

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК
НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ

Козлова Анна Олександрівна

УДК 574.472:528.854.4:(043.3)

**МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТА КАРТУВАННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ З
ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

Спеціальність 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ -2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Попов Михайло Олексійович,
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
ІГН НАНУ,
заступник директора з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Кочубей Світлана Михайлівна,
Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України,
провідний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент
Міхно Олексій Григорович,
Військовий інститут Київського національного
університету імені Тараса Шевченка,
начальник військово-технічного факультету

Захист відбудеться 18 грудня 2007 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03 Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України за адресою 01601, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геологічних наук НАН України 01601, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-б

Автореферат розісланий “_____” _____ 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.162.03
кандидат біологічних наук

О.І. Левчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Біологічне різноманіття є однією з основних характеристик, що визначають стан надорганізмівих біосистем та обумовлюють функціонування екосистем і біосфери в цілому.

Загроза суттєвого скорочення біорізноманіття в результаті деяких видів людської діяльності змусила визнати його не лише як загальне поняття, але і як глобальний об'єкт охорони. Це призвело до формування нового підходу у природоохоронній діяльності, який вимагає, в свою чергу, розробки планів і стратегій щодо збереження біологічного різноманіття. В зв'язку з цим методи вивчення біорізноманіття, зокрема його кількісного оцінювання, набули особливого значення.

Актуальність кількісного оцінювання та картування біорізноманіття підтверджена, зокрема, міжнародними конвенціями про біологічне різноманіття (Ріо-де-Жанейро, ратифікована у 1994 р.) і про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (Берн, 1979 р.), законом України “Про охорону навколишнього середовища” від 25.06.91, постановою Кабінету міністрів України “Про концепцію збереження біологічного різноманіття України” від 12.05.97 р. та Концепцією загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005-2025 рр.

Традиційно дослідження біологічного різноманіття територій проводилось методом in-situ, але в останні роки перспективи дослідження біорізноманіття пов'язують з використанням аерокосмічної інформації. Методи дистанційного зондування для оцінювання біорізноманіття визнають кращими у випадках, коли необхідно дослідити великі за площею або важкодоступні території, забезпечити оперативність і постійне оновлення інформації, впорядковувати й обробити величезні масиви накопиченої інформації.

Вітчизняними вченими (І.Г. Ємельянов (1999); А.А. Протасов (2002), В.І. Придатко (2005)) проведено великий обсяг методичних та науково-методичних досліджень з біологічного і ландшафтного різноманіття, але багато питань щодо автоматизації оцінювання біорізноманіття, залучення до цього процесу даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) досі залишаються відкритими.

У світі успішно реалізуються проекти з інвентаризації, кількісного оцінювання та моніторингу біорізноманіття (Програма моніторингу біорізноманіття канадської провінції Альберта, з 1998 р. і донині; Оцінювання біорізноманіття Амазонії з використанням даних ДЗЗ, 2000 р.), в яких активно залучається інформація, отримана методами ДЗЗ. Об'єктами досліджень при цьому є компоненти біорізноманіття: ландшафти, рослинні угруповання, різні таксономічні групи тварин та інше.

Останнім часом у дослідженнях біорізноманіття на видовому рівні все частіше використовують моделі, які враховують вплив середовища.

З огляду на вищезазначене, актуальною є розробка методики кількісного оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ, яка б дозволила врахувати взаємозв'язки як між окремими компонентами біорізноманіття так і з навколишнім природним середовищем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні положення дисертаційного дослідження розроблені в рамках науково-дослідних робіт, які проводилися у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України згідно із Загальнодержавною (Національною) космічною програмою України на 2003-2007 роки:

1. Методика визначення видового складу та стану лісів / Звіт про ДКР за контрактом № 2-03/04-4 шифр "Космокарта-ЦАКДЗ". - Київ: ЦАКДЗ, 2005. - 86 с. (Державний реєстраційний номер 0104U007804).
2. Розроблення нових методик тематичної обробки аерокосмічної інформації для дослідження суходолу за гіперспектральними космознімками / Звіт про НДР за контрактом № 8-4/02, шифр "Методика-С". - Київ: ЦАКДЗ, 2005.- 98 с. (Державний реєстраційний номер 0103U000180).
3. Відпрацювання методик розв'язання тематичних задач з використанням супутникових даних / Звіт про НТП за постановою бюро Президії НАН України № 131. - Київ: ЦАКДЗ, 2006. - 139 с. (Державний реєстраційний номер 0105U010458).

Ряд положень розроблено під час реалізації Проекту ЕЕВІО (GLOBIO) - "Розробка вищоорієнтованої моделі з підтримки вивчення біорізноманіття на територію "російськомовних" країн Європи (Developing a Species Based Model for Biodiversity Assessment in "Russian Speaking" Countries of the Pan-European Region). (ULRMC # EM-05-502).

Мета і задачі дослідження. *Метою дисертаційної роботи є забезпечення можливості кількісного оцінювання та картування біорізноманіття великих територій при часових обмеженнях.*

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання та картування біорізноманіття;
- визначення факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути оцінені з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ;
- аналіз видового багатства за даними ДЗЗ;
- виявлення характеру залежностей між складовими біорізноманіття та факторами впливу;
- розробка методики кількісного оцінювання біорізноманіття за багатоспектральними даними ДЗЗ;

- створення відповідних алгоритмів, які реалізують вказану методику;
- тестова перевірка розробленої методики та формування рекомендацій щодо її використання.

Об'єкт дослідження: біологічне різноманіття як характеристика стану територій.

Предмет дослідження: кількісна оцінка та просторовий розподіл біорізноманіття.

Методи дослідження. Дисертаційне дослідження проведене на основі екосистемного підходу з використанням методів:

- теорії ймовірності і математичної статистики (для моделювання імовірнісних процесів в екосистемах та оцінювання точності й достовірності отриманих результатів);
- теорії інформації (для обґрунтування кількісних показників біорізноманіття)
- теорії нечітких множин (при розробці моделі оцінювання біорізноманіття).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

- доведено, що оцінювання біорізноманіття з позицій екосистемного підходу дозволяє при використанні багатоспектральних даних ДЗЗ найбільш повно врахувати взаємозв'язки між складовими біорізноманіття та факторами середовища, що на них впливають; серед складових біорізноманіття та факторів середовища встановлено ті, які можуть бути визначені за багатоспектральними даними;
- запропоновано модель розрахунку показника біорізноманіття на основі теорії нечітких множин, що дозволяє формалізувати експертні уявлення про характер взаємодії біорізноманіття з факторами середовища;
- на основі запропонованої моделі розроблено алгоритми для оцінювання біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ низької та середньої просторової розрізненості.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів підтверджуються використанням апробованих методів дослідження, перевіркою запропонованої методики при оцінюванні і картуванні біорізноманіття конкретних територій, збігом одержаних при цьому результатів з експертними оцінками, отриманими на основі традиційних методів оцінювання біорізноманіття.

