

**Н. М. Куссуль<sup>1</sup>, М. О. Попов<sup>2</sup>, А. Ю. Шелестов<sup>1</sup>, С. А. Станкевич<sup>2</sup>,  
М. Б. Корбаков<sup>1</sup>, О. М. Кравченко<sup>1</sup>, А. О. Козлова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут космічних досліджень НАНУ–НКАУ, Київ

<sup>2</sup>Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Київ

## **ІНФОРМАЦІЙНИЙ СЕРВІС ОЦІНЮВАННЯ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ РОСЛИННОГО І ТВАРИННОГО СВІТУ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ УКРАЇНСЬКОГО СЕГМЕНТА СИСТЕМИ GEOSS**

**Анотація:** В даній статті розглядається web-сервіс для оцінювання біорізноманіття Причорноморського регіону України, спільно розроблений вченими Інституту космічних досліджень НАНУ–НКАУ та Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі НАНУ в рамках інноваційного проекту НАН України. Описана методика оцінювання видового різноманіття з використанням космічних зображень, в основу побудови якої покладено екосистемний підхід.

**Ключові слова:** біорізноманіття, GEOSS, GMES, web-сервіси.

### **1. ВСТУП**

Сталий розвиток інформаційного суспільства неможливий без активного використання спостережень Землі з космосу для задоволення життєво важливих потреб людства: зменшення збитків від природних і техногенних катастроф, охорони навколишнього середовища, управління енерго- та водними ресурсами, поліпшення якості життя тощо.

На даний час системи забезпечення користувачів даними спостереження Землі з космосу в тій чи іншій формі існують або створюються у багатьох країнах світу (навіть у традиційно далеких від космічних досліджень), а також на міждержавному рівні. Характерним прикладом міжнародних систем подібного типу є Європейська ініціатива GMES (Global Monitoring for Environmental Security) [1, 2], спрямована на розв'язання

завдань безпеки і екологічного моніторингу, та глобальна система систем спостереження Землі GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) [3]. При цьому використовуються стандарти обміну даними і результатами їх обробки, що створюються в рамках ініціативи INSPIRE [6]. Дана ініціатива спрямована на створення інноваційних – ефективних, сталих та дружніх до користувачів – інформаційних сервісів для підтримки прийняття рішень щодо попередження екологічної деградації та інших стихійних лих, а також для запобігання їх наслідкам [2].

На даному етапі реалізації ініціативи GMES основне завдання полягає у гармонізації діяльності країн та організацій, співробітництво яких повинно бути спрямоване не просто на розвиток технологій збору та оброблення даних, а на розв'язання конкретних

тематичних задач. В Україні рівень організації спостереження Землі (як і загальний рівень космічних досліджень) досить високий. Тому участь України у реалізації ініціативи GMES має неабияке значення.

Всесвітня "система систем" GEOSS [3] повинна об'єднати існуючі в усьому світі системи, пов'язані з проведенням спостережень Землі та використанням їх результатів. На відміну від європейської (регіональної) системи GMES, система GEOSS призначена для об'єднання дій щодо спостереження Землі як на державному рівні, так і на рівні окремих функціонуючих регіональних систем. З одного боку, глобальність системи GEOSS полягає у залученні якнайбільшої кількості країн та організацій, а з іншого боку, у розгляді тільки тих процесів, що відбуваються у великому масштабі, який суттєво більший, ніж масштаб окремої країни.

GEOSS виступає як "система систем", складовими частинами якої повинні стати існуючі та майбутні системи спостереження Землі зі збереженням їх повноважень та національної приналежності. В рамках GEOSS буде створено всеохоплюючу концептуальну та організаційну структуру, що дасть можливість об'єднати діяльність у галузі спостереження Землі для забезпечення потреб кінцевих користувачів. При цьому GEOSS не переслідує ціль звести існуючі системи в єдину, монолітну систему з централізованим управлінням. Основним принципом управління "системою систем" є принцип прийняття рішень на найнижчому рівні ієрархії, що є достатньо компетентним для їх прийняття.

В Україні накопичено значний досвід у розв'язанні прикладних задач з використанням космічних даних, а також розробки інформаційних систем [4]. Зокрема, в установах Відділення наук про Землю НАН України створено понад 50 методик розв'язання різних тематичних задач з використанням

даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). У свою чергу, в Інституті космічних досліджень НАНУ–НКАУ та в Інституті кібернетики НАНУ є значний доробок в галузі високопродуктивних обчислень та розробки розподілених систем.

