

УДК 504.06

**РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ СКЛАДОВИХ ДОВКІЛЛЯ
ТА РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ**

*О.С. Волошкина, д-р. техн. наук, проф.
(Київський національний університет
будівництва та архітектури)
В.О. Охарев, аспірант
(Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН)*

В статті проаналізовано можливості сучасних геоінформаційних технологій та технологій дистанційного зондування Землі з космосу в контексті удосконалення державної системи управління природокористуванням, охороною природи та екологічною безпекою в регіонах України. Запропонований підхід до районування територій обласного рівня з урахуванням інтегральних показників екологічного стану довкілля на базі актуальних ГІС-технологій.

В статье проанализированы возможности современных геоинформационных технологий и технологий дистанционного зондирования Земли с космоса в контексте усовершенствования государственной системы управления природопользованием, охраны природы и экологической безопасности в регионах Украины. Предложен подход к районированию территорий областного уровня с учетом интегральных показателей экологического состояния окружающей среды на базе актуальных ГИС-технологий.

Article analyzed the opportunities provided by modern geoinformation technologies and technologies for remote sensing of the Earth from space in the context of improving the State system of environmental management, nature conservation and environmental safety in the regions of Ukraine. An approach to zoning of territories regional level taking into account the integral indicators of ecological condition of the environment on the basis of relevant GIS-technologies.

© О.С. Волошкина, В.О. Охарев, 2011

На сьогоднішній день питання управління екологічною безпекою, природокористуванням та охороною навколишнього природного середовища є одними з найактуальніших серед пов'язаних з регіональним розвитком. В умовах нестабільної екологічної ситуації на перший план виходить оперативність прийняття управлінських рішень, великого значення набуває також аспект прогнозування надзвичайних ситуацій, пов'язаних із соціально-економічними факторами. В таких умовах підвищується необхідність екологічної оцінки складових навколишнього середовища як окремо, так і в комплексі.

Суспільство знаходиться на такій стадії своєї еволюції, коли соціально-економічний розвиток повинен оцінюватись в безпосередньому зв'язку зі станом та якістю екологічного простору. Його тісний зв'язок з економічною та соціальною сферами як джерелами забруднення і впливу зумовлює їх функціональну єдність. Ця єдність проявляється в змінах показників стану цих підсистем та у визначуваних ними властивостях об'єктів. Вивчення взаємовідносин техногенної та соціальної сфер з навколишнім середовищем може бути успішно здійснене за допомогою системного підходу. Його методологічні функції дозволяють конструювати міжгалузеві та міждисциплінарні проблеми, до яких належить також проблема природокористування, охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів [1, 2].

Для забезпечення екологічно безпечного розвитку суспільства та ефективності природоохоронних програм на сучасному етапі виникла нагальна потреба застосування системного підходу не лише при розробці, плануванні та здійсненні природоохоронних заходів, але насамперед для регулювання стану довкілля в цілому в рамках єдиної територіальної системи екологічного, економічного та соціального простору [1, 3].

Вимога до забезпечення умов безпеки довкілля зумовлює необхідність розробки та удосконалення інструментарію для її оцінки. Ідея про необхідність досягнення екологічно безпечного стійкого соціально-економічного розвитку була покладена в основу низки міжнародних документів [4, 5].

Безпека довкілля є обов'язковою невід'ємною умовою досягнення стану стійкого розвитку. Саме цим фактом зумовлена об'єктивна необхідність розробки інструментарію для моніторин-

гу екологічного стану довкілля та його використання в розрахунках орієнтирів та траєкторії розвитку суспільства шляхом прогресу на базі урахування параметрів функціонування сформованих екологічних та економічних підсистем. Звідси виникає необхідність виведення деякого критерію оптимальності для цієї системи. Його можна трактувати як досягнення найкращого стану системи в межах розглядуваного перспективного періоду та можливостей підтримки цього стану на наступних етапах розвитку. На зміни в стані системи критично впливають дії самого суспільства, тому вони повинні бути спрямовані на координацію заходів щодо збереження фундаментальних параметрів природних систем з потребами розвитку суспільства.

