

## СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ І ПРОБЛЕМИ В ДОСЛІДЖЕННЯХ РОЗВИТКУ ТА СТАНУ ЛІСІВ

©Поліщук Б.В., 2008

*На основе анализа литературы рассмотрены достижения и проблемы, касающиеся развития динамики и состояния лесов. Сформулированы главные направления решения этой проблемы.*

*In the paper there are considered researches and problems concerning on development of forest dynamic and condition on the base of literature analysis. Main directions for solution of this problem are formulated.*

**Постановка проблеми.** Кінець ХХ – початок ХХІ століть у галузі наук про Землю характерні вибухом інформації, пов'язаної з її отриманням та обробкою. Насамперед сучасні методики розв'язання різноманітних прикладних завдань ґрунтуються на використанні аерокосмічної інформації. Важливим завданням як економічного, так і стратегічного характеру є дослідження динамічних змін та стану лісів. Про важливість проблеми свідчать законодавчі акти та програмні документи, прийняті Верховною Радою та Кабінетом Міністрів України стосовно збереження лісів та запобігання несанкціонованих вирубок.

Лісове господарство України ведеться на підставі лісового кодексу, прийнятого в 1999 р., а також з урахуванням інших нормативно-правових документів. Важливим для регулювання лісгосподарської діяльності, зокрема Карпатського регіону, є Закон "Про мораторій на проведення суцільних рубок на гірських схилах у ялиново-букових лісах Карпатського регіону" (2000 р.). У 2002 р. Уряд України прийняв Державну програму "Ліси України на 2002–2015". Пріоритетними напрямками Національної лісової стратегії проголошено:

- перевагу природоохоронного значення та необхідність раціонального використання лісових ресурсів;
- підвищення продуктивності та покращання породного складу лісових насаджень;
- підвищення стійкості лісових екосистем до негативних чинників, спричинених антропогенними порушеннями та глобальними змінами клімату.

Особливу увагу надано вживанню заходів з лісовідновлення, збалансованого лісокористування, створення позахисних смуг та захисних насаджень для запобігання ерозії ґрунтів, захисту лісів від пожеж, шкідників та захворювань. Лісозаготівлю потрібно здійснювати на принципах тривалого та раціонального використання лісових ресурсів, відновлення цінних лісових порід, виконання санітарних вирубувань та розчищення лісу.

Спеціальними пунктами у Програмі позначено напрями лісгосподарської діяльності у гірських та передгірських умовах, а саме: лісонасадження букових та дубових лісів замість вторинних ялинових насаджень; створення та відновлення захисних груп дерев та чагарників на верхній межі лісів у горах; створення захисних лісових насаджень вздовж малих рік; насадження на еродованих ділянках; відновлення лісових насаджень, зруйнованих стихійними лихами, розвиток мережі лісових доріг.

Успішне розв'язання цих вагомих завдань можливе на основі впровадження інноваційних методів отримання інформації про стан та динаміку змін лісових ресурсів, подальшого вдосконалення лісового моніторингу, методів прогнозу змін та забезпечення ефективного лісокористування.

Актуальність проблеми підсилена і аналізом причин повеневи явищ, зокрема в липні 2008 р., де однією з вагомих причин повеней та деформаційних процесів фахівці вважають неконтрольовану завищену вирубку лісів.

У світовій практиці моніторингу лісів з метою об'єктивного отримання інформації про їхній стан, а також динаміку змін та ефективний прогноз розвитку застосовують системний підхід, головною складовою якого виступають аерокосмічні спостереження. Особлива цінність таких спостережень пов'язана із застосуванням багато- та гіперспектральних аерокосмічних знімальних систем. Власне за допомогою таких знімальних систем можна отримати дані про вікові характеристики, типи порід, захворюваність, екологічні порушення тощо [4,5,14,16,28].

Така, нового типу, інформація можлива завдяки відтворенню зображень у вузьких спектральних зонах (10–20 нм).