Тому основною метою для України в контексті участі в програмі GMES та розбудові "системи систем" GEOSS є створення інформаційної інфраструктури, яка має об'єднати доробки організацій з різних прикладних областей та забезпечити впровадження інформаційних сервісів, що працюватимуть в автоматизованому режимі та забезпечуватимуть користувачів даними спостереження Землі з космосу та результатами їх обробки [5].

Саме на відпрацювання технології реалізації інформаційних сервісів на базі доробку інститутів різних відділень НАНУ був спрямований інноваційний проект, який виконувався фахівцями Інституту космічних досліджень НАНУ–НКАУ та Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАНУ. У рамках даного проекту було реалізовано інформаційний сервіс оцінки видового різноманіття рослинного і тваринного світу Причорноморського регіону України, що відповідає одному з пріоритетних напрямків розвитку системи GEOSS.

Оскільки сервіс реалізовано з дотриманням відкритих стандартів та принципів розбудови системи GEOSS, то створену інформаційну інфраструктуру можна розглядати як пілотну версію українського сегменту GEOSS. Розроблена пілотна інформаційна система базується на стандартах представлення та передачі геопросторової інформації, розроблених в межах міжнародної ініціативи INSPIRE [6].

У даній роботі описано алгоритм оцінювання видового різноманіття рослинного і тваринного світу Причорноморського регіону України в контексті розвитку українсько-

го сегменту системи GEOSS, підхід до його реалізації у вигляді інформаційного сервісу, а також інші результати, отримані в процесі виконання інноваційного проекту.

## **2. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ РІЗНОМАНІТТЯ МІЖ ВИДАМИ ЯК ОДНОГО З ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ БІОРІЗНОМАНІТТЯ**

Серед пріоритетних тематичних напрямів, що визначені у 10-річному плані розвитку "системи систем" GEOSS, окреме місце займають задачі оцінювання та поліпшення екологічного стану довкілля. До таких задач відносяться моніторинг та управління водними ресурсами, оптимальне землекористування та оцінювання біорізноманіття, яке відносять до основних характеристик стану екосистем. У даній роботі при оцінюванні видового різноманіття рослинного і тваринного світу Причорноморського регіону України основна увага приділяється видам вищих судинних рослин та ссавців.

Успішне збереження біорізноманіття неможливе без розроблення чіткої наукової концепції його оцінювання та моніторингу. Необхідно зазначити, що при уважному перегляді визначення терміну "біорізноманіття", юридично закріпленого у Конвенції про біологічне різноманіття (1992), стає зрозумілим, що кількісне визначення різноманітності одразу в рамках виду, між видами і різноманітності екосистем не уявляється можливим, оскільки це окремі системи різних рівнів організації. Навряд чи варто оцінювати разом варіабельність живих організмів з "наземних, морських та інших водних екосистем", адже причини і механізми формування різноманіття в них відрізняються. Звідси стає очевидним, що для кількісного оцінювання біорізноманіття і визначення його просторового розподілу необхідне певне звуження узагальненого поняття.

У більшості випадків варіабельність живих організмів розглядають з таксономічної точки зору як різноманіття видів рослин і тварин. Таке трактування, по-перше, у жодному разі не суперечить визначенню Конвенції про біологічне різноманіття, являючись одним з його аспектів, по-друге, дає можливість врешті-решт наблизитися до кількісного визначення феномену біологічного різноманіття.

Перспективи вивчення і картографування видового різноманіття територій пов'язують з використанням матеріалів ДЗЗ та геоінформаційних технологій. Розробка на їх основі комплексного підходу до оцінювання і картографування видового різноманіття, зокрема наземних природних угруповань, є актуальною для інформаційної підтримки та планування природоохоронної діяльності. Важливим завданням під час реалізації цього підходу є визначення показників, які характеризують біорізноманіття і можуть бути ідентифіковані з використанням даних ДЗЗ [7].

Видове різноманіття характеризується двома критеріями. Перша складова – видове багатство, тобто загальне число наявних видів. Другий важливий аспект різноманіття – рівномірність розподілу видів, яка базується на визначенні положення виду в структурі домінування на основі мір значущості [8].

У дослідженнях видового різноманіття, зокрема при його оцінюванні, широко використовується ентропійний індекс Шеннона [9]

$$B = \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість видів,  $P_i$  – значущість виду  $i$ .

Необхідність врахування в індексі не лише багатства видів, а й рівномірності їх розподілу за будь-якою ознакою обумовлює трудомісткість необхідних обчислень. Залучення в процес обчислень індексу видового різноманіття за Шенноном даних ДЗЗ та су-

часних інформаційних технологій обробки аерокосмічних зображень може додати ряд суттєвих переваг. Зокрема, це дасть змогу значно розширити територію досліджень, отримати реальну інформацію щодо просторового розподілу рослинних угруповань та забезпечити можливість її постійного оновлення. У свою чергу, подання даних у цифровому вигляді дасть можливість забезпечити їх ефективно оброблення та візуалізацію.

