A, B, C . ЕМХ з початку потрапляє на ребро об'єкту, що містить точку B , відбивається від нього та починає формувати зображення об'єкту (по похилій дальності точка B'). Далі відбиття поступає одночасно від бічної (що містить відрізок AB), верхньої грані (BC) об'єкту та прилеглої території

і формує зображення, що має однорідний сірий тон (з врахуванням наявності спекул-шуму). Бічна поверхня об'єкту та ділянка поверхні в районі нижнього ребра, що містить точку A формує, по суті, кутовий відбивач, який зображується дуже світлою, але неширокою ділянкою (по похилій дальності точка A'). В подальшому, до ребра з точкою C відбиття відбувається лише від даху об'єкту і формує на зображенні ділянку сірого тону до точки C' по похилій дальності. Остання ділянка зображення об'єкту це ділянка РЛ тіні об'єкту, що має темний тон.

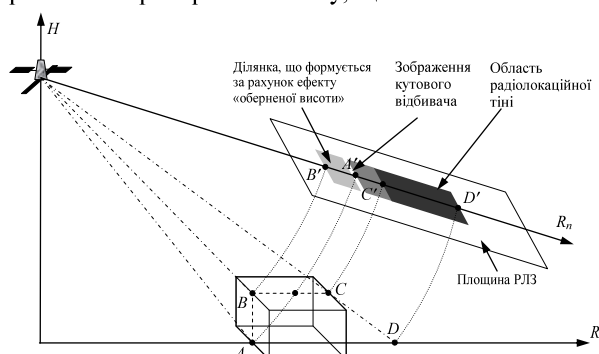


Рис. 11. Особливості формування радіолокаційного зображення від штучної споруди

На рисунку 12 представлено радіолокаційний та оптичний знімки групи будівель з двоскатними похилими дахами. Зображення будинків на радіолокаційному знімку мають певну особливість – яскраві смуги, які перпендикулярні напрямку

опромінення EMX PCA. Смуга найближча до PCA формується, в даному випадку, скатом похилого даху поверненим до PCA. Наступна смуга формується кутовим відбивачем створеним бічною стінкою споруди та прилеглою ділянкою території.



Рис. 12. Зображення будівель з двоскатними дахами: а – радіолокаційний знімок (стрілками вказано напрямок опромінювання EMX PCA); б – оптичне зображення тієї ж ділянки місцевості

Висновки й перспективи подальших досліджень

Застосування наведених даних про особливості прояву дешифрувальних ознак нерухомих об'єктів

на РЛЗ дасть змогу підвищити достовірність результатів обробки радіолокаційних знімків та ефективність застосування радіолокаційних систем ДЗЗ в цілому.

Література

1. **Аерокосмічна** розвідка в локальних війнах сучасності / [Артюшин Л. М., Мосов С. П., Пясковський Д. В., Толубко В. Б.]. – К.: НАОУ, 2002. – 208 с. 2. **Рис У. Г.** Основы дистанционного зондирования / Рис У. Г.; [перевод с англ. М. Б. Кауфман, А. А. Кузьмичева]. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с. 3. **Радиолокационные** станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / [В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др.]; под ред. В. Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с. 4. **Алябьев А. А.** Использование материалов радиолокационной космической съемки для информационного обеспечения мониторинга пространственных данных / А. А. Алябьев, В. Т. Коберниченко // Геодезия и картография. – 2007. – № 5. – С. 37-45. 5. **Верба В. С.** Тенденции развития систем радиолокационного наблюдения космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, С. С. Поливанов // Наукоемкие технологии. – 2009. – Т. 10. – № 8. – С. 3–9. 6. **Радиолокационные** системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / [Школьный Л. А., Детков А. Н., Карпов О. А. и др.]; под ред. Л. А. Школьного. – М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 2008. – 531 с. 7. **Болобан С. І.** Дешифрування аерокосмічних знімків. Частина перша / С. І. Болобан, О. Є. Горшенін. – Житомир: ЖВІ, 2009. – 292 с. 8. **Аковецкий В. И.** Дешифрирование снимков / Аковецкий В. И. – М.: Недра, 1983. – 374 с. 9. **Неронский Л. Б.** Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и

атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны / Неронский Л. Б., Михайлов В. Ф., Брагин И. В. – СПб.: СПбГУАП, 1999. – 220 с. 10. **Радиолокационные** системы земле обзора космического базирования [Верба В. С., Неронский Л. Б., Осипов И. Г., Турук В. Э.]; под ред. В. С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с. – (Научная серия “Системы мониторинга воздушного космического пространства и земной поверхности”; кн. 3). 11. **Аэрокосмический** радиолокационный мониторинг Земли / [коллективная монография]; под ред. А. И. Канашенкова. – М.: Радиотехника, 2006. – 240 с. 12. **Smith R. B.** Introduction to Interpreting Digital Radar Images / Randall B. Smith. – MicroImages Inc., 2012. – 20 p. – Режим доступа: <http://www.microimages.com>. 13. **Richards J. A.** Remote Sensing with Imaging Radar / Richards J. A. Canberra: Springer, 2009. – 361 p. 14. **Oliver C.** Understanding Synthetic Aperture Radar Images / Oliver C., Quegan S. – SciTech Publishing, Inc., 2004. – 506 p. 15. **Soergel U.** Radar Remote Sensing of Urban Areas / Uwe Soergel – Leibniz Universität Hannover: Springer Dordrecht Heidelberg, 2010. – 277 p. – (Remote Sensing and Digital Image Processing, vol. 15). 16. **Stilla U.** High Resolution Radar Imaging Of Urban Areas / Uwe Stilla // Remote Sensing and Digital Image Processing. – 2010. – Vol. 10 – pp. 149-158. 17. **Предварительная** оценка дешифровочных свойств радарных космических снимков TerraSAR-X / Ю. И. Карионов, Н. К. Малявина // – Режим доступа: <http://www.racurs.ru>.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СНИМКАХ

¹Сергей Иванович Болобан (канд. техн. наук, с.н.с.)

²Виталий Владимирович Зуйко (канд. воен. наук)

²Руслан Николаевич Осадчук (канд. техн. наук)

¹Житомирский военный институт им. С. П. Корольова, Житомир, Украина

²Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

На основе анализа радиолокационных снимков раскрываются особенности формирования радиолокационных изображений неподвижных объектов и их дешифрирующих признаков. Рассматриваются снимки участков земной поверхности, которые получены с помощью радиолокационных систем съемки космического базирования в сравнении со снимками оптического диапазона волн тех же самых участков земной поверхности.

Ключевые слова: космическая система дистанционного зондирования Земли; радиолокационное изображение; дешифрирующий признак.

FEATURES OF FORMING THE SUBJECT ON THE RADAR IMAGE

¹*Serhii I. Boloban (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

²*Vitalii V. Zuiko (Candidate of Military Sciences)*

²*Ruslan M. Osadchuk (Candidate of Technical Sciences)*

¹*Zhitomyr Military Institute named after S.P. Korolov, Zhitomyr, Ukraine*

²*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

Successful solutions of many types military and civilian tasks depends on the availability of reliable information. Such information can be obtained as a result of remote sensing of the Earth from space vehicles and underway aircraft. Among the means of remote sensing a special place occupy land survey radars with synthetic aperture antenna. The land survey radars with synthetic aperture antenna allow to receive radar display of the Earth surface high and ultra high fragmentation at any time of day, regardless of light level surface, at considerable distances surveillance and, in fact, in all weather conditions. In recent years, too considerable attention is paid the use of radar equipment to solve problems given the Earth's surface, the detection little sizes objects, getting of high detailed Earth surface display.

From space or aircraft land survey radars with synthetic aperture antenna obtained data passes through several stages of processing. The most responsible, time-consuming and difficult process is one of decrypting are radar images. This process refers to the intellectual and hard-formalized type of human activity and exactly it is key in determining the efficiency of the whole system remote sensing as a whole.

As long as research on the development of the theory and practice of radar images decryption in the current development of remote sensing surface is an important direction in the development of science-based foundations of maintenance the radar means of remote sensing surface.

Purpose of the article is the generalization of data on features of formation and manifestation decryptographic features of immovable objects based on experience with the radar images.

Keywords: space system for Earth remote sensing; radar image; decodes sign.