**Постановка задачі дослідження.** В задачу дослідження входить аналіз літератури з питання моніторингу лісів, розгляд складових системного підходу, а також їх можливостей для отримання об'єктивної, ефективної з економічного погляду, інформації для вивчення динаміки розвитку і стану лісів. Головним завданням такого дослідження є формулювання суперечливих підходів та невирішених питань проблеми. Не останнє місце займає й візуалізація результатів та принципи створення ГІС-систем оброблення інформації з моніторингу лісів.

**Виклад основного матеріалу.** Численна література з питань дослідження розвитку та стану лісів різних регіонів Європейського та Азійського континентів зумовила розділений її огляд за такими основними напрямками:

- 1) сучасні аерокосмічні знімальні системи, використовувані для аналізу стану лісів;
- 2) сучасні підходи до визначення інформативності аерокосмічних зображень;
- 3) математичні методи оброблення інформації для класифікації зображень;
- 4) методи та підходи створення ГІС-систем;
- 5) обґрунтування пріоритетних напрямків розвитку методів оцінки стану та динаміки розвитку лісів.

Необхідність здійснення моніторингу лісів на великих територіях, як і пов'язаних з цим інших природоохоронних завдань, сприяли розвиткові дистанційних методів отримання інформації про різноманітні процеси та явища. Величезні можливості відкрили космічні супутникові системи в забезпеченні достовірності, оперативності і періодичності вимірювань, пов'язаних із дослідженням стану лісового покриву та динаміки його змін [6,8,19].

Фактично майже всі проблеми лісового господарства, зокрема, інвентаризація лісів, їхня охорона, боротьба з несанкціонованими вирубуваннями, екологічними порушеннями, вимагають актуальної та об'єктивної інформації про ліси.

Топографічні карти поновлюють практично раз на десять років, та й вони не містять інформації, необхідної для ефективного ведення лісгосподарства. Якщо й отримано оновлені дані про стан лісів, то на невеликі за обсягом території і мало доступні для користувачів [16].

Найактуальнішими матеріалами для виконання моніторингу лісів з метою раціонального природокористування є матеріали аерокосмічного знімання.

Варто відзначити, що сучасні космічні системи, зокрема Ikonos, Quick Bird, дасть змогу отримувати зображення з лінійним розрізненням на місцевості 0,6–1 м, що відповідає точності карти (плану) масштабу 1:5000.

У таблиці використано дані про розрізнення зображень сучасних космічних систем, подані в [4].

Потрібно зауважити, що за розрізненням  $\Delta$  зображення поділяються на: надвисокого розрізнення –  $\Delta < 1$  м; високого розрізнення –  $\Delta = 1–10$  м, середнього розрізнення –  $\Delta = 10–200$  м; низького розрізнення –  $\Delta > 200$  м. У [16] вказано, що визначити масштаби вирубування лісів, тобто ідентифікувати ділянки активного вирубування, можна за знімками середнього розрізнення. Для визначення площ лісовирубувань, проектування лісосік, лісових доріг використовують зображення з високим розрізненням.