Практичне значення. Отримані результати можуть використовуватися при вирішенні ряду природоохоронних задач, а також підвищити обґрунтованість управлінських рішень щодо невиснажливого використання біотичних ресурсів.

Розроблена методика оцінювання та картування біорізноманіття за багатоспектральними даними ДЗЗ може бути рекомендована для проведення оперативних повномасштабних досліджень та моніторингу стану наземних екосистем, а також при створенні відповідних інтегрованих інформаційних систем.

Результати дисертаційного дослідження реалізовано в Державному підприємстві “Дніпрокосмос” (м. Дніпропетровськ) при створенні методики визначення видового складу та стану лісів та в Інституті космічних досліджень Національної академії наук України – Національного космічного агентства України (м. Київ) при створенні інформаційного сервісу оцінки біорізноманіття Причорноморського регіону в контексті розвитку українського сегменту системи GEOSS (Global Earth Observation System of Systems).

Особистий внесок здобувача. Представлена дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням, основні результати якого викладені у роботах [1-9]. У спільних роботах автором обґрунтовано і розроблено методику оцінювання за багатоспектральними космічними знімками низької [5] і середньої [7] просторової розрізненості; розглянуто особливості використання багатоспектральних космічних знімків для кількісного оцінювання біорізноманіття, зокрема, сформовано вимоги до багатоспектральної оптико-електронної апаратури космічної зйомки щодо аналізу біорізноманіття [1], запропоновано алгоритм геореференціювання цифрових космічних знімків та оцінювання точності за системою опорних точок [2] і процедура підвищення просторової розрізненості матеріалів космічної зйомки [4] для підвищення точності класифікування при оцінюванні біорізноманіття, а також алгоритм статистичного класифікування рослинного покриву [1]. Особливості кількісного розрахунку показника біорізноманіття за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків розглянуто у [3]. Для класифікування типів земної поверхні, як просторової основи оцінювання біорізноманіття, запропоновано використання повного набору нормалізованих міжканальних індексів багатоспектральних космічних зображень [6].

Апробація результатів. Основні результати дисертаційного дослідження доповідалися на конференціях: науково-практичній конференції “Актуальні проблеми військової екології” (Київ, 2005), міжнародній науковій конференції “Фундаментальні дослідження найважливіших проблем природничих наук на основі інтеграційних процесів в освіті та науці” (Севастополь, 2006), четвертій всеросійській конференції “Сучасні проблеми дистанційного зондування Землі з космосу” (Москва, 2006), шостій українській конференції з космічних досліджень (Євпаторія, 2006), першій науковій конференції “Науки про Землю і Космос – Суспільству” (Київ, 2007), десятій конференції користувачів програмних продуктів ESRI і Leica Geosystems (Ялта, 2007).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 статей, у тому числі 7 статей надруковано у фахових наукових виданнях, 2 – у матеріалах і тезах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 122 сторінки, у тому числі 37 рисунків, 9 таблиць і 3 додатки на 32 сторінках. Список використаних літературних джерел налічує 149 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі **“Біорізноманіття як характеристика стану територій та основні підходи до його оцінювання. Постановка задачі дослідження”** розглянуто основні положення, які визначають біорізноманіття як характеристику стану наземних екосистем. Проаналізовано способи оцінювання та картування біорізноманіття, а також способи залучення даних ДЗЗ для їх реалізації, наведено характеристики сучасних бортових видових технічних засобів.

Під терміном “біорізноманіття” в дисертації прийнято визначення, що закріплене у Конвенції про охорону біологічного різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992) і трактується як “різноманітність живих організмів усіх джерел, включаючи, серед іншого, наземні, морські та інші водні екосистеми і екологічні комплекси, частиною яких вони є; це поняття включає в себе різноманітність у рамках виду, між видами і різноманіття екосистем”.

Гомеостаз біосфери як системи, унікальні властивості якої визначаються багатоманіттям функціонально взаємопов’язаних форм життя, підтримується усіма рівнями організації. Різноманіття живих організмів біоценозів, екосистем і біосфери виступає як важливий механізм підтримування цілісності та стійкості екосистем і біосфери. Наведені положення дають підстави розглядати біорізноманіття як показник стану наземних екосистем.

Аналіз способів оцінювання і картування біорізноманіття, проведений в рамках дисертаційного дослідження, виявив значну їх відмінність залежно від типу різноманіття, що підлягає картуванню, базової одиниці оцінювання біорізноманіття та рівня просторової розмірності. На даний момент найбільш повно розроблені та використовуються методи оцінювання та картування біорізноманіття, в яких за міру різноманіття приймається кількість видів. Оцінювання різноманіття організмів проводиться як за кількісними, так й за якісними показниками. Авторкою здійснено аналіз кількісних показників біорізноманіття локального (α -різноманіття) та регіонального (β -різноманіття) просторових рівнів.

В роботі розглянуто два основні підходи до вивчення біорізноманіття за даними ДЗЗ. Перший підхід – пряме розпізнавання окремих особин або угруповань видів за матеріалами космічного знімання. Другий підхід – опосередковане визначення біорізноманіття, яке ґрунтується на залученні параметрів навколишнього природного середовища.

Вказано на те, що вибір способу та підходу до оцінювання та картування біорізноманіття з використанням даних дистанційного зондування визначається характеристиками сучасних видових технічних засобів: просторовою розрізненністю, робочим спектральним діапазоном, шириною смуги огляду, періодичністю огляду, тощо.

Мета дисертаційного дослідження досягається шляхом створення методики оцінювання та картування біорізноманіття за багатоспектральними даними ДЗЗ, яка надає можливість визначити

просторовий розподіл видового різноманіття певної території з урахуванням факторів середовища. Така методика має оперативно забезпечити розрахунки показника біорізноманіття та відображення його просторового розподілу.

Біорізноманіття, в даному випадку, асоціюється з кількістю видів як окремого угруповання, так й екосистеми в цілому. За базову одиницю оцінювання біорізноманіття береться біологічний вид; розрахунки показника біорізноманіття проводяться для одиниці площі.

У дослідженнях видового різноманіття як його показник широко використовується ентропійний індекс Шеннона H :

$$\bar{H} = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i , \quad (1)$$

де N – кількість видів в описі, p_i – відносні значущості (як десятинна частка) для цих же видів.

Здатність індексу враховувати не лише багатство видів, а й рівномірність розподілу цих видів за будь-якою своєю ознакою, обумовлює трудомісткість його розрахунку. В той же час, як встановлено авторкою, залучення даних дистанційного зондування та сучасних цифрових технологій оброблення аерокосмічних зображень додає переваги у процес розрахунку індексу видового різноманіття за Шенноном: дозволяє значно розширити територію дослідження, відображає реальну інформацію щодо просторового розподілу рослинних угруповань та надає можливість постійного оновлення такої інформації. Представлення даних у цифровому вигляді забезпечує їх ефективне оброблення.

