

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ
УГРУПОВАНЬ ВОДЯНИХ РОСЛИН ГИРЛА
ДУНАЮ**

Л.Я. Сіренко, Е.Л. Звенигородський
Інститут гідробіології НАН України,
м. Київ, пр. Героїв Сталінграду, 12

Проблема обробки даних моніторингу угруповань водяних рослин, які є основною трофічною, середовищеутворюючою та індикаторною ланкою у відповідних екосистемах, на сьогоднішній день становить неабиякий інтерес для спеціалістів [1]. Нами була розроблена й апробована на прикладі рослин гирла Дунаю математична модель та відповідна комп'ютерна програма комплексного аналізу екологічного стану угруповань водяних рослин.

Модель комплексного аналізу даних про структуру та екологічний стан угруповань водяних рослин гирла р. Дунай описувалася наступною матрицею парних порівнянь:

	AB ₁	AB ₂	...	AB _n
AB ₁	1	p ₁₂	...	p _{1n}
AB ₂	p ₂₁	1	...	p _{2n}
...
AB _n	p _{n1}	p _{n2}	...	1

де p_{ij} – бальна експертна оцінка переваги об'єкта AB_i над об'єктом AB_j.

При складанні матриці парних порівнянь в якості об'єктів AB₁, AB₂, ... AB_n були обрані ділянки гирла Дунаю з характерними для них комплексами асоціацій водяних рослин. Порівняння проводилося за певним наперед заданим критерієм. Порівнювались між собою водні об'єкти з характерними для них угрупованнями водяних рослин та гідрохімічними показниками. При цьому структура угруповань аналізувалася методами проведеного нами кластерного аналізу [2], а гідрохімічні показники – з використанням побудованої нами бази знань та експертної системи [3]. Теорія розмитих множин (Л.Заде, 1965) дає наступне значення рейтингу кожного

окремого об'єкту AB_i:

$$\mu(AB_i) = 1 / (p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + \dots + p_{in}) \quad (1)$$

Розроблений нами метод критеріальних оцінок передбачав виявлення рейтингів кожного об'єкту за обраним критерієм і ранжування об'єктів у порядку зменшення значень їх рейтингів. Алгоритм включав наступні кроки: визначення сукупності водних об'єктів AB₁-AB_n; формування критерію, за яким буде проведено комплексний аналіз і побудована матриця порівнянь; обчислення рейтингів та ранжування об'єктів AB₁-AB_n з використанням формули (1).

Окремим випадком рейтингового ранжування слід вважати запропонований нами оригінальний метод аналізу динаміки змін стану екосистем. Ідея даного методу полягала в тому, що для парних порівнянь беруться не окремі об'єкти AB_i, а один і той же об'єкт у різні моменти часу. В результаті є можливість отримувати картину розвитку у часі відповідності водного об'єкту різноманітним критеріям. На нашу думку, внаслідок більшої адекватності опису природних явищ засобами теорії розмитих множин у порівнянні з традиційними методами, запропонований нами метод аналізу динаміки екосистем є більш інформативним, ніж традиційні методи (часових рядів, матриць Маркова та ін.).

Таким чином, було вирішено завдання поєднання окремих ланок дистанційного моніторингу в рамках єдиної математичної теорії розмитих множин.

Комплексним критерієм для дунайської гирлової ділянки була обрана природоохоронна цінність територіальних одиниць водяної рослинності, яка, згідно з наявною класифікацією (Дубына Д.В., Гейны С. и др., 1993), складалася з 3 ознак (у порядку важливості): 1) кількість асоціацій видів макрофітів ділянки, що занесені у Червону книгу України; 2) кількість асоціацій декоративних видів; 3) загальне число асоціацій. Відповідні рейтинги наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Рейтинги природоохоронної цінності комплексів рослинних асоціацій гирла р. Дунай (послідовність комплексів відповідає зменшенню їх природоохоронної цінності)