## Розрізнення космічних зображень

Космічна система (країна)	Висота орбіти, км	Знімальні системи	Спектральний діапазон, мкм	Розрізнення, м
1	2	3	4	5
Иконос-2 (США)	681	SCT MS	0,38 – 0,76 0,38 – 1,4	1 4
Quick Bird-2 (США)	450	BHRC-60 MS	0,38 – 1,4 0,38 – 1,4	0,6 – 0,7 2,4 – 2,9
OrbView-3 (США)	430	ORHIS MSI	0,38 – 0,76 0,38 – 1,4	1 4
WorldView-1 (США)	800	Multi-spectral Camera-60	0,38 – 7,5	3
TopSat (Велика Британія)	600	RAL Camera	0,38 – 0,76	2,5
ALOS (Японія)	700	PRISM	0,38 – 0,76	2,5
Landsat-5 (США)	705	MSS TM	0,38 – 1,4 0,38 – 1,4	80 30
Landsat-7 (США)	705	ETM+	0,38 – 0,76 0,76 – 7,5	15 30
EO-1 (США)	697	Hyperion ALI	0,38 – 7,5 0,36 – 0,76 0,76 – 7,5	30 10 30
Terra (США, Японія)	685	MODIS  ASTER	0,38 – 1,4 1,4 – 7,5 7,5 мкм – 1 мм  0,38 – 1,4 1,4 – 7,5 7,5 мкм – 1 мм	250 500 1000  15 30 90
Radarsat-1 (Канада)		SAR	5,7 – 6,1 см	8-100
Radarsat-2 (Канада)		SAR	5,7 – 6,1 см	0,8 – 10
Spot-4 (Франція)	832	HRVIR	0,38 – 0,76 0,76 – 1,4	10 20
Spot-5 (Франція)	830	HRG HRS	0,38 – 0,76 0,76 – 1,4 0,38 – 0,76	2,5 10 10
IRS-1D (Індія)	817	Pan LIS-III WIFS	0,38 – 0,76 0,38 – 1,4 1,4 – 7,5 0,38 – 1,4	5,8 23,5 70,5 188
IRS-P5 (Індія)	617	APC	0,38 – 0,76	2,5
IRS-P6 (Індія)	820	LIS-III LIS-IV AWIFS	0,38 – 1,4 1,4 – 7,5 0,38 – 1,4 0,38 – 1,4	23,5 70,5 5,8 56
EROS-A (Ізраїль)	480	WISP	0,38 – 0,76	1,8

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
EROS-B (Ізраїль)	600	CCD/TDI	0,38 – 1,4	0,7 – 0,9
Cosmo-SkyMed (ESA)	619	OEA  SAR 2000	0,38 – 0,76 0,76 – 1,4 1,4 – 7,5 5,7 – 6,1 см	1 5 7,5 10 – 100
Hyperspectral Mission (ESA)	620	CIA	0,38 – 1,4 1,4 мкм – 1,0 мм	2 – 3 4 – 8
Комета (Росія)	211	КВР-1000 ТК-350	0,38 – 0,76 0,38 – 0,76	2 10
Ресурс-ФІМ (Росія)	225	КФА-1000 КАТЭ-200	0,38 – 0,76 0,38 – 0,76	5 30
Ресурс-О1 (Росія)	650	МСУ-Э МСУ-СК	0,38 – 1,4 0,38 – 0,76 0,76 – 1,4	45 170 185
Алмаз-1Б (Росія)	400	МСУ-Э2 МСУ-СК  РСА-10 РСА-70	1,4 мкм – 1 мм 0,38 – 1,4 7,5 мкм – 1 мм 8,0 – 12 см 21 – 30 см	10 130 – 140 520 5 – 7 30
Океан-О (Росія, Україна)	668	МСУ-В  МСУ-СК  МСУ-М  РБО	0,38 – 1,4 1,4 – 7,5 0,38 – 1,4 7,5 – 1 мм 0,38 – 0,76 0,76 – 1,4 1,4 – 7,5 2,9 см – 3,3 см	50 100 160 600 1000 1300 1700 1300
Січ-1М (Україна)	650	МСУ-ЭУ МСУ-М РМ 0,8 РБО	0,38 – 0,76 0,76 – 1,4 0,38 – 7,5 1 мм – 10 мм 2,9 – 3,3 см	24 34 2000 25000 1300

Космічне знімання з високим та надвисоким розрізненням дає можливість ідентифікувати окремі дерева, що дає змогу ефективно виконувати моніторинг лісів, замінивши аерофотознімання космічним зніманням.

На українському і російському ринках представлено продукцію знаних космічних фірм із США, Індії, Канади, Франції та інших країн, яка використовується в різних галузях науки та економіки. Відомою в нашій країні є російська організація “СканЭкс”, яка здійснює ліцензійне приймання космічної інформації з різних космічних апаратів [8].

У зв’язку з загостренням екологічних проблем, як і нерационального стихійного ведення лісового господарства, в останні десятиліття спостерігається значний інтерес до моніторингу лісів, що виражено у спеціальній літературі [14,15,18,24]. Основними етапами моніторингу лісів з використанням аерокосмічної інформації є такі:

- отримання та попереднє оброблення аерокосмічної інформації;
- отримання і нагромадження наземної інформації, яка стосується лісотехнічних характеристик;
- сумісне оброблення аерокосмічної та наземної інформації;

– аналіз результатів та прогнозування стану розвитку лісів, зокрема наслідків лісогосподарської діяльності.