Врегулювання відносин між суспільством та довкіллям полягає в соціальному, економічному, науково-технічному прогресі в поєднанні з розумним, обґрунтованим природокористуванням. При цьому екосистема будь-якого рівня є системою відкритого типу, тому взаємовідносини природи та довкілля слід розглядати не тільки в національному (регіональному), але і в міждержавному та навіть глобальному масштабі. Тут мається на увазі створення механізму системи не тільки короткострокового, але й довгострокового прогнозування і планування. Це пов'язано з необхідністю розбудови багаторівневої системи, що дозволить здійснювати дослідження наслідків впливу соціально-економічних факторів на стан довкілля. У зв'язку з переходом до еколого-економічного принципу природокористування сьогодні відбувається переорієнтація на нові методи управління екологічною безпекою, використанням природних ресурсів та охороною природи. В контексті цього змінюється і стратегія управління, під якою розуміють спосіб цілеспрямованого розподілу в просторі та часі тих ресурсів, що знаходяться у розпорядженні конкретної особи чи установи, що ухвалює певне управлінське рішення.

Удосконалити та доповнити інструментарій прийняття рішень в даній сфері може проведення екологічного районування території області, яке може мати характер виділення проблемних ділянок як ареалів забруднення, межі яких не співпадають з діючою системою адміністративно-територіального поділу, так і проводитись в його межах, з наданням кожному з адміністративних

районів рейтингу екологічної напруги, що формується шляхом визначення інтегрального коефіцієнту техногенного навантаження, що враховує забруднення приземного шару атмосфери, водних ресурсів та верхнього шару ґрунтів.

В результаті аналізу сучасних моделей екологічного районування авторами зроблений висновок про можливість проведення інтегрального екологічного районування території області за показником антропогенного навантаження на одиницю території. Кінцевим індикатором, що визначить специфіку територіального розподілу при районуванні стане відносний інтегральний показник сумарного антропогенного навантаження на 1 км². Оскільки антропогенне навантаження складових довкілля є комплексним процесом, при розрахунку інтегрального показника доцільно врахувати навантаження на кожну зі складових довкілля, якими вважаємо атмосферне повітря (особливо його приземний шар), водні ресурси та земельні ресурси. По кожній з зазначених підсистем необхідно провести аналіз за рядом критичних показників, після чого зробити висновок по масштабах антропогенного навантаження. [2,3]

На думку авторів, задля досягнення високої достовірності оціночних даних необхідно застосовувати широкий комплекс методів, а саме:

- польові спостереження
- методи математичного моделювання
- космічний моніторинг.

Всі перераховані комплекси методів мають свої переваги і недоліки. Але тільки їх поєднання може дати достовірну характеристику екологічної ситуації.

Оскільки всі показники для екологічної оцінки є просторово розподіленими, комплекс оціночних методів повинен включати аналіз даних, отриманих шляхом дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ). Сучасні технології дешифрування космічних знімків надають можливість інвентаризації джерел забруднення, аналізу його просторового розподілу та інтенсивності через використання комплексу дешифрувальних ознак. А поєднання методів ДЗЗ з можливостями геоінформаційних технологій дозволяє акумулювати кількісні та якісні дані показники екологічного стану складових довкілля і відображати динаміку процесів природокористування

в формах наочних картографічних моделей. Разом з тим, дистанційні методи моніторингу стану довкілля найкраще виправдовують своє використання в комплексі з традиційними методами визначення кількісних показників забруднення.

Відповідно, основною метою дослідження є викладення можливостей актуальних ДЗЗ та ГІС-технологій для проведення екологічного районування територій обласного рівня з подальшою імплементацією його результатів в автоматизовану систему управління природокористуванням, екологічною безпекою та охороною навколишнього природного середовища.