Другий розділ “Особливості застосування екосистемного підходу в задачі оцінювання біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ” присвячено стислому опису основних принципів екосистемного підходу та його адаптації до задачі кількісного оцінювання і картування біорізноманіття з використанням даних ДЗЗ.

Доведено, що оцінювання біорізноманіття з позицій екосистемного підходу та з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ дозволяє найбільш повно врахувати взаємозв'язки між складовими біорізноманіття та факторами середовища, що на них впливають. Багатство видів тваринного і рослинного світу, їх чисельність, в першу чергу, спричинене умовами середовища існування а також багатоманітністю прояву функціонування цих середовищ.

Загальна схема залучення багатоспектральних даних ДЗЗ до оцінювання біорізноманіття (рис.1) поєднує встановлення та оцінювання відповідних факторів середовища шляхом прямого чи опосередкованого визначення за матеріалами космічної зйомки їхніх кількісних показників, а також створення за багатоспектральними зображеннями просторової основи для оцінювання видового багатства.

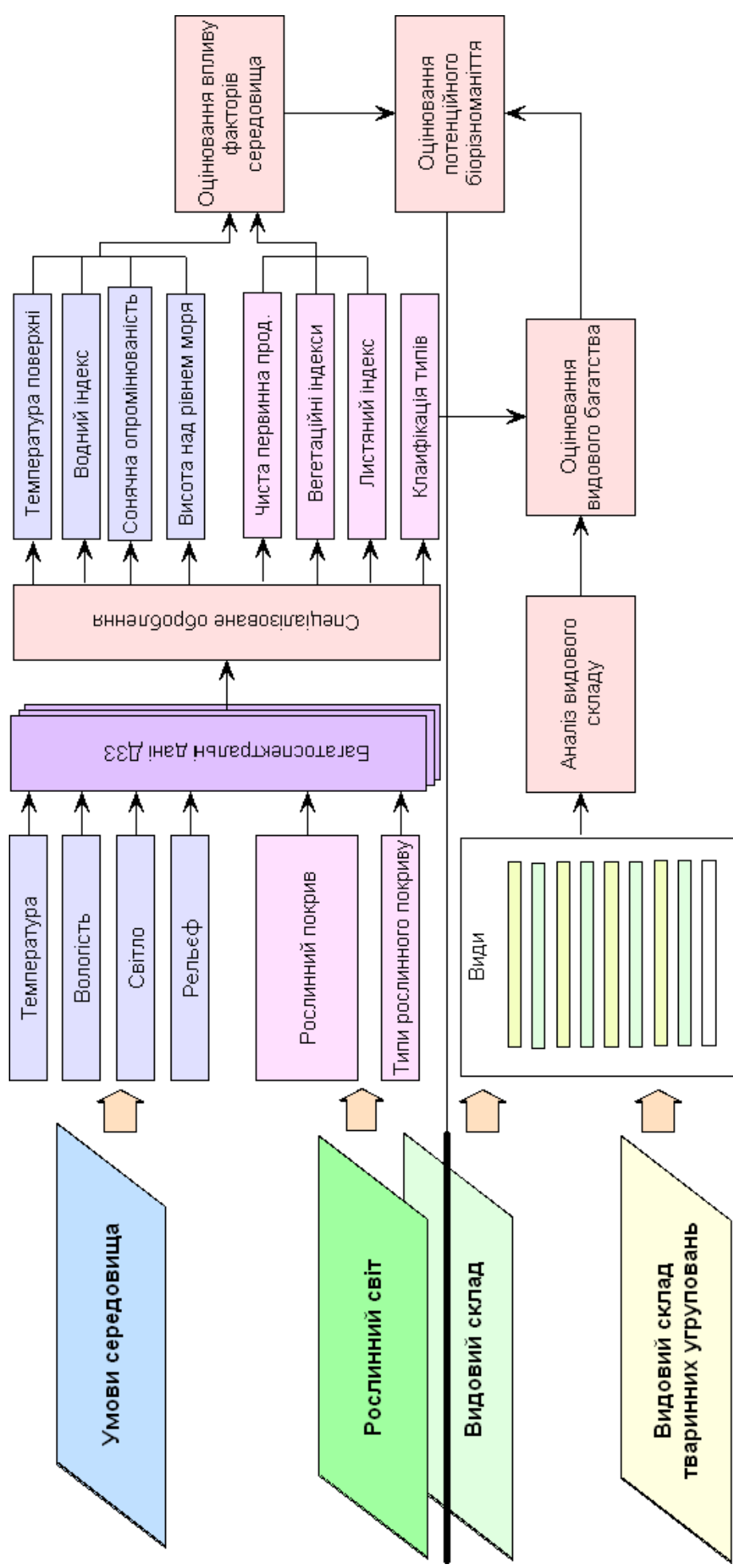


Рис. 1. Загальна схема залучення багатоспектральних даних ДЗЗ до оцінювання біорізноманіття з позицій екосистемного підходу.

До факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути визначені за матеріалами дистанційного зондування, віднесено абіотичні фактори (температура, світло, вологість, рельєф), а також рослинний покрив.

У більшості випадків наведені фактори кількісно оцінюються за такими показниками, як середньодобова температура, середньодобова опромінюваність, вологість ґрунту або нормалізований водний індекс NWI, висота над рівнем моря, вегетаційні індекси NDVI, SAVI або EVI, листяний індекс LAI, первинна продуктивність NPP. Залучення космічних знімків до оцінювання біорізноманіття змушує розглядати представлену схему та її складові крізь призму розпізнавальної здатності видового технічного засобу та можливості спеціалізованого оброблення космічних знімків. Особливого значення при цьому набувають просторова та спектральна розрізненості сенсора. Кількісні показники та діапазони можливих значень факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути ідентифіковані за багатоспектральними даними, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількісні показники та діапазони можливих значень факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути ідентифіковані за багатоспектральними даними ДЗЗ

Фактор	Показник	Діапазон
Світло	Середньодобова опромінюваність	0 ... 300 Вт/(м ² ·добу)
Температура	Середньодобова температура поверхні	–30 ... +50 °С
Вологість	Вологість ґрунту або нормалізований водний індекс NWI	–1 ... +1
Рельєф	Висота над рівнем моря	0 – 2500 м
Рослинний покрив	Веgetаційні індекси NDVI, SAVI або EVI	–1 ... +1
	Листяний індекс LAI	0 ... 6
	Чиста первинна продуктивність NPP	–3 ... +3

Аналіз видового багатства здійснюється за одним із двох основних підходів до визначення видів за багатоспектральними даними ДЗЗ: 1) прямого підходу, який ґрунтується на розпізнаванні видів за їхніми спектральними характеристиками – прямими дешифрувальними ознаками, та 2) опосередкованого підходу, в основу якого покладено розпізнавання типів земної поверхні, інакше кажучи біотопів, які можуть бути асоційовані з певним набором характерних видів.