Комплекс	Географічні ділянки	Рейтинг
ІЖАЧА ГОЛІВКА/ГОРІХ	ДЕЛЮКОВ, РИБАЧИЙ, АНАНЬКІН, ЦИГАНКА, ПОТАПОВ РУКАВ	0,444
ЛАТАТТЯ/ВОДОПЕРИЦЯ	ДЕЛЮКОВ, АНАНЬКІН	0,140
РОГОЗОВИЙ РЯД*	СОЛОНІЙ, ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ, РИБАЧИЙ, ПОТАПОВСЬКИЙ, АНАНЬКІН, ЦИГАНКА, ЛАЗОРКІН	0,072
ГОРІХ/ПЛАВУН	АНАНЬКІН, ЦИГАНКА	0,032
КОМИШОВИЙ*	СОЛОНІЙ, ШАБОШ, ПЕРЕБОЇНА, ТАРАНОВ, АНАНЬКІН	0,023
ЛАТАТТЯ/ГОРІХ/КУШИР	ЛАЗОРКІН	0,017
ОЧЕРЕТ/КУШИР	АНАНЬКІН, ЛАЗОРКІН (НИЖНІЙ)	0,017
ДОМІНУВАННЯ РДЕСНИКА ПРОНИЗАНОЛИСТОГО*	СОЛОНІЙ, ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ, ПОТАПОВ РУКАВ	0,013
ОЧЕРЕТ/РОГІЗ	ПЕРЕБОЇНА, ТАРАНОВ	0,012
ВОДОПЕРИЦЯ/ХАРА**	ПЕРЕБОЇНА, ЛАЗОРКІН (ЦЕНТР)	0,008
ВОДОПЕРИЦЯ/РДЕСНИК	СОЛОНІЙ (ЦЕНТР), ШАБОШ (ЦЕНТР), ТАРАНОВ, ДЕЛЮКОВ	0,008
РІЗУХОВИЙ*	РИБАЧИЙ, ПОТАПОВСЬКИЙ (ЦЕНТР)	0,007
РДЕСНИК/КАМКА/ЦАНИКЕЛІЯ	СОЛОНІЙ (УЗБЕРЕЖЖЯ), ШАБОШ (УЗБЕРЕЖЖЯ)	0,006

* – монодомінантні зарості;

** – макроскопічна зелена водорість з класу Charophyceae, яка розвивається на літоралі в заростях вищих водних рослин.

В ході проведеного нами рейтингового критеріального аналізу у відповідності із розробленим алгоритмом було виявлено, що найціннішими виявилися ділянки заток *Делюков*, *Рибачий*, *Ананькін*, *Циганка* та у *Потаповому рукаві*. Це обумовлено наявністю в цих місцях видів *Trapa natans L.*, *Nymphaea alba L.*, *Nuphar lutea (L.) Smith.* та ін., а також високою загальною кількістю рослинних асоціацій на означених ділянках. Тобто, оптимальне поєднання таких факторів, як кількість асоціацій рідкісних та декоративних видів, загальна кількість асоціацій обумовили найбільшу цінність вказаних ділянок. Угрупування, що відносяться переважно до 2 комплексів (іжача голівка та водяний горіх), складають основу домінуючого тут килимового типу заростання.

Загалом, результати проведеного нами ранжування природоохоронної цінності ділянок гирла р. Дунай, одержані на підставі нетрадиційних для гідробіології підходів теорії розмитих множин, збігаються з експертними оцінками, виконаними традиційними метода-

ми, й можуть бути використані в галузі природоохоронного районування та інвентаризації ресурсів. Справа в тому, що на їх одержання було витрачено на порядок менше часу при збільшенні достовірності отриманих показників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиренко Л.А., Звенигородский Э.Л. Усовершенствование обработки информации дистанционного мониторинга водных объектов с помощью методов и алгоритмов нечеткой логики // Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. трудов.- Севастополь: МГИ НАНУ.-1998.- С. 174-177.
2. Звенигородский Э.Л., Ротштейн А.П., Дьяченко Т.Н. и др. Кластерный анализ иерархии структур пространственных единиц водных макрофитов // Гидробиол. журн.-1997.-Т. 33, № 2.-С. 94-103.
3. Федоровский А.Д., Сиренко Л.А., Звенигородский Э.Л. и др. Оценка экологического состояния водоемов с использованием космической информации // Космична наука і технологія.-1996.-Т. 2, №5-6.- С. 103-106.