### **3. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ**

Для побудови методики оцінювання видового різноманіття використовувався екосистемний підхід, запропонований А. Н. Кисельовим [10]. Його ідея полягає в тому, що оцінювання біорізноманіття може спиратися на будь-які інтегральні характеристики, які забезпечують "представництво" усіх біокомпонентів. Основний зміст екосистемного підходу зводиться ось до чого: елементи живої та неживої природи знаходяться у тісному зв'язку та взаємодії один з одним, тобто утворюють еко- або геосистеми різних рівнів та різної тривалості існування. Підпорядкування цих елементів один одному за спрощеною схемою виглядає так: умови навколишнього середовища або середовища існування (рельєф, клімат, гідрологічні умови, літологія та ін.) визначають процеси заселення певної території видами рослинності, що в свою чергу створює умови становлення та розвитку тварин. Безперечно, в реальних екосистемах процеси взаємодії значно складніші, але спрощена схема також є досить корисною.

Видове багатство біологічного комплексу можна пов'язати з цілим рядом факторів з декількох категорій. По-перше, це "географічні" фактори, а саме широта місця та висота над рівнем моря. Вони часто пов'язуються з видовим різноманіттям, але для його визначення безпосередньо їх використовувати не

можна. Якщо видове різноманіття змінюється зі зміною широти, це означає, що є інший фактор, який залежить від неї і безпосередньо впливає на угруповання. До факторів, що мають тенденцію корелювати з широтою, відносять продуктивність середовища та кліматичну змінюваність [11].

На даний час механізми впливу наведених факторів на темпи, форми і спрямованість диференціації біоти вже достатньо широко висвітлені в різних джерелах. Серед них, для подальшого моделювання, визначалися ті, які можуть бути визначені за даними ДЗЗ (табл. 1) [12].

Для отримання чисельних характеристик вищевказаних факторів використовувались стандартні інформаційні продукти сенсорів ДЗЗ MODIS та AMSR-E, а також дані чисельної моделі рельєфу DEM, створеної у рамках космічної місії SRTM. Опис продуктів, що використовувались для розв'язання поставленої задачі, наведено в табл. 2.

Для зв'язку видового різноманіття та ряду факторів, які на нього впливають, було використано модель, засновану на нечіткій логіці [13]. Завдяки цьому вдалося описати класичні детерміновані взаємозв'язки з невизначеними або погано визначеними параметрами і статистичні залежності з невідомими законами розподілу, а також формалізувати експертні уявлення про характер процесів в досліджуваних екосистемах.

Нехай відомі кількісні значення  $F_i$ ,  $i=1..n$ , факторів, що впливають на оцінку біорізноманіття  $B$ , де  $n$  – загальна кількість факторів. Для кожного з  $m$  класів земного покриття ландшафту можна визначити потенційно можливе різноманіття видів  $B_0^{(j)}$ ,  $j=1..n$ , яке при використанні індексу Шеннона (1) цілком визначиться кількістю характерних біологічних видів даного класу  $N_0^{(j)}$  і буде складати

$$B_0^{(j)} = \log_2 N_0^{(j)}. \quad (2)$$

**Таблиця 1. Фактори, що обумовлюють різноманіття видів і можуть бути визначені за даними ДЗЗ**

Фактор	Показник	Діапазон значень	Оптимальне значення
Рельєф місцевості	середньодобове сонячне опромінення	0 – 300 Вт/м <sup>2</sup> на добу	максимум
Вода	вологість ґрунту	0–100 %	максимум
Тепло	денна та нічна температури	253–323 К	293 К
Опади	середньорічна кількість осадженої води	0 – 200 мм	максимум
Рослинність	вегетаційний індекс	-1 ÷ +1	максимум
Життєва активність	відносна кількість засвоєного рослинністю випромінювання	-1 ÷ +1	максимум
Життєва ефективність	чиста продуктивність рослинності	0–600 кг/м <sup>2</sup> карбону на рік	максимум