Для екологічної оцінки кожної зі складових довкілля доцільно застосовувати дані, отримані шляхом дистанційного зондування (космічні знімки). Для дослідження кожної з підсистем навколишнього середовища можуть бути застосовані знімки в різних діапазонах. Від конкретних цілей залежить і роздільна здатність знімка. Оскільки досліджується територія значної площі (20–50 тис. км²), для виконання більшості завдань достатньо знімків з роздільною здатністю від 250 до 1000 м, які знаходяться в вільному доступі — наприклад, знімки сканером MODIS супутнику TERRA). Для вирішення завдання визначення специфіки забруднення на конкретних ділянках досліджуваної території доцільно застосовувати більш точні дані, для чого користуються знімками, що мають середню та високу роздільну здатність — LANDSAT, ASTER. Також використовують знімки з роздільною здатністю < 1 м (наприклад, QuickBird, GeoEye). Їх основний недолік — висока вартість.

Основним результатом дешифрування космічних знімків є дані про просторовий розподіл та інтенсивність забруднення. Аналіз космічних знімків дає лише якісні показники забруднення. Для визначення кількісних показників необхідна координатація дистанційних та наземних методів моніторингу (контактних вимірів, відбору проб). Наземні виміри проводяться на тестовому полігоні, що також відображений на космічному знімку, після чого результати апроксимують на всій досліджуваній території. Отримані дані використовуються для визначення зв'язків між параметрами космічних знімків і параметрами стану навколишнього середовища. Залежність визначається методами кореляційного та регресійного аналізів даних.

Розрахунок просторово розподілених показників проводиться за допомогою технологій геоінформаційних систем в рамках програмного пакету ArcGIS 9 (версія ArcINFO). За допомогою геоінформаційних методів можна отримати дані про просторовий розподіл забруднюючих речовин (наприклад, площу плям на водній поверхні, ареали розповсюдження техногенного пилу та ін..). Також доцільно за допомогою даного програмного пакету провести розрахунок показників, що мають непрямий зв'язок з інтенсивністю антропогенного навантаження (наприклад, площу лісових масивів, сільгоспугідь, полігонів твердих побутових відходів, ширину та якісні параметри захисних зелених насаджень) — тих показників, визначення яких за допомогою польових вимірів є дуже витратним.

Велика кількість даних про екологічний стан довкілля може бути отриманий з високим ступенем достовірності лише за допомогою польових спостережень. Наприклад, дані про перевищення ГДК забруднюючих речовин у воді, вміст солей в зоні аерації ґрунту тощо. Після отримання цих даних проводиться оцінка екологічного стану та прогнозування ситуації за допомогою методів математичного моделювання, деякі з них описані в даній статті. Якщо показник має територіальну прив'язку, його також можна розрахувати за допомогою технологій геоінформаційних систем. Пакет ArcGIS має широкий набір інструментів для вирішення завдань такого типу. Наступним кроком після визначення ключових показників є розрахунок індексів забруднення кожної з підсистем. Під «індексом забруднення» розуміємо інтегральний показник, що кількісно характеризує стан всіх складових даної підсистеми. Наприклад, для гідросфери такими складовими вважають радіоактивне забруднення, використання земель в басейнах річок, господарське використання водних ресурсів та якість води. [6]

Наступним етапом є визначення інтегрального коефіцієнту техногенного навантаження на довкілля. При цьому враховуються наступні групи показників:

- індекс навантаження на приземний шар атмосфери, що характеризує рівень забруднення повітря основними групами шкідливих речовин;

- індекс навантаження на водні об'єкти, що характеризує рівень забруднення водних ресурсів суходолу речовинами антропогенного походження, а також відображає показники водокористування;

- індекс навантаження ґрунтового покриву, що характеризує рівень забруднення земель речовинами антропогенного походження, а також відсоток розораності земельних ресурсів, показники, що характеризують рівень еродованості ґрунтів;

- індекс, що визначає лісистість територій;

- індекс охороняємості територій, що включає відсоток земель, що входять до складу природно-заповідного фонду та їх охоронний статус, виражений в формі вагового коефіцієнту;

- довжина транспортних шляхів та їх соціально-економічне значення;

- площа урбанізованих територій та густина населення [6, 7].