Прямий підхід залучається для визначення просторового розподілу видів-ефікаторів рослинного покриву, які формують його верхній ярус. Даний підхід має ряд обмежень: просторова

розрізненність даних ДЗЗ, багатоярусність або розрідженість рослинного покриву, високе видове багатство верхніх ярусів.

Обов'язковою умовою використання карт типів земної поверхні при реалізації опосередкованого підходу є деталізація класів біотопів в контексті характеристик середовища, що визначають загальний характер розподілу видів рослин і тварин, з подальшим розділенням на підкласи. Уточнення здійснюється за наступними факторами: вологістю ґрунту, висотою над рівнем моря, експозицією схилу та структурою рослинного покриву.

Оцінювання потенційного біорізноманіття здійснюється на основі нечітко-логічної моделі. Нечітко-логічна модель для оцінювання біорізноманіття території може бути побудована, якщо відомі кількісні значення F сукупності факторів, що на нього впливають. Спочатку для кожного класу земної поверхні визначають видове багатство B_0 :

$$B_0 = \log_2 N_0, \quad (2)$$

де N_0 - кількість характерних видів окремої території.

Далі, для кожного фактора, що зумовлює просторовий розподіл біорізноманіття, визначається вигляд функції належності $\mu(F)$ впливу для всього діапазону можливих значень F . Коли всі функції належності визначено, обчислюють спільну функцію належності μ_0 вектора факторів.

Звичайною операцією визначення спільної функції належності μ_0 буде нечітка кон'юнкція:

$$\mu_0 = \& \mu(F), \quad (3)$$

де $\&$ - оператор нечіткої кон'юнкції.

Після визначення показника видового багатства (2) та обмежуючої функції належності (3) розраховують показник потенційного біорізноманіття B :

$$B = \mu_0 B_0. \quad (4)$$

Операції (2) – (4) здійснюються для всіх елементів розрізнення космічних зображень, що містять значення F .

У третьому розділі “Методика оцінювання біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ” розглянуто особливості використання багатоспектральних даних ДЗЗ для кількісного оцінювання біорізноманіття і описано методику оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних.

Залучення багатоспектральних даних ДЗЗ до кількісного оцінювання біорізноманіття передбачає врахування ряду особливостей: визначення вимог до якості матеріалів космічної зйомки з точки зору їх використання для вирішення задач оцінювання біорізноманіття, вирівнювання просторової розрізненності космічних зображень, вибір методики класифікування

типів земної поверхні та розрахунку кількісного показника біорізноманіття за результатами статистичної класифікації.

Точність обчислення просторового розподілу кількісних показників факторів середовища та достовірність класифікації типів земної поверхні є функцією просторового та спектрального розрізнення даних ДЗЗ, які залучаються. Тому при розробці методики було визначено вимоги до багатоспектральної оптико-електронної апаратури космічної зйомки як джерела потрібних даних.

Корисним інструментом на етапі попередньої обробки вхідних даних, в тому числі оцінювання біорізноманіття, є процедура підвищення просторової розрізненості багатоспектральних космічних зображень на основі класифікування спектральних сигнатур об'єктів, яка дозволяє врахувати фізичні характеристики об'єктів досліджуваної території і тим самим покращити достовірність відтворення багатоспектрального аерокосмічного зображення підвищеної розрізненості. Використання таких багатоспектральних космічних зображень підвищеної розрізненості забезпечує покращення точності класифікації дрібних об'єктів та границь великих об'єктів ДЗЗ.

Оскільки просторова основа для оцінювання потенційного біорізноманіття формується шляхом класифікування типів земної поверхні, то обов'язковим елементом методики має бути алгоритм класифікації. У дисертаційній роботі розроблено алгоритм класифікації рослинного покриву на базі метрики Бхатачарія. Особливістю алгоритму є те, що ймовірності належності поточного об'єкту до кожного з класів оцінюються за формулою Байеса, причому всі ці ймовірності у сукупності далі використовуються при обчисленні ентропійних індексів Шеннона, що дозволяє підвищити точність отриманих значень.

Методика оцінювання біорізноманіття за багатоспектральними космічними знімками (рис. 2) складається з трьох основних етапів: 1) збирання та адаптування вхідних даних (багатоспектральних даних ДЗЗ та матеріалів опису біорізноманіття території дослідження), 2) оброблення даних, 3) кількісне оцінювання біорізноманіття. Перший етап передбачає формування набору вхідних даних: взаємоузгоджених матеріалів опису біорізноманіття, просторово прив'язаних та регуляризованих багатоспектральних даних ДЗЗ. Наступний етап – обчислення показників факторів середовища, що впливають на біорізноманіття та встановлення характеру цього впливу, класифікування типів земної поверхні та аналіз видового складу за визначеними класами. Третій етап реалізує можливість кількісного оцінювання біорізноманіття за обробленими даними. При цьому здійснюється оцінювання видового багатства та на його основі, з урахуванням факторів середовища, розраховується потенційне біорізноманіття.

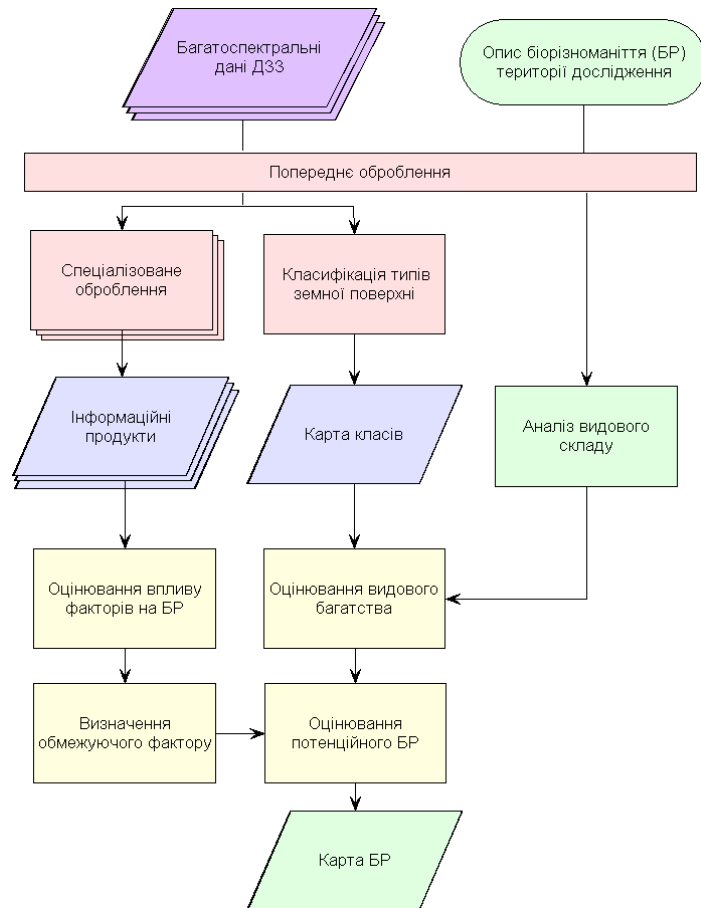


Рис.2. Схема методики оцінювання біорізноманіття (БР) за багатоспектральними даними ДЗЗ

Схеми алгоритмів оцінювання біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ низької та середньої просторової розрізненності показано відповідно на рис. 3 та 4. Можливість безпосереднього оцінювання різноманіття видів рослин за багатоспектральними даними ДЗЗ середньої просторової розрізненності становить основну відмінність між вказаними алгоритмами.

