

УДК 577.4+528.574

Д.Л. КРЕТА

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ СКЛАДОВИХ ДОВКІЛЛЯ

***Анотація.** У даній статті розглянуто створення інформаційної технології аналізу та оцінки забруднення довкілля. Розкриті блоки створення методики дешифрування димових шлейфів та дешифрування забруднення снігового покриву. Наведено інструментарій об'єднання різночасових та різнорідних даних. Створено на основі цих методів еколого-картографічні моделі стану довкілля.*

***Ключові слова:** геоінформаційна система, дешифрування, картографічна модель, моніторинг.*

Вступ

Маючи багатий досвід вітчизняних та іноземних прикладів побудови геоінформаційних систем, можливо відзначити високий рівень та практичну цінність геоінформаційної системи моніторингу забруднення вод і ґрунтів. Існує тісний взаємозв'язок між сталим розвитком держави та станом природних ресурсів. Управління та раціональне користування природними ресурсами – запорука розвитку як економічного, так і екологічного потенціалу регіонів.

Згідно з міжнародними кліматичними угодами провідні індустріально розвинені країни узяли на себе відповідальність у 2008–2020 рр. зменшити викиди вуглекислого газу у середньому на 5% від рівня 1990 р. Кожній країні виділялася квота на емісію вуглекислого газу. Ті країни, які викидають вуглекислий газ менше запланованої квоти, можуть продати надлишок іншій країні, яка отримує право виробляти вуглекислого газу більше початкової квоти. Таким чином, протокол закріплює за національним урядом право на означену кількість шкідливих викидів і спонукає розвиток ринку щодо торгівлі цими правами.

Непрозорість та несвоєчасність надання інформації до Національного реєстру України, який звітує до Міжнародної системи обліку одиниць CO₂, може призвести до неспроможності торгівлі квотами та втрати мільярдів коштів на екологічні проекти.

Комплексний підхід до проблеми, який складається з: урахування баз даних щодо об'ємів викидів з труб заводів; слідкування за розповсюдженням димових шлейфів як фактора переносу забруднення за допомогою космічних знімків; статистичної обробки акумулювання викидів у ґрунтах та водних об'єктах, дає обґрунтований підхід у задачах моніторингу та підтримки прийняття рішень у справах регіонального управління. Встановлення взаємозв'язків між джерелами забруднення сприяє виявленню сумарних наслідків розподілення акумулювання забруднення.

1. Структура інформаційної системи

Необхідне створення інформаційної системи збору та аналізу викидів в атмосферу та підтримки прийняття рішень у сфері екологічного навантаження на атмосферу, що розбивається на наступні задачі:

1. База просторових об'єктів:

1.1. Топооснова;

1.2. Джерела викидів в атмосферу (підприємства, дороги, міста);

1.3. Джерела нейтралізації забруднення (ліси);

1.4. Космічні знімки для дешифрування об'єктів (снігу, димових шлейфів, лісів, автомобілів).

2. Програмне забезпечення для збору та зберігання баз даних та знань і для аналітичних розрахунків кількісних показників із залученням інтернет технологій.

3. Математично обґрунтовані методи підрахунку кількісних та якісних показників викидів.

Реалізація інформаційної технології можлива на різних програмних продуктах, наприклад ArcGIS, ERDAS, чи шляхом створення власних програм на сучасних мовах програмування. Ці програмні продукти залучаються для створення та аналізу баз даних, розробки та автоматизації методу обробки космічних знімків та композиції картографічних матеріалів для підтримки прийняття рішень у природоохоронній сфері.

Частина бази геоданих з топографічною основою наповнюється одноразово з подальшим актуалізуванням при необхідності (один раз в 1–5 років). У той час як результат дешифрування космічних знімків та розрахунку зон викидів за методикою – досить динамічний процес у часовому просторі (один раз у день – тиждень).

Методика дешифрування складається з об'єднання результатів методики розрахунку концентрації викидів із зосередженого джерела викидів ОНД-86, методики розрахунку концентрації викидів за дешифруванням димових шлейфів, методики розрахунку концентрації викидів за змінами альbedo снігового покриву, методики підрахунку забруднення вздовж доріг за дешифруванням трафіку автомобілів. Більш детально зупинимося на розкритті функціонування методики дешифрування забруднення снігового покриву та димових шлейфів. На рисунку 1 зображена структурна схема автоматичного дешифрування та синтезування ситуаційної карти ареалів забруднення.