Визначення багатьох характеристик стану лісів, таких, як вид порід, вікових характеристик, ділянок захворюваності лісів, екологічного стану, у світовій практиці реалізується на підставі застосування багато- та гіперспектральних знімальних систем [4,9,20,25,26,30]. Відзначимо деякі опрацювання з цього питання, виконаних у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Академії наук України [4,19,20,21]. Важливим є відбір порівняно невеликої кількості спектральних каналів, які б забезпечували заданий критерій інформативності. З математичного погляду це є задача статистичної оптимізації гіперспектральних зображень [22, 23].

Для оцінювання інформативності гіперспектральних зображень запропоновано поняття еквівалентної просторової розрізненості [23]. Еквівалентну просторову розрізненість знаходять, задаючи максимально допустиму імовірність помилки.

Загальним підходом до статистичного оброблення гіперспектральних зображень є перехід від багатовимірних даних до еквівалентних плоских, що дає змогу забезпечити розв'язання конкретної тематичної задачі. У [23] запропоновано просторово-частотну модель гіперспектральних зображень, яка ґрунтується на поєднанні статистичного підходу з класичною, добре опрацьованою [7,10,13] просторово-частотною моделлю.

Знанням у літературі є й інший підхід на підставі фізичної парадигми, коли за матеріалами аерокосмічного знімання отримують розподіл фізичних величин у межах фізичної моделі.

Оскільки оцінювання інформативності каналів, як і подальше опрацювання зображень виконують для розв'язання конкретних тематичних задач важливе значення мають бібліотеки спектральних характеристик об'єктів [27].

У [5, 11] вказано на доцільність застосування сукупних підходів до оброблення зображень, базованих на засадах керованої класифікації, кластерного аналізу та методах декомпозиції спектральних сумішей.

Методи попиксельної класифікації зображень дозволяють достатньо точно виділяти однорідні насадження.

У [1] автор наголошує на важливості апріорних знань про породну структуру лісів, рівень розділення порід за спектральними характеристиками. Автор відзначає переваги методу декомпозиції спектральних сумішей порівняно з методом керованої класифікації.

Процес класифікації лісів є ітераційним. Вектор вимірювання кожного пікселя порівнюють з кожною сигнатурою, відповідно до алгоритму. Для параметричних методів найуживанішими є такі способи розв'язання:

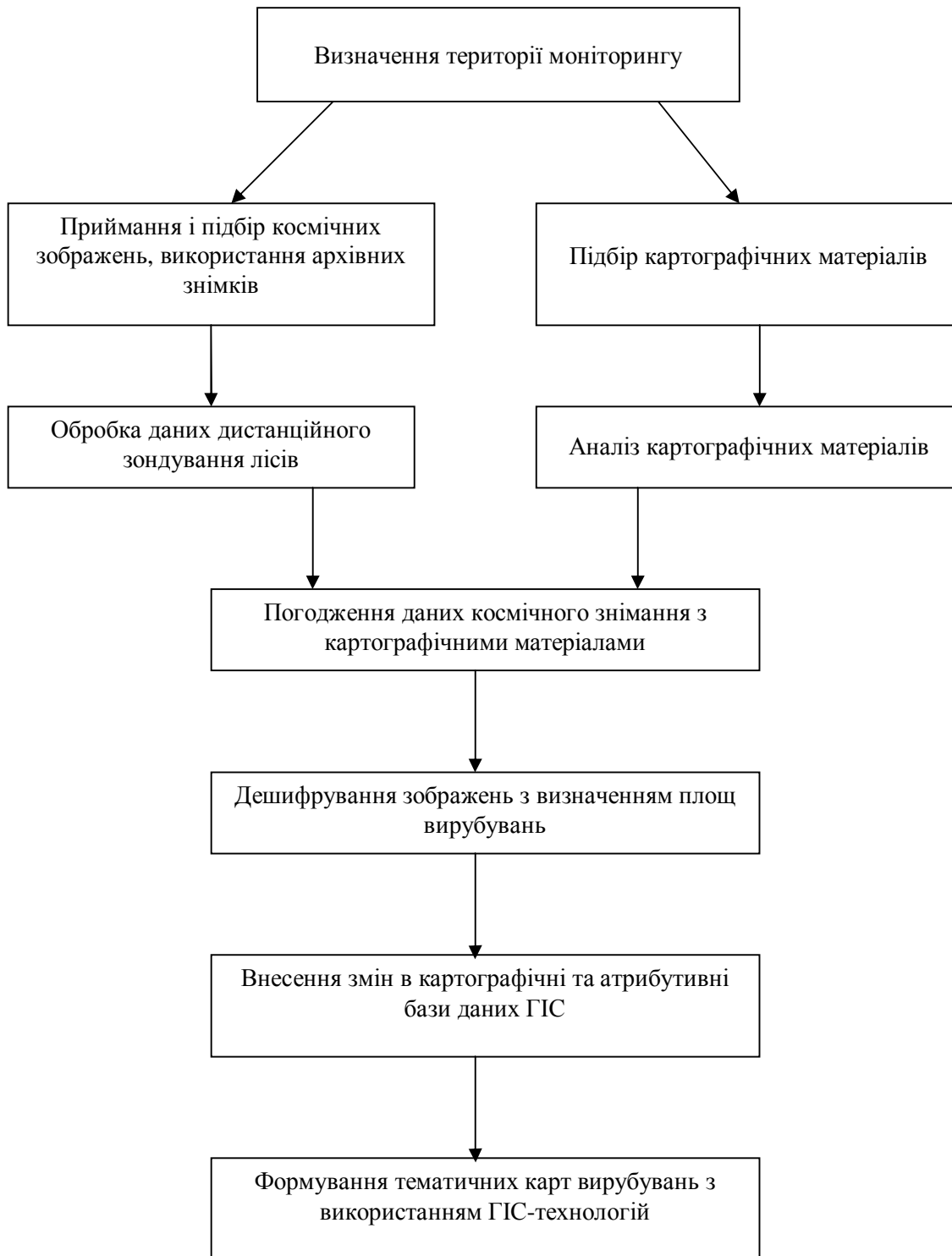
- мінімальні відстані;
- відстані Махалобіса;
- максимальної вірогідності.

Основні залежності способів наведено в [4].

Розвиток геоінформаційних систем і методів дистанційного зондування забезпечують вихід моніторингу лісів на якісно новий рівень для розв'язання різних задач оцінювання стану лісів та лісогосподарської діяльності. Особливої актуальності набуває оцінювання несанкціонованих вирубок та проектування розчисних смуг.

На рисунку подано технологічну схему створення карт вирубування лісів з використанням ГІС-технологій [3].

Використання ГІС-технологій дає змогу здійснити інтеграцію і сумісний аналіз даних різного формату і масштабу. Важливим є зіставлення результатів досліджень стану лісів за різні періоди, наприклад 80-ті роки минулого століття і сучасні дані. У [8] розглянуто методика екологічного моніторингу лісів національного парку “Куршська коса”. Вказано, що програмним забезпеченням слугують системи MAPINFO, TOPOL, ARCVIEW, IDRISI, ACCESS.



*Технологічна схема створення карт вирубувань лісів*

Окрему нішу займає програмне забезпечення компанії Leica Geosystems, яка на базі ERDAS IMAGINE активно розвиває програмний ряд. Якщо раніше засоби розв'язання фотограмметричних задач були додатковими модулями (OrthoBASE, OrthoBASE Pro, Stereo Analyst), то тепер вони виділені в новий продукт Leica Photogrammetry Suite (LPS). Тобто, тепер паралельно розвиваються два види продуктів на основі технології: ERDAS IMAGINE – універсальна програма для обробки

знімків та LPS-спеціалізована програма для розв'язання фотограмметричних задач. Автори [2,17] вважають такий підхід логічним, якщо врахувати багаторічну традицію відносної незалежності фотограмметрії та тематичної обробки. А загальна архітектура і програмні компоненти забезпечують тісну інтеграцію в проектах, де це необхідно.