При оцінюванні біорізноманіття за багатоспектральними даними ДЗЗ низької просторової розрізненності в рамках нечітко-логічної моделі інформаційні продукти EOS (Earth Observing System) можуть бути використані як джерело вхідних даних. Ці дані дозволяють кількісно оцінювати орієнтовні показники біорізноманіття з просторовою розрізненністю не краще 1 км в регіональному або глобальному масштабі з періодичністю один раз на рік або частіше за умови наявності теоретичних моделей агрегування інформації і наземних завіркових даних для їхнього перевіряння..

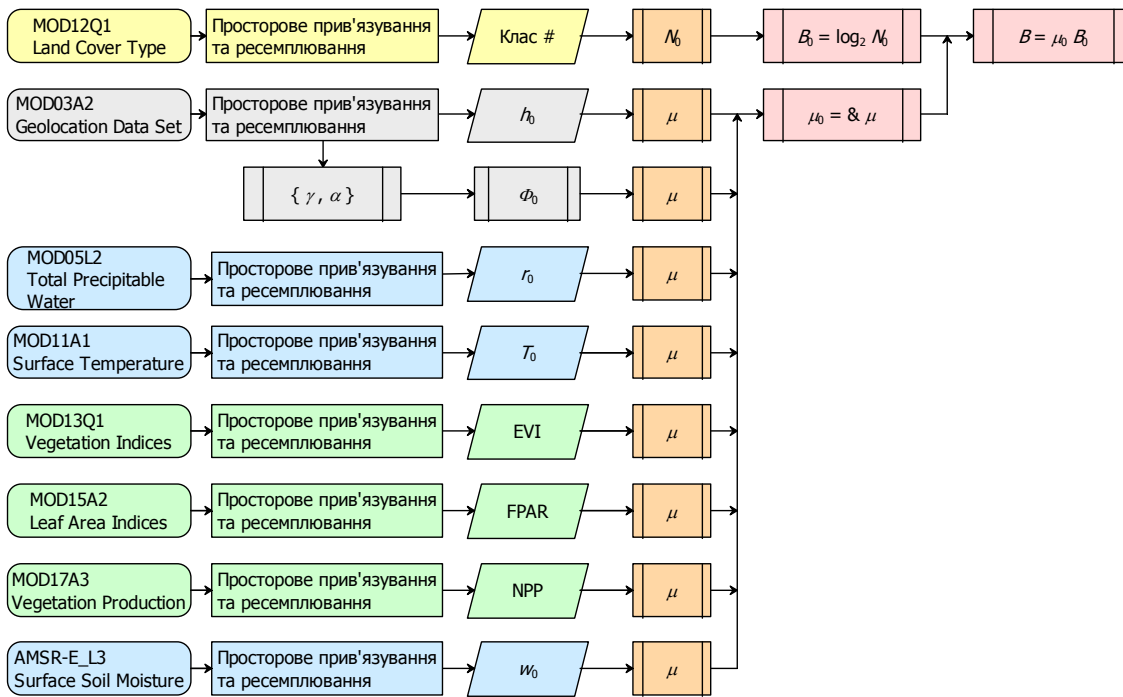


Рис.3. Схема алгоритму оцінювання біорізноманіття за нечітко-логічною моделлю на основі багатоспектральних зображень низької просторової розрізненості

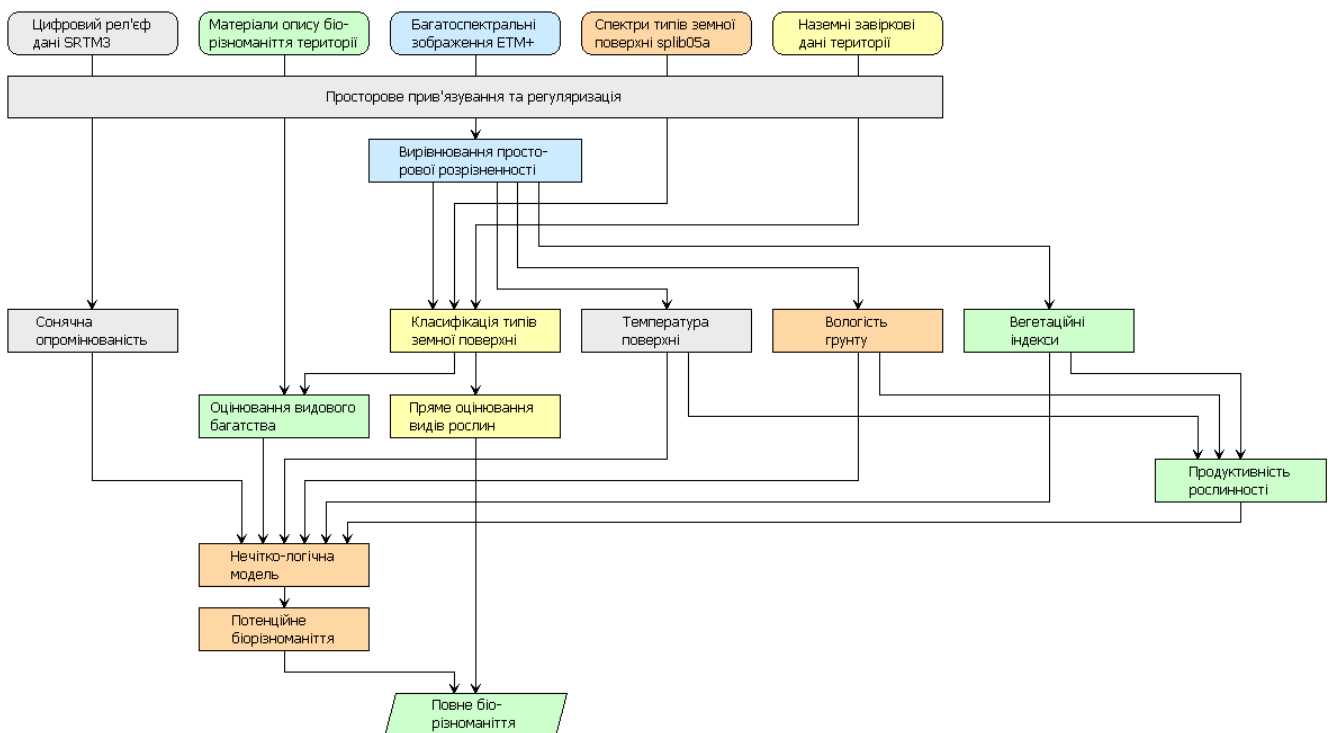


Рис.4. Схема алгоритму оцінювання біорізноманіття за нечітко-логічною моделлю на основі багатоспектральних зображень середньої просторової розрізненості

У четвертому розділі "Рекомендації щодо практичного застосування Методики" наведено результати перевірки розробленої методики, зокрема, двох її варіантів, а також описаних в дисертації особливостей використання багатоспектральних даних ДЗЗ для оцінювання біорізноманіття.