**Таблиця 2. Стандартні інформаційні продукти ДЗЗ, що використовуються для оцінювання видового різноманіття**

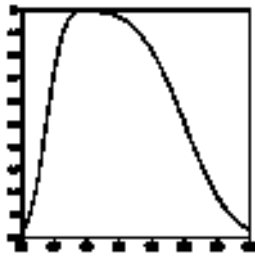
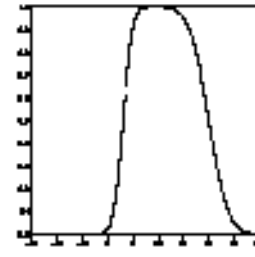
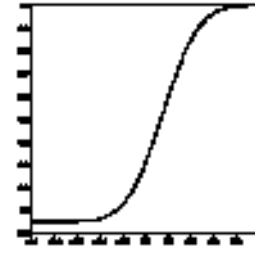
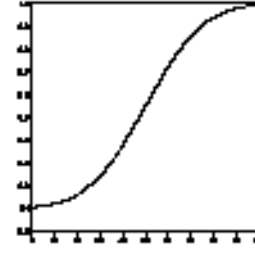
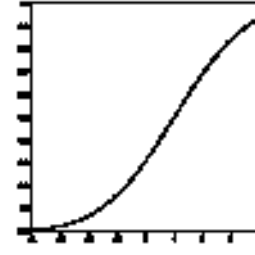
Сенсор	Продукт	Просторова розрізненість	Період поновлення
MODIS	MOD12Q1 – типи покриттів ландшафту	1 км	96 дів та щорічно
	MOD03A2 – геолокаційні дані	1 км	щоденно
	MOD05L2 – повний водозбір	1 км, 5 км	півдоби – день та ніч
	MOD11A1 – температура поверхні	1 км	півдоби – день та ніч
	MOD13Q1 – вегетаційні індекси	250 та 500 м, 1 км	16 дів та щомісячно
	MOD15A2 – листяне покриття	250 та 500 м, 1 км	16 дів, щомісячно та щорічно
	MOD17A3 – продуктивність рослинності	500 м та 1 км	8 дів та щорічно
AMSR-E	AE_Land3 – рівень вологості ґрунту	74 × 43 км	щоденно
SRTM	DEM – цифрова модель рельєфу	90 м	не змінюється

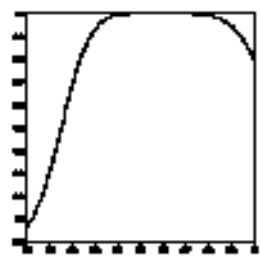
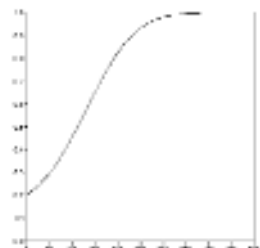
Базою для оцінювання видового різноманіття природних угруповань певної території служить класифікація покриттів ландшафту. Її можна одержати за даними ДЗЗ і наземних вимірювань [14]. Саме заради неї виконується оцінка потенційного видового різноманіття для кожного класу земної поверхні за (2). Якщо можливості космічного знімання дають можливість виконати класифікацію рослинності за видами, то можна отримати безпосередню оцінку видимого різноманіття території, до якого віднесені різноманіття на-

ведених факторів та їх проявів на території дослідження, а також тих компонентів видового різноманіття, які реєструються засобами ДЗЗ. Можна також встановити залежність між видимим і прихованим різноманіттям (тобто тими його компонентами, які не можна прямо визначити за космічними зніманнями) і обчислити загальне видове різноманіття для кожної ділянки ландшафту [15].

Далі на основі відомих екологічних моделей, статистичних залежностей або експертних уявлень про вплив цього фактору на ви-

**Таблиця 3. Функції належності для вхідних даних**

Назва фактора	Показник	Базовий продукт	Функція належності
Водозбір	кількість опадів, мм	MOD05L2	
Температура	температура поверхні, °C	MOD11A1	
Рослинність	Enhanced Vegetation Index (EVI)	MOD13Q1	
Ефективність фотосинтезу	Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR)	MOD15A2	
Продуктивність рослинності	Net Primary Production (NPP) кг·С/(м <sup>2</sup> ·рік)	MOD17A3	

Назва фактора	Показник	Базовий продукт	Функція належності
Вологість ґрунту	вміст води в ґрунті, г/см <sup>3</sup>	AE_Land3	
Сонячна освітленість	середньодобове надходження сонячної радіації, Вт/м <sup>2</sup>	SRTM DEM	

дове різноманіття для кожного з  $n$  факторів  $F_i$  визначається вигляд функції належності  $\mu_i(F_i)$  впливу для всього діапазону можливих значень  $F_i$ . Якщо всі функції належності визначені, можна обчислити спільну функцію належності  $\mu_0$  вектора факторів. Теоретичним обґрунтуванням цього визначення може служити висновок про існування обмежуючого фактора для будь-якого вектора факторів [8, 13].