У [29] вказано, що в лісовому господарстві Швеції активно використовуються космічні знімки оптичного діапазону середнього розрізнення, отримані із супутників Landsat і Spot. Однак, для отримання нових даних про стан лісів використовується лазерне сканування низької щільності реєстрації (1 імпульс/1 м<sup>2</sup>) для оцінювання запасу деревини і підвищеної щільності (5 імпульсів/1 м<sup>2</sup>), що дає можливість виявити висоту дерев, діаметр крон, розділити породи дерев. У цій самій праці подано результати використання для інвентаризації лісів бортового радара CARABAS діапазону ОБЧ з радарними хвилями 3–15 м, за допомогою якого можна оцінити запас стовбурів у бореальних лісах, а також виявити повалені вітром дерева під кронами дерев, що ростуть. Відзначено застосування для інвентаризації лісів безпілотних літаків з використанням середньоформатних цифрових камер.

**Висновки.** 1. Широкі можливості для інноваційних методів лісогосподарської діяльності надає отримання інформації з багатоканальних та гіперканальних аерокосмічних систем. Для ефективного їх використання рекомендовано застосовувати статистичні методи.

2. Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка моделей та методів оцінювання інформативності гіперспектральних систем.

3. Актуальним залишається створення бібліотек спектральних характеристик об'єктів.

4. Впровадження в лісогосподарську практику ГІС-технологій сприяє модернізації системи управління моніторингом лісів з метою вивчення динаміки їх розвитку та стану.

5. Перспективними напрямками виконання моніторингу лісів є застосування лазерних та радіолокаційних знімальних систем, а також використання безпілотних літаків.

6. Об'єктом лісогосподарської діяльності є лісова екосистема – складний живий організм, яка має географічні закономірності функціонування та розвитку. Знання цих закономірностей та їхнє врахування в практичній діяльності є необхідною умовою розвитку лісового господарства України.

1. Алексеев А. С. Теория и методика пространственного анализа разнообразия лесного растительного покрова с применением ГИС-технологий / IV Междунар. конф. "Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. – М., 2007. – С. 11–15. 2. Андрианов В.Ю., ДАТА+. Новые технологии дистанционного зондирования и работы с ДДЗ. [www.dataplus.ru/Arcrev/Number\\_34/1\\_VolAnd.html](http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_34/1_VolAnd.html). 3. Атрощенко О.А., Лецинский С.Ю. Информационные технологии в лесном хозяйстве Беларуси / IV Междунар. конф. "Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. – М., 2007. – С. 16–20. 4. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялько, М. О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. – 300 с. 5. Барталев С. А. Разработка методов оценки состояния и динамики лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Авт. дисс... докт. техн. наук. – М. – 2007. – 48 с. 6. Барталев С. А., Исаев А. С., Еришов Д. В. Актуальные задачи, возможности и перспективные направления развития методов спутникового мониторинга бореальных методов / IV Междунар. конф. "Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. – М., 2007. – С. 20–22. 7. Буритинська Х.В., Береза О., Поліщук Б. "До питання визначення функції передавання модуляції аерознімальних систем" // Геодезія, картографія і аерофотознімання, 2007. – Вип.68. – С. 163–171. 8. Гершензон О. Н. Космические программы ДЗЗ, доступные в России // Пространственные данные, 2005. – № 3. – С. 47–51. 9. Дистанционное зондирование: количественный подход / Под ред. Ф. Свитна и Ш. Дейв..., пер. с англ. – М.: Недра. 1983. – 396 с.