Для перевірки процедури підвищення просторової розрізненості матеріалів космічної зйомки з метою покращення результатів оцінювання біорізноманіття проводилася класифікація рослинного покриву в районі міста Білогірськ АР Крим з використанням космічного знімку Landsat ETM+ (10.05.2000). Точність класифікації рослинного покриву за знімками Landsat ETM+ видимого, ближнього і середнього інфрачервоних діапазонів таким способом було покращено на 0,14–1,20 % у розрахунку на один канал.

Для практичного випробування розрахунку індексу видового різноманіття за результатами статистичної класифікації багатоспектральних космічних знімків, за методом максимальної вірогідності було проведено класифікацію фрагмента космічного знімку Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), одержаного 5 червня 2000р. Знімок охоплює частину території Дунаєвецького району Хмельницької області. Класи призначалися за видами-едифікаторами, які формують верхній ярус у фітоценозах досліджуваної території. В результаті перевірки встановлено, що, беручи до уваги особливості розрахунку індексу Шеннона на основі статистичної класифікації аерокосмічних знімків, можна підвищити точність кінцевого результату на 5–15 %.

Варіант методики оцінювання біорізноманіття за багатоспектральними даними ДЗЗ низької просторової розрізненості випробовувався шляхом оцінювання біорізноманіття Кримського півострова з використанням інформаційних продуктів EOS – сенсори MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) та AMSRE (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS), одержаних в червні–липні 2006 року. Для всіх космічних знімків проведено просторове прив'язування, а всі інформаційні шари ресемпльовано до просторової розрізненості 1 км. Результати оцінювання потенційного біорізноманіття на прикладі Кримського півострова проілюстровано на тематичних картах рис. 5.

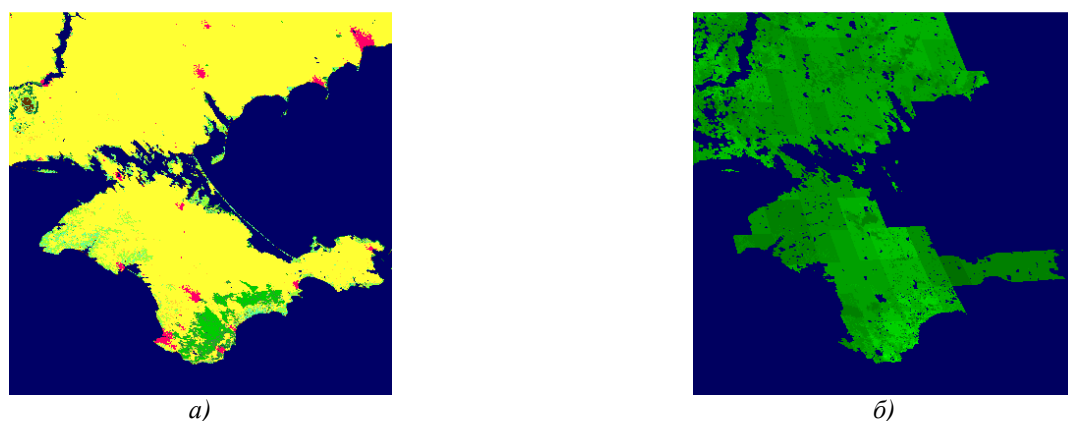


Рис.5. Результат класифікації земного покриву Кримського півострова за даними багатоспектрального сенсора MODIS (а) та карта просторового розподілу індексу біорізноманіття, створена на основі нечітко-логічної моделі (б).

Для демонстрації можливостей другого варіанту розробленої методики проведено оцінювання біорізноманіття південно-західної частини Кримського півострову за космічним знімком Landsat/ETM+, одержаним у травні 2000 року.

Кількісні значення факторів, які обумовлюють біорізноманіття досліджуваної території, розраховано на основі цього знімку із залученням сучасних методів оброблення космічних зображень. За типовими спектральними характеристиками було проведено попереднє класифікування основних біомів території дослідження. Всього, відповідно до стандартної системи класифікації типів земної поверхні міжнародної програми “Геосфера-Біосфера”(International Geosphere Biosphere Program – IGBP Land Cover), виділено п’ять класів земної поверхні – луки, листяні ліси, хвойні ліси, чагарники та рідколісся. Оскільки більша частина території дослідження – гірська місцевість, результат класифікування було уточнено через врахування висот над рівнем моря (рис. 6). Типи рослинних формацій виділялися на основі домінуючих видів або форм зростання рослин.

В роботі для врахування дії факторів середовища використовувалися функції належності, запропоновані на основі вивчення результатів попередніх досліджень щодо біорізноманіття Криму та співставлення їх з отриманими просторовими розподілами відповідних факторів. За уточненою класифікацією типів рослинних формацій оцінювалося видове багатство і на нього накладалися обмеження нечітко-логічної моделі. За результатами оцінювання біорізноманіття південно-західної частини Кримського півострова було створено тематичну карту, яка відображає розподіл індексу біорізноманіття даної території (рис. 7).

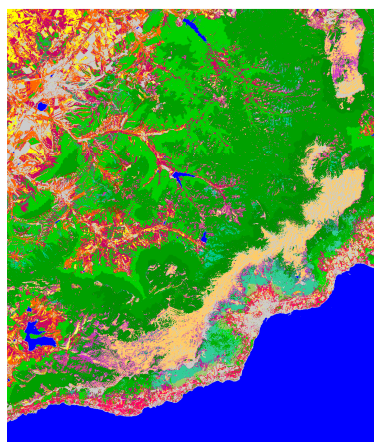


Рис. 6. Уточнена карта рослинності території дослідження

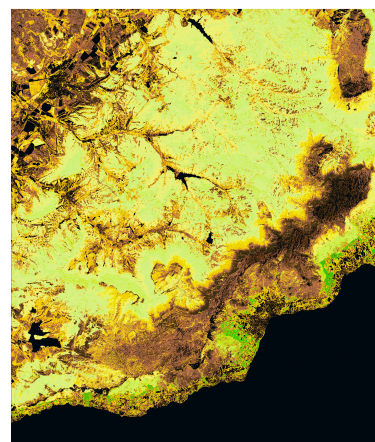


Рис. 7. Карта розподілу індексу біорізноманіття території дослідження

При порівнянні результатів оцінювання та картування біорізноманіття, отриманих на основі розробленої методики, з літературними та картографічними даними щодо розподілу біорізноманіття Кримського півострова, встановлено, що вони не суперечать даним, отриманим традиційними методами. Деякі незначні неточності відображення просторового розподілу біорізноманіття пояснюються недостатньою якістю вхідних параметрів, зокрема, вологості ґрунту, а також інформаційним шумом, який виникає при значному узагальненні матеріалів класифікації земного покриття, обумовленим недостатньою просторовою розрізненістю космічних знімків.