У цьому разі природною операцією визначення спільної функції належності буде нечітка кон'юнкція:

$$\mu_0 = \bigwedge_{i=1}^n \mu_i(F_i) . \quad (3)$$

Після визначення обмежуючої функції належності (3) та показника потенційного видового різноманіття (2) можна знайти поточну оцінку індексу видового різноманіття  $B$ :

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

Для реалізації (3) визначені допоміжні функції належності  $\mu_i$  для кожного вхідного інформаційного продукту (їх наведено у табл. 3).

#### 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З СЕРВІСОМ ОЦІНЮВАННЯ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ

При реалізації інформаційної інфраструктури для оцінювання видового різноманіття за супутниковими даними можна виділити такі крупноблочні операції:

- завантаження вхідних даних;
- попільське суміщення вхідних даних;
- застосування методики оцінювання різноманіття.

У створюваній інформаційній інфраструктурі ці операції необхідно реалізувати у вигляді функціональних компонентів відповідно до міжнародних стандартів.

##### 4.1. Вхідні дані для оцінювання видового різноманіття

У процесі оцінювання видового різноманіття виникає необхідність у регулярному отриманні великих об'ємів різноманітних даних з різних джерел. У табл. 4 наведено детальну інформацію про джерела отримання вхідних

даних. Вхідні дані SRTM DEM можуть бути отримані одноразово. Всі інші дані повинні завантажуватися на регулярній основі.

Усі продукти MODIS, окрім MOD03A2 та MOD05L2, належать до третього рівня обробки і утворюють на поверхні Землі регулярну сітку. Досліджуваним територіям за схемою покриття MODIS відповідають квадрати з координатами H19V03; H19V04; H20V03; H20V04; H21V03; H21V04.

На відміну від інших даних MODIS продукти MOD03A2 та MOD05L2 належать до другого рівня обробки і є безпосередніми результатами вимірювань супутника, обробленими за певним алгоритмом. Для визначення необхідних для роботи файлів потрібно отримати та обробити файли метаданих, які описують інформацію, що зберігається у файлах даних, та містять координати кутів відповідного супутникового зображення.

#### **4.2. Суміщення вхідних даних**

Описані вище операції (2)–(4) здійснюються для всіх елементів космічних зображень, що містять значення  $F_1$ . Очевидно, що перед по-

чатком оцінки видового різноманіття всі задіяні інформаційні шари повинні бути попіксельно суміщені між собою.

Метою попіксельного суміщення даних є переведення множини геопросторових зображень у таку форму, в якій пікселям з однаковими відносними ортогональними координатами відповідають ділянки з однаковими реальними географічними координатами. Результатом суміщення має бути ряд зображень з однаковою розрізненістю та розміром пікселів, що покривають одну й ту ж саму ділянку земної поверхні.

Для дослідження було обрано Причорноморський регіон України включаючи півострів Крим. Межі досліджуваної частини показано на рис. 1.

Для виконання операцій суміщення та перепроєктування вхідних даних було використано стандартний інструментарій (табл. 5). Необхідність використання різноманітного інструментарію для виконання однієї задачі зумовлюється тим, що формати вхідних даних є суттєво різними і не завжди повністю відповідають заявленим стандартам.

**Таблиця 4. Джерела вхідних даних**

Тип вхідних даних	Джерело даних	Web-адреси
MOD03A2 – геолокаційні дані	LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System)	<a href="http://ladsweb.nascom.nasa.gov/index.html">http://ladsweb.nascom.nasa.gov/index.html</a>
MOD05L2 – повний водозбір		
MOD11A1 – температура поверхні	LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center)	<a href="http://edcdaac.usgs.gov/main.asp">http://edcdaac.usgs.gov/main.asp</a>
MOD12Q1 – типи покриття ландшафту		
MOD13Q1 – вегетаційні індекси		
MOD15A2 – листяне покриття		
MOD17A3 – продуктивність рослинності		
AE-Land3 – вологість ґрунту	NCIDS (National Snow and Ice Center)	<a href="http://nsidc.org/">http://nsidc.org/</a>
SRTM DEM – чисельна модель рельєфу	CGIAR-CSI	<a href="http://srtm.csi.cgiar.org/">http://srtm.csi.cgiar.org/</a>