Перший блок – ОНД-86 «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, які містяться у викидах підприємств ОНД-86» – це державна методика, яка була автоматизована і інтегрована в програмний продукт ArcGIS для побудови зон приземних концентрацій у двометровому шару на поверхні ґрунту діючих підприємств. Початкові дані у вигляді інформації про кількість та властивості викидів з підприємств, інформації про умови розповсюдження та метеорологічні дані, інформації про умови осадження на підстилаючу поверхню – на кінцевому етапі перетворюються у шар геоінформаційної системи з контуром осадження забруднення.

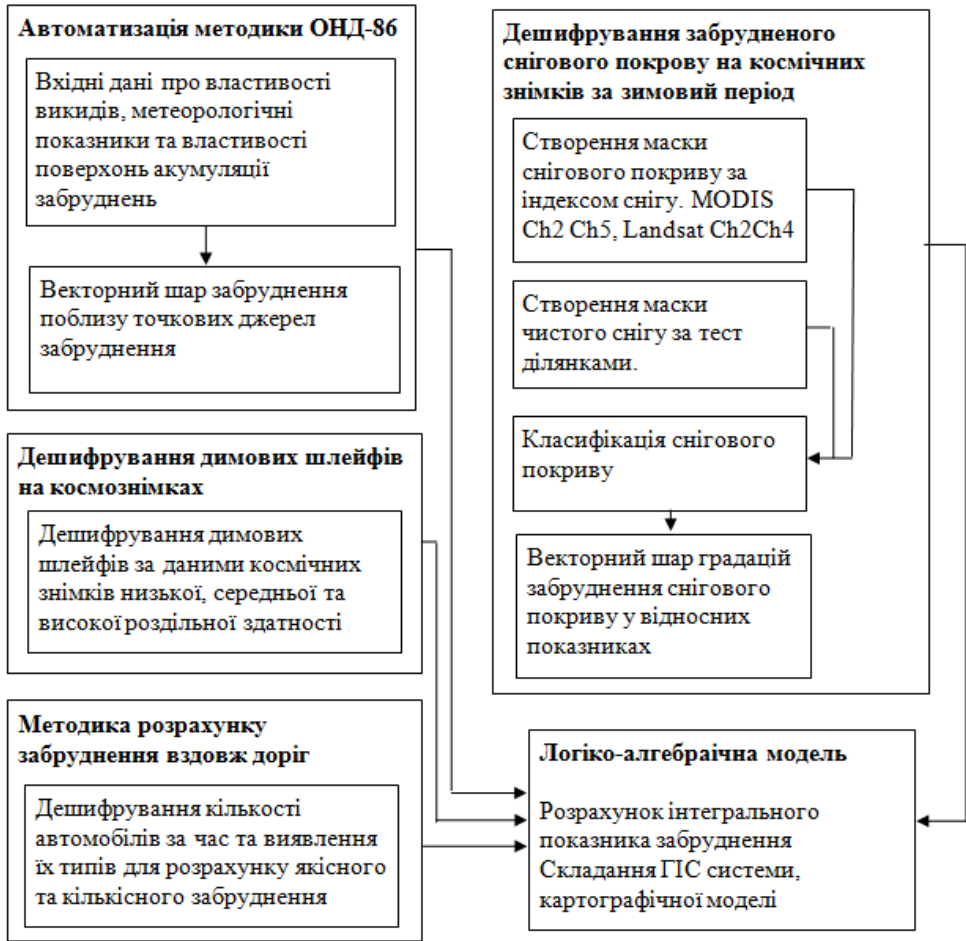


Рисунок 1 – Структурна схема методики формування бази даних забруднення довкілля

Другий блок – шар дешифрування космічних знімків за зимовий період. Знімки з космічних апаратів середнього просторового розрізнення обираються за наявності стійкого снігового покриву, щоб дешифрувати акумульоване забруднення, яке проявляє себе у порівнянні з еталонами чистого снігу на тестових ділянках.

Методика дешифрування космічних знімків за ознаками кореляційних моментів вищих порядків дає якісну зону забрудненого снігу та зону розподілу забруднення від димових шлейфів (рис. 2–4). Залучення бази Управління статистики по викидах від промислових підприємств (тонн на рік) та гідрометеорологічних даних (рози вітрів) дозволяє розраховувати кількісний показник розподілу забруднення по поверхні. Другий блок можна умовно розділити на чотири етапи: перший – маска чистого снігу на тест-ділянках; другий – маска наявності снігу, за розрахунком інтегрального індексу снігу, щоб виділити тільки снігову складову для подальшої класифікації; третій – класифікація снігу за ступенями забрудненості, четвертий – векторизація забруднених територій та підрахунок площі (рис. 5–6).