Проведено порівняльний аналіз орієнтовних показників методик оцінювання і картування біорізноманіття з використанням різних вхідних даних і на чисельних розрахунках показано, що розроблена методика здатна забезпечити оцінювання біорізноманіття території, площа якої може бути на 2-3 порядки більшою, ніж у випадку традиційних методик з використанням лише наземних даних.

Для полегшення практичного застосування запропонованої методики авторкою розроблено ряд рекомендацій. Так, подальше вдосконалення алгоритмів оцінювання біорізноманіття можливе за рахунок використання космічних знімків високої просторової розрізненості. Визначення тенденцій і динаміки зміни біорізноманіття, його просторового розподілу на основі багаторічних спостережень дозволить отримати якісно нові наукові та прикладні результати. Вони забезпечать більш ефективно вирішення природоохоронних задач та дадуть змогу підвищити якість і точність прийняття управлінських рішень спрямованих на невиснажливе використання біологічних ресурсів.

У контексті участі України у програмі GMES (Global Monitoring for Environmental Security) запропонована методика оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних дистанційного зондування Землі може стати основою для розроблення відповідної інформаційної підтримки як складової українського сегменту “системи систем” GEOSS.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано відомі способи оцінювання біорізноманіття як однієї з основних характеристик стану надорганізованих біосистем, а також способи залучення даних дистанційного зондування Землі для їх реалізації. Сформульовано мету та задачі дослідження.
2. Визначено множину факторів середовища (температура, світло, вологість, рельєф, рослинний покрив), які впливають на біорізноманіття і можуть бути розраховані на основі багатоспектральних даних ДЗЗ. Розрахунки проведено за такими кількісними показниками: середньодобова температура, середньодобова опромінюваність, вологість ґрунту, нормалізований водний індекс NWI, висота над рівнем моря, вегетаційні індекси NDVI, SAVI та EVI, листяний індекс LAI, первинна продуктивність NPP.
3. Для оцінювання біорізноманіття запропоновано загальну схему залучення багатоспектральних даних ДЗЗ. Схема включає визначення факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути визначені на основі багатоспектральних даних ДЗЗ та класифікування типів земної поверхні як основи для аналізу видового багатства. В схемі враховано залежність між складовими біорізноманіття та факторами впливу.

4. Зазначено, що оцінювання біорізноманіття часто здійснюється в умовах дефіциту інформації стосовно складових біорізноманіття та характеру впливу факторів, які зумовлюють його просторовий розподіл. З метою формалізації експертних уявлень про наведені процеси і явища, необхідних для оцінювання потенційного біорізноманіття, розроблено нечітко-логічну модель, в якій залежності між складовими біорізноманіття та кількісними показниками факторів середовища визначаються за допомогою функцій належності.
5. Удосконалено процедуру підвищення просторової розрізненості багатоспектральних аерокосмічних зображень на основі класифікування спектральних сигнатур об'єктів досліджуваної території, яка дозволяє врахувати їх фізичні характеристики і тим самим покращити достовірність відтворення багатоспектрального аерокосмічного зображення підвищеної розрізненості. Експериментально доведено, що при цьому вдається підвищити точність класифікації рослинного покриву за знімками Landsat ETM+ видимого, ближнього і середнього інфрачервоних діапазонів на 0,14–1,2% у розрахунку на один спектральний канал.
6. Для кількісного оцінювання складових біорізноманіття, які можуть бути ідентифіковані безпосередньо за багатоспектральними космічними знімками, запропоновано до використання ентропійний індекс Шеннона. Для його обчислення розроблено алгоритм класифікації рослинного покриву на базі метрики Бхатачарія. Особливістю алгоритму є те, що ймовірності належності поточного об'єкту до кожного з класів оцінюються за формулою Байєса, причому всі ці ймовірності у сукупності далі використовуються при обчисленні індексів Шеннона. Експериментально показано, що завдяки розробленому алгоритму точність обчислення індексів Шеннона підвищується на 5–15%.
7. Розроблено методику оцінювання та картування біорізноманіття за багатоспектральними даними дистанційного зондування Землі, яка складається з трьох основних етапів: збору та попереднього оброблення вхідних даних, оброблення даних та кількісного оцінювання. Перший етап передбачає формування набору вхідних даних: взаємоузгоджених матеріалів опису біорізноманіття, просторово прив'язаних та регуляризованих даних ДЗЗ. Наступний етап – обчислення величин факторів, що впливають на біорізноманіття та встановлення характеру цього впливу, класифікування типів земної поверхні та аналіз видового складу за визначеними класами. Третій етап реалізує можливість кількісного оцінювання біорізноманіття за обробленими даними. При цьому здійснюється оцінювання видового багатства та на його основі, з урахуванням факторів впливу, розраховується потенційне різноманіття.
8. Запропоновано два варіанти методики оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ. Перший варіант методики орієнтований на оцінювання біорізноманіття в глобальному та транс-регіональному масштабах і ґрунтується на використанні багатоспектральних даних ДЗЗ низької просторової розрізненості. Другий

варіант методики призначений для оцінювання біорізноманіття на локальному і регіональному рівнях і передбачає використання багатоспектральних даних ДЗЗ середньої просторової розрізненості.

9. Отримані наукові результати реалізовано при створенні методики визначення видового складу та стану лісів та при створенні інформаційного сервісу оцінки видового різноманіття вищих судинних рослин і ссавців Причорноморського регіону в контексті розвитку українського сегменту системи GEOSS.
10. Подальші дослідження у даному напрямку можуть бути спрямовані на вдосконалення моніторингу біорізноманіття за рахунок використання космічних знімків високої просторової розрізненості та визначення тенденцій змін біорізноманіття у просторі і часі на основі багаторічних спостережень, включаючи прогнозовані зміни клімату.