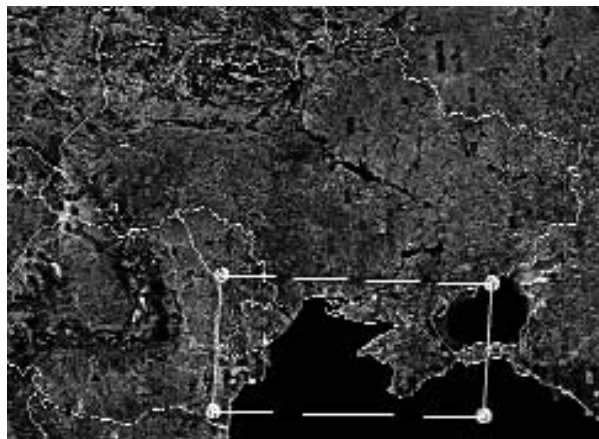


За спільну проекцію для вхідних даних було обрано рівновелику конічну проекцію Альберта [16] через її широку підтримку інструментальними засобами та відсутність спотворень площі елементів. Параметри обраної проекції наведено у табл. 6.

**4.3. Засоби програмної реалізації та результати оцінювання видового різноманіття**

Для програмної реалізації методики оцінювання видового різноманіття було використано алгоритмічну мову *Python* з розширенням *Numeric Python*, що містить векторну реалізацію операцій над масивами. Крім того, для прискорення роботи програми частина функціональності (векторна реалізація ряду допоміжних обчислювальних функцій) була реалізована у вигляді бінарних розширень *Python* на алгоритмічній мові C. Це дало можливість прискорити виконання відповідних операцій на декілька порядків.

Результатом роботи розроблених програмних компонентів є геоприв'язаний файл у форматі GeoTIFF, що містить оцінку індексу видового різноманіття рослинного і тварин-



**Рис. 1.** Межі досліджуваної частини території України

**Таблиця 6.** Параметри спільної проекції вхідних даних

Параметр	Значення
Перша стандартна паралель	40
Друга стандартна паралель	50
Центральна широта	45
Центральна довгота	30
Зсув на північ	0
Зсув на схід	0

**Таблиця 5.** Інструментарій для попиксельного суміщення вхідних даних

Тип вхідних даних	Інструментарій	Web-адреси
MOD05L2 – повний водозбір	MODIS Swath Reprojection Tool	<a href="http://edcdaac.usgs.gov/landdaac/tools/mrtswat/index.asp">http://edcdaac.usgs.gov/landdaac/tools/mrtswat/index.asp</a>
MOD12Q1 – типи покриття ландшафту	MODIS Reprojection Tool	<a href="http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp">http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp</a>
MOD11A1 – температура поверхні		
MOD13Q1 – вегетаційні індекси		
MOD15A2 – листяне покриття		
MOD17A3 – продуктивність рослинності		
AE-Land3 – вологість ґрунту	GDAL (Geospatial Data Abstraction Layer)	<a href="http://www.remotesensing.org/gdal/">http://www.remotesensing.org/gdal/</a>
SRTM DEM – чисельна модель рельєфу		



**Рис. 2.** Карта видового різноманіття рослинного і тваринного світу за період від 07.04.2006 до 23.04.2006

ного світів для Причорноморського регіону України. Приклад результуючого зображення наведено на рис. 2.

#### **4.4. Реалізація сервісу оцінювання видового різноманіття**

Для представлення отриманих результатів через мережу Internet було розроблено картографічний *web*-додаток, який надає користувачу можливість переглядати оцінку індексу видового різноманіття рослинного і тваринного світу Причорноморського регіону України за допомогою інтерактивного картографічного інтерфейсу. *Web*-інтерфейс системи було створено за допомогою каркасу Cartoweb (<http://www.cartoweb.org/>). Детально принципи розробки картографічних *web*-сервісів розглядаються у роботі [17]. *Web*-додаток інтегровано до Internet-порталу системи GEO Ukraine, який можна знайти за адресою <http://geo-ukraine.org.ua>. Приклади інтерфейсу користувача сервісу наведено на рис. 3 і 4.

### **5. ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ РОБІТ**

На прикладі спільного проекту ІКД НАНУ–НКАУ та ЦАКДЗ НАНУ інноваційний шлях міждисциплінарних наукових досліджень та

виконання робіт довів свою доцільність та ефективність, оскільки при цьому наукові результати високого рівня можна довести до кінцевого користувача за обмежений часовий термін, отримавши якісно нові наукові інформаційні продукти.

Розроблений сервіс оцінки видового різноманіття дозволяє оперативно та регулярно отримувати дані про його рівень на досліджуваній території України та відслідковувати глобальні зміни в його стані. Це дає можливість вчасно відслідковувати негативні зміни в екології регіонів та забезпечувати підтримку в процесі прийняття рішень у галузі природокористування.