2. Дешифрування забрудненого снігового покриву на космічних знімках за зимовий період

Вихідний знімок формується як матриця пікселів з якісним або кількісним значенням забруднення в кожній комірці. Об'єднання результатів методик проводиться поелементно з кожною коміркою окремо.

Дешифрування забруднення снігового покриву побудовано на підборі коефіцієнтів забруднення експертним методом основних кореляційних моментів (середнє значення, дисперсія, асиметрія, ексцес):

$$m = \frac{1}{n-1} \sum_{i,j} I_{i,j}, D = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^2}{n-1}, S = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^3}{(n-1)D^{3/2}}, Kr = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - m)^4}{(n-1)D^4}, \quad (1)$$

де:

m – середнє значення пікселів в скануючому вікні;

I – значення яскравості пікселя;

i, j – координати пікселів в скануючому вікні;

n – кількість пікселів в скануючому вікні;

D – дисперсія значення яскравості;

S – скошена (асиметрія);

Kr – ексцес.

$$f(i, j) = \sum_{i=i_0-w}^{i_0+w} \sum_{j=j_0-w}^{j_0+w} F(i, j)H(i - i_0 + w + 1, j - j_0 + w + 1), \quad (2)$$

де:

H – матриця розміру $(2w+1) \times (2w+1)$ – маска оператора лінійного перетворення;

f – поле параметрів перетворення зображення. Перетворення являє собою операцію дискретної згортання зображення з маскою H .