10. Живичин А. Н. Дешифрование фотографических изображений. – М.: Недра, 1980. – 246 с. 11. Каливанов А. Ж. Способы автоматической сегментации изображений // Исследование Земли из космоса. – 1997. – № 3. – С. 32–48. 12. Кононов В. И. Обоснование методики определения разрешения на местности аэрокосмических систем с дискретными фотоприемниками // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т. 8. – № 2/3. – С. 91–102. 13. Кононов В. И. Связь информационных и вероятностных оценок систем формирования изображений (иконических систем) // Оптико-механическая промышленность. – 1991. – № 11. – С. 13–18. 14. Корец М. А., Рыжикова В. А., Барталев С. А. Оценка состояния растительного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий с использованием данных ENVISAT-MERIS и Spot-Vegetation // Совер. пробл. дист. зонд. Земли из космоса: Сб. статей под ред. Е. А. Лунына и О. Ю. Лаврова, Т. 2, М.: “Азбука-2000”, 2006. – С. 330-334. 15. Коровин Г. Н., Барталев С. А., Беляев А. И. Интегрированная система мониторинга лесных пожаров // Лесное хозяйство, 1998. – № 4. – С. 45–48. 16. Маслов А. А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние, проблемы и перспективы // Лесной бюллетень, 2006. – № 1 (31). – С. 8–13. 17. Миклуш С.І., Горошко М.П., Часковський О.Г. Геоінформаційні системи в лісовому господарстві: Нав. посібник, Львів: Камула, 2007, – С.125. 18. Орлова О. Л., Князева С. В., Вуколова И. А., Рыльков О. В. Экспериментальные работы по экологическому мониторингу лесов территории национального парка “Курильская коса” с использованием аэрокосмической информации и ГИС-технологий / IV Междунар. конф. “Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. – М., 2007. – С. 214–217. 19. Попов М. О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки і оборони // Наука і оборона. – 2003. – № 2. – С. 38–50. 20. Попов М. О., Станкевич С. А., Молдаван В. Д. Гіперспектральна аерокосмічна інформація у виявленні та спостереженні об’єктів // Наука і оборона. – 2006. – № 3. – С. 25–31. 21. Станкевич С. А. К оценке линейного разрешения цифровых аэрокосмических снимков // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т. 8. – № 2/3. – С. 103-106. 22. Станкевич С. А. Оптимизация состава спектральных каналов гиперспектральных аэрокосмических изображений при решении задач дистанционного зондирования Земли // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т. 13. – № 2. – С. 25–28. 23. Станкевич С. А. Статистичні аспекти визначення функції передавання модуляції аерокосмічних іконічних систем з дискретними фотоприймачами // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. праць. – Вип. 11. – Львів: Львівська політехніка, 2005. – С. 142-147. 24. Черненко Т.В., Котлов И.П., Мавленкова Е.В. Мониторинг северо-таежных экосистем с использованием ДДЗ и ГИС-технологий / IV Междунар. конф. “Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. – М., 2007. – С. 223–225. 25. Bajcsy P., Grover P. Metrology for Hyperspectral Band Selection // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Journal. – 2004. – Vol. 70. – P. 793–802. 26. Beney I. Advanced Space System Concepts and technologies: 2010–2030. – L. A.: Aerospace Press, 2003. – 294 p. 27. CORINE Land Cover Technical Guide / European Environment Agency. – Copenhagen: EEA. 2000. – 236 p. 28. Dontchenko V.V., Johannesen O.V., Bobylev L.P., Bartalev S.A. ERS/SAR data application for Russian boreal forests mapping and monitoring // Proe. I b ARSS’99. – 1999/ – P.31 314. 29. Hakan Olsson, Mikael Egberth, Jonas Engberg, Johan E.S. Fransson, Tina Granqvist Pahlen, Olle Hagner, Johan Holmgren, Steve Joyce, Mattias Magnusson, Bjorn Nilsson, Mats Nilsson, Kenneth Olofsson, Heather Reese, Jorgen Wallerman. Текущие и перспективные методы дистанционного зондирования, используемые в лесном хозяйстве Швеции. [www.scanex.ru/ru/publications/default.asp](http://www.scanex.ru/ru/publications/default.asp). 30. Niene J., Schwarzer H., Neumann A., Zimmermann G. Imaging Spaceborne and Airborne Sensor Systems in the Beginning of the Next Century // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1998. – Vol. 64. – № 7. – P. 839–850.