Результати, отримані при виконанні спільного конкурсного проекту, також слід розглядати як істотний внесок України у розвиток глобальної "системи систем" спостереження за навколишнім середовищем GEOSS. Реалізований картографічний сервіс відповідає відкритим стандартам OGC WMS та OGC WCS, що забезпечує його природну інтеграцію з іншими картографічними сервісами та GIS-системами.

Подальше вдосконалення сервісу оцінювання видового різноманіття можливе за рахунок використання космічних знімків високої просторової роздільної здатності та визначення тенденцій зміни екосистем на основі багаторічних спостережень і дозволить отримати якісно нові наукові та прикладні результати, які забезпечать більш ефективне вирішення проблем екологічної безпеки та дадуть змогу значно підвищити якість і точність прийняття управлінських рішень щодо природокористування. Відпрацьовані технологічні рішення забезпечать підґрунтя для розбудови українського сегменту "системи систем" GEOSS та створення нових інноваційних інформаційних продуктів та сервісів.

Оскільки розвиток програми GMES та розбудова системи GEOSS передбачають обробку великих об'ємів супутникових даних з

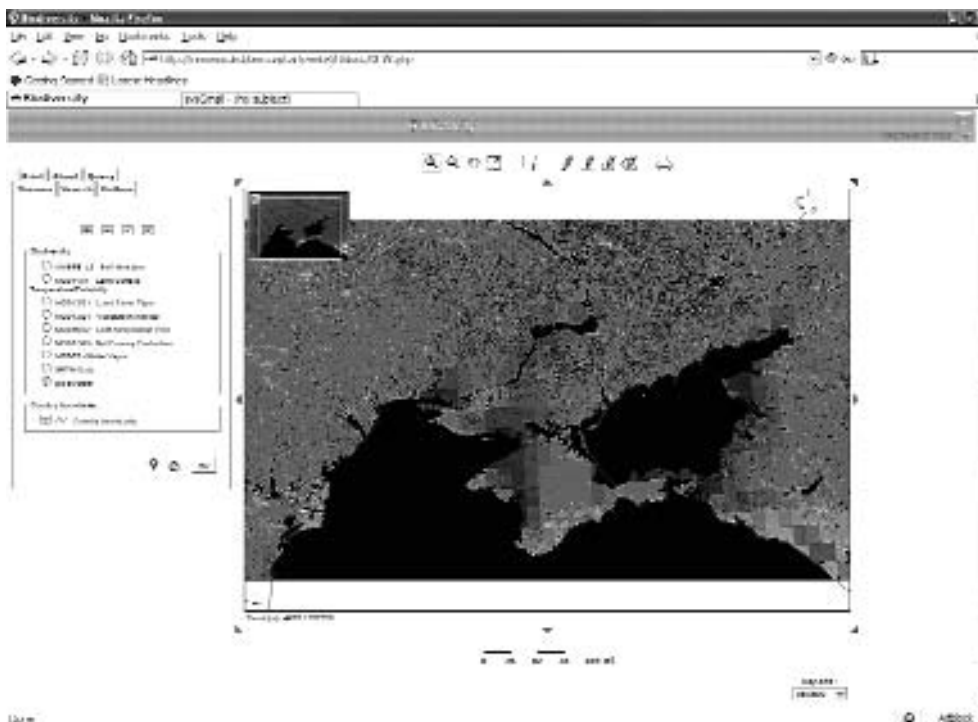


Рис. 3. Приклад результату роботи сервісу оцінювання видового різноманіття у вікні браузера



Рис. 4. Результат роботи сервісу оцінювання видового різноманіття із збільшеним масштабом

застосуванням складних моделей (наприклад, метеорологічних, моделей процесів енергомасообміну в геосистемах тощо), то створення відповідних сервісів неможливе без використання суперкомп'ютерної техніки, високопродуктивних обчислень та Grid-інфраструктури для побудови ефективних розподілених систем [18]. Всі ці важливі аспекти повинні бути враховані при подальших дослідженнях.