ОСНОВНІ ПРАЦІ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Сахацький О.І., Ходоровський А.Я., Левчик О.І., Станкевич С.А., Козлова А.О.* Оцінка видового різноманіття рослинного світу зон відчуження з використанням багатозональних космічних знімків // Збірник матеріалів науково-практичної конференції "Актуальні проблеми військової екології". - Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2005. – С.65-75.
2. *Станкевич С.А., Оголенко В.С., Козлова А.О.* Алгоритм геореференціювання цифрових космічних знімків та оцінки просторової точності за системою опорних точок // Доповіді НАН України, 2006. – С.161-167.
3. *Станкевич С.А., Козлова А.О.* Особливості розрахунку індексу видового різноманіття Шеннона за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. – 2006. – Т.19 (58). – С.144-150.
4. *Попов М.О., Станкевич С.А., Козлова А.О.* Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аерокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. праць. – Севастополь, 2006. – С. 406-410.
5. *Станкевич С.А., Козлова А.О.* Оцінювання і картографування біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України на основі багатоспектральних космознімків і геоінформаційних технологій // Космічна наука і технологія. – 2007. - Т.13, №2. – С. 18-24.
6. *Попов М.А., Станкевич С.А., Сахацький А.И., Козлова А.А.* Использование полного набора нормализованных межканальных индексов многоспектральных космических изображений при классификации // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2007. – Т.20 (59), №1. – С.175-182.
7. *Станкевич С.А., Козлова А.О.* Методика оцінювання біорізноманіття території за багатоспектральними космічними зображеннями середньої просторової розрізненості // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т.13, № 4. – С.25-39.
8. *Попов М.А., Станкевич С.А., Козлова А.О.* Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аерокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України // Международная научная конференция "Фундаментальные исследования важнейших проблем естественных наук на основе интеграционных процессов в образовании и науке". – Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2006. – С.82.

9. Козлова А.А. Оценка и картографирование биоразнообразия Северно-Причерноморского региона Украины на основе многоспектральных космоснимков и геоинформационных технологий // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям. – Евпатория: НЦУИКС. – С. 117.

АНОТАЦІЯ

Козлова А.О. **Методика оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних дистанційного зондування Землі.** - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанцій аерокосмічні дослідження – Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України. Київ, 2007.

Дисертаційне дослідження присвячено створенню методики оцінювання та картування біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних дистанційного зондування Землі.

Для оцінювання біорізноманіття запропоновано загальну схему залучення багатоспектральних даних ДЗЗ. Схема включає визначення факторів середовища, які впливають на біорізноманіття і можуть бути визначені на основі багатоспектральних даних ДЗЗ та класифікування типів земної поверхні як основи для аналізу видового багатства.

Запропоновано модель розрахунку показника біорізноманіття на основі теорії нечітких множин, яка дозволяє формалізувати експертні уявлення про характер взаємодії біорізноманіття з факторами середовища. На основі запропонованої моделі розроблено алгоритми для оцінювання біорізноманіття з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ низької та середньої просторової розрізненості.

Для демонстрації можливостей розробленої методики за багатоспектральними даними ДЗЗ низької просторової розрізненості проведено оцінювання біорізноманіття Кримського півострову. За багатоспектральними даними середньої просторової розрізненості оцінено біорізноманіття південної його частини.

Сформовано рекомендації для практичного використання розробленої методики.

Подальші дослідження у даному напрямку можуть бути спрямовані на вдосконалення моніторингу біорізноманіття за рахунок використання космічних знімків високої просторової розрізненості та визначення тенденцій змін біорізноманіття у просторі і часі на основі багаторічних спостережень, включаючи прогнозовані зміни клімату

Ключові слова: біорізноманіття, екосистемний підхід, дистанційне зондування, багатоспектральне космічне зображення.

АННОТАЦИЯ

Козлова А.А. **Методика оценки и картирования биоразнообразия с использованием многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли.** - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования – Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины. Киев, 2007.

Диссертационное исследование посвящено разработке методики оценки и картирования биоразнообразия с использованием многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Цель данного исследования заключается в разработке методического обеспечения возможности оценки биоразнообразия больших территорий при временных ограничениях.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проанализированы существующие методы оценки и картирования биоразнообразия; определены факторы среды,

влияние которых на биоразнообразие может быть оценено с использованием многоспектральных данных ДЗЗ; проведен анализ видового богатства по данным ДЗЗ.

Предложена модель расчета показателя биоразнообразия на основе теории нечетких множеств, которая позволяет формализовать экспертные представления про характер взаимодействия биоразнообразия с факторами среды. На основе предложенной модели разработаны алгоритмы для оценки биоразнообразия с использованием многоспектральных данных ДЗЗ низкого и среднего пространственного разрешения.

Сформированы требования к качеству материалов космической съемки с точки зрения их использования при решении задач оценивания биоразнообразия. Предложена и обоснована процедура повышения пространственного разрешения космических изображений. Предложен алгоритм расчета индекса биоразнообразия по результатам статистической классификации.

Для демонстрации возможностей разработанной методики по многоспектральным данным ДЗЗ низкого пространственного разрешения проведена оценка биоразнообразия Крымского полуострова. По многоспектральным данным среднего пространственного разрешения оценено биоразнообразие южной его части.

Сформированы рекомендации для практического применения разработанной методики.

Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть ориентированы на усовершенствование системы мониторинга биоразнообразия за счет использования космических снимков высокого пространственного разрешения и учета тенденций изменения биоразнообразия в пространстве и времени на основе многолетних наблюдений.

Ключевые слова: биоразнообразие, экосистемный подход, дистанционное зондирование, многоспектральное космическое изображение.

ABSTRACT

Kozlova A.A. **Biodiversity estimation and mapping technique using multispectral space images.** - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences on 05.07.12 specialty – remote aerospace research – Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences. Kiev, 2007.

Ph.D. thesis is dedicated to development of the biodiversity estimation and mapping technique using the data of multispectral satellite observations. The purpose of the research is to develop the methodical basement for general assessment of biodiversity of large areas testing in the minimal time.

For the attainment of the purpose declared the existing biodiversity assessment and mapping techniques have been analyzed, the influencing environmental factors operating by remote sensing have been determined, and the species richness was analyzed through the satellite data.

The model of biodiversity index calculation based on fuzzy sets theory, which allows to formalize the expert estimations the biodiversity toward the environment factors interaction is proposed. On the basis of proposed model the algorithms for biodiversity estimation using low and medium spatial resolution multispectral space imagery are developed.

To demonstrate the possibilities of developed technique, the biodiversity of the Crimean peninsula using low spatial resolution multispectral satellite data was estimated. Biodiversity of south part of Crimea using medium spatial resolution multispectral satellite data has been estimated.

Recommendations for the application of the developed technique are proposed.

The further researches in this field should be focused on biodiversity monitoring system improvement using high spatial resolution space imagery, and on the basis of long-term observations for detection of biodiversity changes tendencies in time and space.

Keywords: biodiversity, ecosystems approach, remote sensing, multispectral space imagery.