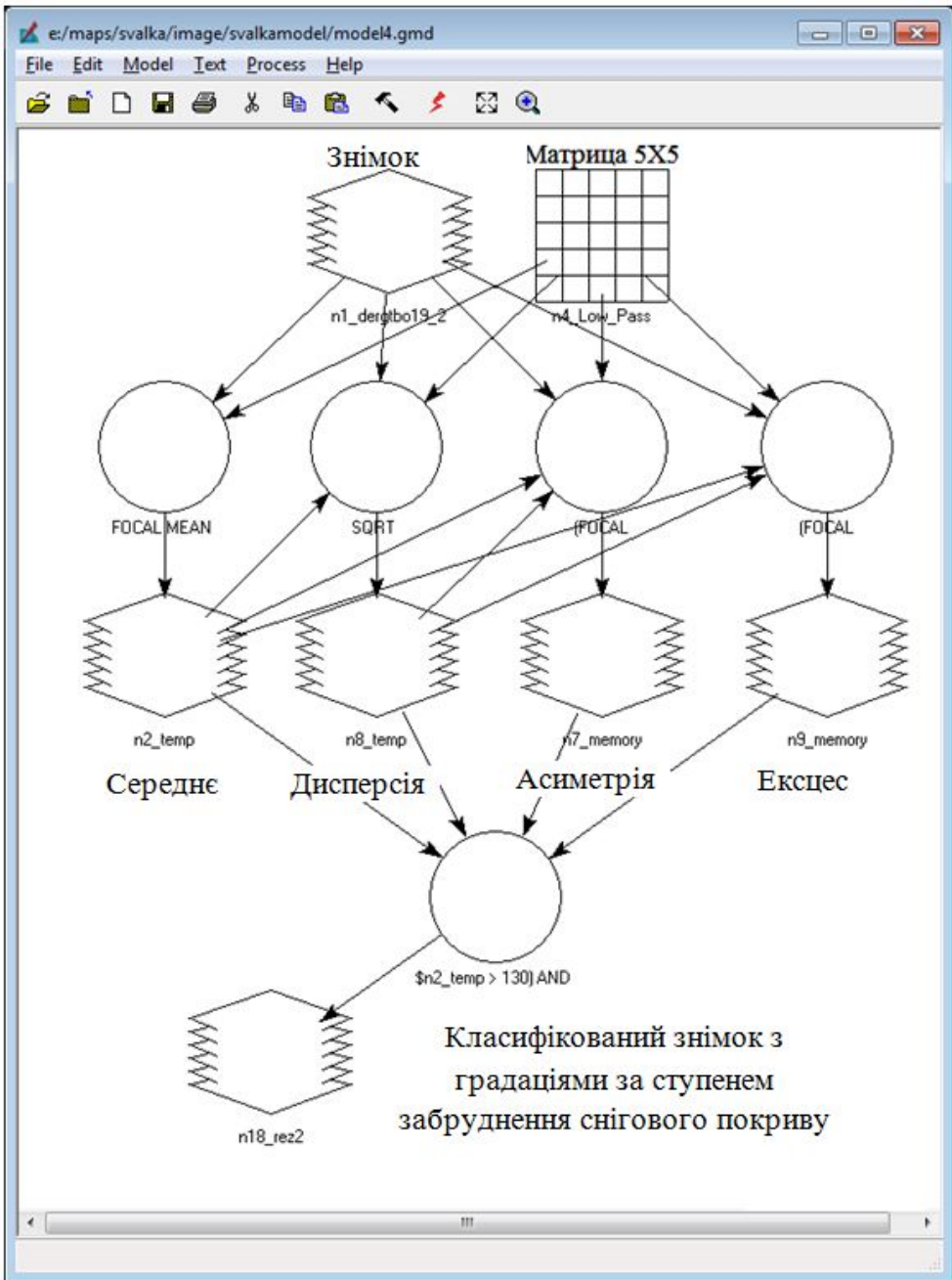


Рисунок 2 – Схема моделі автоматизованого розпізнавання та класифікації забруднення снігового покриву та димових шлейфів

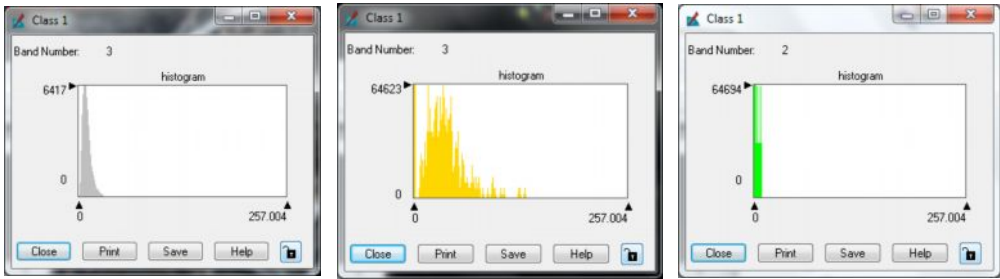


Рисунок 3 – Гістограми дисперсії, ексцеса, асиметрії

Таблиця 1 – Значення параметрів моделі виявлення забруднення на космічному знімку

Параметри	Діапазон на гістограмі
Середнє значення пікселів	130 – 196
Дисперсія	6 – 30
Ексцес	0 – 4
Асиметрія	0 – 14