При визначенні індексів доцільно надати кожному з них ваговий коефіцієнт, що зробить запропоновану модель універсальною для всіх регіонів України. Оскільки екологічна ситуація є унікальною для кожного регіону, необхідно встановити пріоритетні напрямки управлінських рішень. Наприклад, в Закарпатській області майже не розмішені потужності важкої індустрії, і порівняно невелика кількість автотранспортних засобів, але існує суттєва проблема з підтопленням земель і якістю води — тому в даному випадку доцільно надати більшу вагу коефіцієнту водних ресурсів. В той же час у промислово розвинених і густонаселених регіонах східної частини України в структурі забрудненні суттєвішою є саме частка забруднення повітря стаціонарними і пересувними джерелами — тож тут розподіл ваги по коефіцієнтах буде іншим. Для надання вагових коефіцієнтів пропонується використати метод експертних оцінок, де роль експертів виконують фахівці в сфері екологічної безпеки та раціонального природокористування. Сума вагових коефіцієнтів повинна дорівнювати 1.

Інтегральний індекс антропогенного навантаження визначається для кожного з адміністративних районів. Його складові визначаються шляхом порівняння з аналогічними показниками по території всієї області. Якщо величина показника є прямо пропорційною величині техногенного навантаження, індекс

визначається як відношення обласного показника до районного; якщо зв'язок є зворотнім — навпаки. Величина інтегрального показника є зворотно пропорційною величині техногенного навантаження.

Автори пропонують шкалу, що складається з чотирьох категорій інтенсивності антропогенного навантаження, які визначаються за інтегральним індексом:

- відносно безпечний — антропогенне навантаження порівняно невисоке. Екологічні проблеми мають характер флуктуацій, не відчуваються або майже не відчуваються в сусідніх районах та можуть вирішуватись на рівні керівництва району. Пропонується підтримувати діяльність системи екологічної безпеки та природокористування на поточному рівні;

- підвищений — антропогенне навантаження середнє. Екологічні проблеми мають характер тренду, відчуваються в сусідніх районах. Пропонується внести корективи в стратегію природокористування, ситуація потребує розглядання на обласному рівні.

- небезпечний — антропогенне навантаження інтенсивне. Екологічні проблеми мають чітко виражений системний характер, відчуваються на значній території. Пропонується розглянути питання про прийняття нової стратегії природокористування з обов'язковим винесенням проблеми на рівень обласного керівництва.

- критичний — екологічні проблеми приймають форму, близьку до надзвичайної ситуації, їх наслідки відчуваються на дуже значній території, ставлять загрозу для безпеки життєдіяльності населення. Ситуація потребує введення режиму кризового (оперативного моніторингу) навколишнього середовища, радикального перегляду програми соціально-економічного розвитку регіону. Проблема потребує розглядання на загальнодержавному рівні, з залученням непрофільних установ.

Авторами пропонується проведення екологічного районування двох типів. При районуванні 1-го типу планується виділення територій, що співпадають з межами адміністративних районів. Якщо декілька сусідніх районів мають однакову категорію, пропонується виділити їх в екологічний субрегіон, з доцільністю координації управлінських зусиль в даних районах та уніфікації стратегії природокористування. Цей тип районування допомагає приймати управлінські рішення на

загальнообласному рівні при порівняно невисокому антропогенному навантаженню. Також цей підхід може удосконалити розподіл матеріальних ресурсів в природоохоронній сфері. [3, 8]

При районуванні 2-го типу межі районів можуть не співпадати з адміністративно-територіальним поділом, а виділяються за допомогою ізоліній. Цей вид районування дає більшу точність і достовірність, його можна використовувати при вирішенні проблем на районному рівні, а також при виникненні надзвичайної ситуації і запровадженні кризового моніторингу.