References

- 1. Artiushyn L.M.,** Mosov S.P., Piaskovskiy D.V., Tolubko V.B (2002), Aerospace intelligence in local wars of our time. [Aerokosmichna rozvidka v lokalnykh viinakh suchasnosti], Kyiv, NAOU, 208 p. **2. Ris U.G.,** (2006), Fundamentals of remote sensing. [Osnovy distantsionnogo zondirovaniya], perevod s angl. M.B. Kaufman, A.A. Kuzmicheva, Moscow, Tehnosfera, 336 p. **3. Radar digital** synthetic aperture antenna, (1988), [Radiolokatsionnye stantsii s tsifrovym sintezirovaniem apertury anteny], V.N. Antipov, V.T. Goryainov, A.N. Kulin i dr., pod red. V.T. Goryainova., Moscow, Radio i svyaz, 304 p. **4. Alyabev A.A.** (2007), Use material radar satellite imagery for monitoring information supply spatial data. [Isolzovanie materialov radiolokatsionnoy kosmicheskoy s'emki dlya informatsionnogo obespecheniya monitoringa prostranstvennykh dannykh], A.A. Alyabev, V.T. Kobernichenko, Geodeziya i kartografiya, No 5, pp. 37-45. **5. Verba V.S.,** Neronskiy L.B., Polivanov S.S. (2009), Tendencies of development of radar systems, space-based. [Tendentsii razvitiya sistem radiolokatsionnogo nablyudeniya kosmicheskogo bazirovaniya], Naukoemkie tehnologii, No 8, pp. 3-9. **6. Shkolnyiy L.A.,** Detkov A.N., Karpov O.A. (2008), Radar systems aerial reconnaissance, interpretation of radar images. [Radiolokatsionnye sistemyi vozduшной razvedki, deshifrirovaniye radiolokatsionnykh izobrazheniy] pod red. Shkolnogo L.A., Moscow, VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 531 p. **7. Boloban S.I.** Horshenin O.Ye. (2009), Decoding aerospace images. Part One. [Deshyfruvannia aerokosmichnykh znimkiv. Chastyna persha], Zhytomyr: ZhVI, 292 p. **8. Akovetskiy V.I.** (1983), Photo interpretation. [Deshifrirovaniye snimkov], Moscow.: Nedra, 374 p. **9. Neronskiy L.B.,** Mihaylov V.F., Bragin I.V. (1999), Microwave equipment remote sensing the Earth's surface and atmosphere. Synthetic aperture radar antenna. [Mikrovolnovaya apparatura distantsionnogo zondirovaniya poverhnosti Zemli i atmosfery. Radiolokatoryi s sintezirovannoy aperturoy anteny], SPb.: SPbGUAP, 220 p. **10. Verba V.S.,** Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk V.E. (2010), Radar systems Earth space review. [Radiolokatsionnye sistemyi zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya], Moscow: Radiotekhnika, 680 p. **11. Aerospace radar** monitoring of the Earth. [Aerokosmicheskii radiolokatsionnyy monitoring Zemli], (2006) [kollektivnaya monografiya], pod red. A.I. Kanaschenkova, Moscow: Radiotekhnika, , 240 p. **12. Smith R.B.** (2012) Introduction to Interpreting Digital Radar Images, Randall B. Smith, MicroImages Inc. 20 p. Available at: <http://www.microimages.com>. **13. Richards J.A.** (2009) Remote Sensing with Imaging Radar, Canberra: Springer, 361 p. **14. Oliver C.** (2004) Understanding Synthetic Aperture Radar Images, Quegan S., SciTech Publishing, Inc, 506 p. **15. Soergel U.** (2010) Radar Remote Sensing of Urban Areas, Uwe Soergel, Leibniz Universität Hannover: Springer Dordrecht Heidelberg, 277 p., (Remote Sensing and Digital Image Processing, vol. 15). **16. Stilla U.** (2010) High Resolution Radar Imaging Of Urban Areas, Uwe Stilla, Remote Sensing and Digital Image Processing, Vol. 10, pp. 149-158. **17. Karionov Yu.I.,** Malyavina N.K., Preliminary evaluation of the properties snapshot space radar decoding TerraSAR-X. [Predvaritel'naya otsenka deshifrovochnykh svoystv radarnykh kosmicheskikh snimkov TerraSAR-X], Available at: <http://www.racurs.ru>.

Отримано: 16.10.2015 p.