Таким чином, іноваційний шлях виконання наукових досліджень дасть можливість створити в Україні якісно новий рівень надання інформаційних послуг та внести суттєвий внесок у розбудову глобальних систем моніторингу стану довкілля.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Building a European information capacity for environment and security. A contribution to the initial period of the GMES Action Plan (2002–2003). // Office for Official Publications of the European Communities. – Luxembourg, 2004. – 238 p.
2. Global Monitoring for Environment and Security (GMES): Establishing a GMES capacity by 2008 – (Action Plan (2004–2008)). // Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, Brussels, COM (2004) 65 final, 2004. – 23 p.
3. Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) 10-Year Implementation Plan Reference Document. // ESA Publication Division, Netherlands, 2005. – 209 p.
4. Система геоінформаційного космічного забезпечення. – [www.cosmogis.org.ua](http://www.cosmogis.org.ua).
5. **Федоров О. П., Кукуль Н. Н., Шелестов А. Ю.** Задачи и перспективы развития в Украине информационной системы наблюдения Земли из космоса. // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 6. – С. 116–121.
6. **Dufourmont H., Annoni A., De Groof H.** INSPIRE – Work Programme Preparatory Phase 2005–2006. // ESTAT-JRC-ENV, 2004. – 78 p.
7. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. / За ред. В. І. Лялько та М. О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
8. **Одум Ю.** Экология. – Т. 2. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 376 с.
9. **Протасов А. А.** Биоразнообразие и его оценка: Концептуальная диверсикология. – К.: Институт гидробиологии, 2002. – 108 с.
10. **Киселев А. Н.** Оценка и картографирование биологического разнообразия (на примере Приморья). // Геоботаническое картографирование, 2000. – Т. 3. – С. 3–15.
11. География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Изд-во научн. и уч.-метод. центра, 2002. – 432 с.
12. **Станкевич С. А., Козлова А. О.** Особенности расчета индекса видового разнообразия за результатами статистической классификации аэрокосмических снимков. // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, 2006. – Т. 19 (58). – С. 144–150.
13. **Козлова А. А., Станкевич С. А.** Оценка и картографирование биоразнообразия Северно-Причерноморского региона Украины на основании многоспектральных космоснимков и геоинформационных технологий. // Сборник тезисов Шестой украинской конференции по космическим исследованиям. – Евпатория: ИКИ НАН Украины, 2006. – С. 117.
14. **Попов М. О., Станкевич С. А., Козлова А. О.** Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аэрокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України. // Тезиси докладов міжнародної наукової конференції "Фундаментальні дослідження важливіших проблем естественних наук на основі інтеграційних процесів в освітанні та науці". – Севастополь: ННЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 82–83.
15. **Попов М. А., Станкевич С. А., Козлова А. А.** Особенности использования многоспектральных аэрокосмических изображений при количественной оценке видового разнообразия растительного покрова. // Тезиси докладов Четвертой всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". – М.: ИКИ РАН, 2006. – С. 225–226.
16. **Snyder J. P.** Map Projections – A Working Manual. U. S. Geological Survey Professional Paper 1395. – Washington: U. S. Government Printing Office, 1987. – P. 98–103.
17. **Кравченко О. М., Шелестов А. Ю.** Застосування реалізацій стандартів OGC для створення розподілених систем візуалізації та надання геопросмотрових даних. // Проблеми програмування. – 2006. – № 2–3. – С. 135–140.
18. **Шелестов А. Ю., Кукуль Н. Н., Скакун С. В.** Grid-технологии в системах мониторинга на основе спутниковых данных. // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 1–2. – С. 259–271.

**Н. Н. Куссуль, М. А. Попов, А. Ю. Шелестов, С. А. Станкевич, М. Б. Корбаков, А. Н. Кравченко, А. О. Козлова. ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС ОЦЕНКИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ПРИЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ УКРАИНСКОГО СЕКМЕНТА СИСТЕМЫ GEOSS.**

**Аннотация:** Рассматривается web-сервис для оценивания биоразнообразия Причерноморского региона, совместно разработанный учеными Института космических исследований НАНУ–НКАУ и Научного центра аэрокосмических исследований Земли НАНУ в рамках инновационного проекта НАН Украины. Описана методика оценки видового разнообразия с использованием космических изображений, в основу построения которой положен экосистемный подход.

**Ключевые слова:** биоразнообразие, GEOSS, GMES, web-сервисы.

**N. N. Kussul, M. A. Popov, A. Yu. Shelestov, S. A. Stankevich, M. B. Korbakov, A. N. Kravchenko, A. O. Kozlova. INFORMATION SERVICE FOR ESTIMATE OF THE PRE-BLACK SEA AREA BIODIVERSITY CONCERNING DEVELOPMENT OF THE UKRAINIAN SEGMENT OF GEOSS.**

**Abstract:** This article gives an overview of the web-service for estimate of the pre-Black Sea area biodiversity in Ukraine. The service was developed by cooperative system of Space Research Institute of NASU–NSAU and Scientific Center for Aerospace Research of the Earth of NASU within the innovative project of NAS of Ukraine. The estimation procedure using the space images is based on the ecosystem method.

**Keywords:** Biodiversity, GEOSS, GMES, web-services.

*Надійшла до редакції 15.01.07.*

---