Візуалізація результатів екологічного районування проводиться у вигляді електронної карти, інтегрованої в відповідну регіональну ГІС у вигляді окремого тематичного шару, в якому повинна міститись наступна інформація:

- адміністративно-територіальний поділ області до рівня районів;
- населені пункти;
- транспортні комунікації (автодороги, залізниці, трубопроводи, летовища);
- захисні смуги уздовж транспортних комунікацій;
- стаціонарні джерела забруднення довкілля, диференційовані за господарською спеціалізацією;
- результати районування в межах адміністративно-територіального поділу;
- результати районування у вигляді системи ізоліній. [8]

Розроблена модель дозволяє проводити екологічне районування на будь-якому рівні. Але його доцільність викликає сумнів як в загальнодержавному масштабі (з причини надзвичайної генералізації екологічних проблем), так і на рівні адміністративного району (з причини відсутності у сільських рад повноважень в сфері природокористування та охорони довкілля). Тому сьогодні оптимальним є проведення районування саме на обласному рівні.

В результаті аналізу сучасних моделей екологічного районування авторами зроблений висновок про можливість проведення інтегрального екологічного районування території області за показником антропогенного навантаження на одиницю території. Кінцевим індикатором, що визначить специфіку територіального розподілу при районуванні стане відносний інтегральний показник сумарного антропогенного навантаження на 1 км².

За результатами аналізу досліджень в напрямку екологічного районування територій можна зробити висновок, що для підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в природоохоронній сфері доцільно провести інтегральне екологічне районування, використовуючи концептуальну модель кількісного «перехресного районування», тобто враховуючи низку показників без надання будь-якому з них суттєвих переваг в значимості перед іншими, але враховуючи рівень інформативності даних показників. Це пов'язано з комплексністю поставленого завдання, дуже високим рівнем відкритості будь-якої екосистеми та надзвичайною складністю кореляційних зв'язків між її компонентами. [8]

Кінцевим показником, за яким буде проводитись районування територій, обрано відносний інтегральний індекс антропогенного навантаження на одиницю досліджуваної території. Під антропогенним навантаженням розуміємо будь-який негативний вплив людської діяльності на життєдіяльність екосистеми, який можна виміряти кількісно. Це інтегральні індекси забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів та земельних ресурсів. Наведено приклади оціночних методик, за якими можна визначити такі індекси для кожної з зазначених підсистем.

Особливу увагу варто приділити методам отримання статистичних даних про екологічний стан довкілля. За результатами аналізу впровадженої в Україні Державної системи моніторингу навколишнього середовища можна зробити висновок, що низка дискретних методів, на основі яких проводиться моніторинг, не в змозі дати об'єктивну інтегральну оцінку стану навколишнього середовища. Більшу об'єктивність дає комплексне поєднання польових методів спостереження, методів математичного моделювання і методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в поєднанні з активним використанням технологій геоінформаційних систем (ГІС). Особливу увагу варто приділити саме впровадженню ДЗЗ/ГІС-технологій, оскільки методичний комплекс дешифрування космічних знімків є універсальним, а також використання зазначених можливостей дає змогу автоматизувати процес оцінки та прогнозування поточної екологічної ситуації в рамках спеціалізованої регіональної геоінформаційної системи.

* * *

1. Слюсаренко В.К. Эколого-экономическое районирование / В.К. Слюсаренко. — К.: Наук. думка, 1990.
2. Волошин І.М. — Методика досліджень проблем природо-користування / І.М. Волошин. — Львів: ЛДУ, 1994.
3. Блануца В.И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В.И. Блануца. — Новосибирск: Наука, 1993. — 158 с.
4. Закон України про охорону навколишнього природного середовища — К., 2006.
5. Положення про державну систему моніторингу навколишнього природного середовища. — К., 2006.
6. Греков Л.Д. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом / Л.Д. Греков, О.М. Красовський, О.М. Трофимчук. — К., 2007.
7. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій / Г.Я. Красовський. — К., Наук. думка, 2007.
8. Красовський Г.Я. Районування територій за рівнем антропогенного навантаження з залученням технологій дистанційного зондування Землі з космосу та геоінформаційних систем / Г.Я. Красовський, В.О. Охарев // Екологічна безпека і природокористування, 2010 р. — № 2. — К., 2010.

Отримано: 3.07.2011 р.