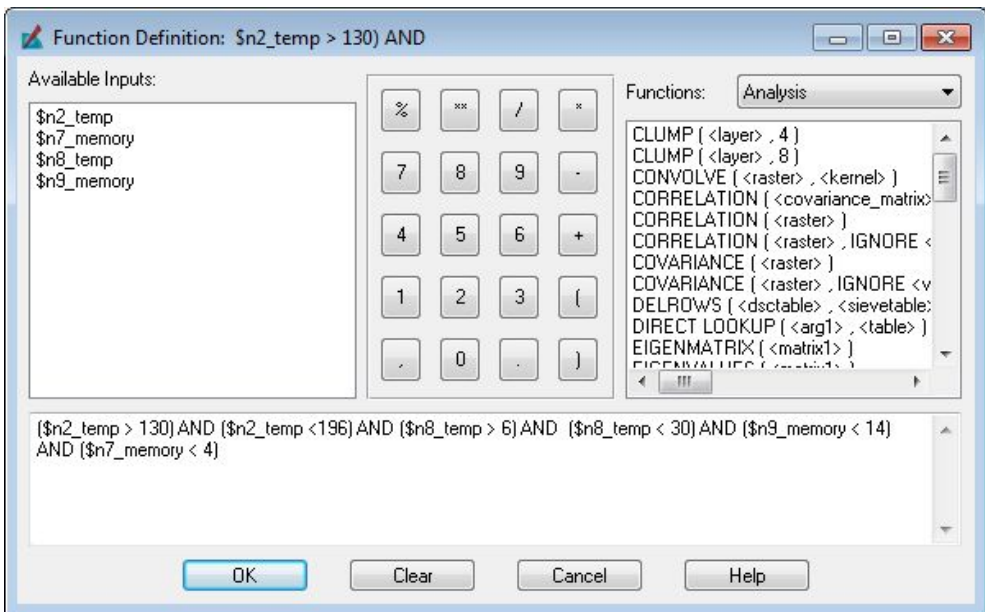


Рисунок 4 – Параметри моделі для виявлення забруднення

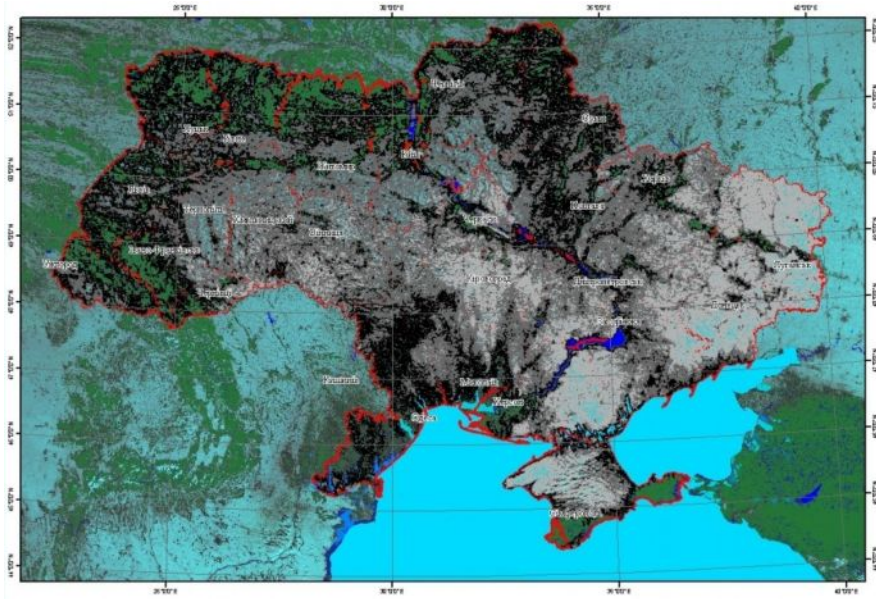


Рисунок 5 – Класи забруднення снігового покриву

Еталонні ділянки потрібні для більш достовірної ідентифікації чистого снігу та для початкового, першого класу розподілення забруднення снігового покриву. На рис. 6 зображено вихідний продукт другого блоку у вигляді векторного шару з атрибутивною інформацією стосовно ступеня забрудненості снігового покриву дешифрованого знімка.

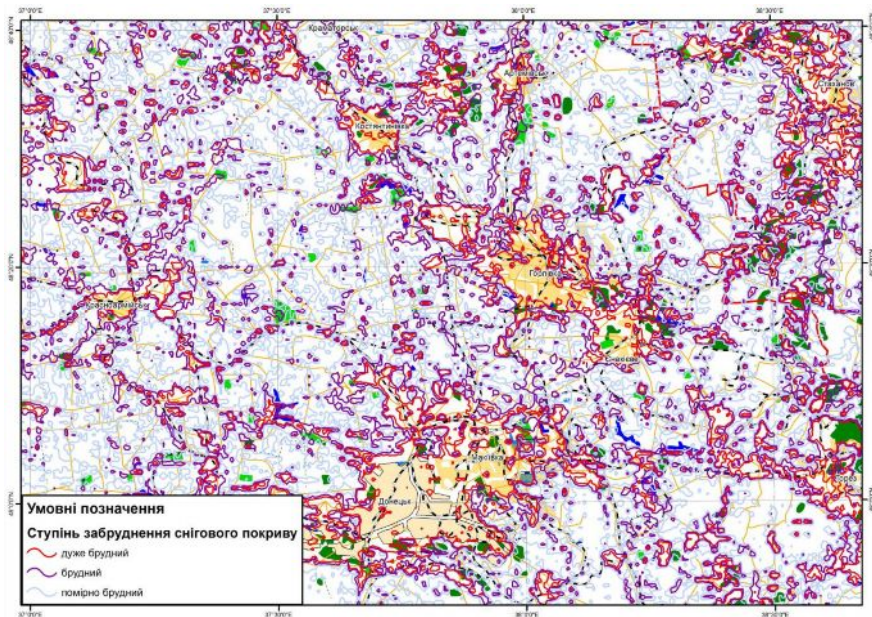


Рисунок 6 – Класифікація за ступенями забрудненості снігового покриву

3. Дешифрування димових шлейфів на космоснімках

Третій блок – шар дешифрування димових шлейфів за космічними знімками низької, середньої та високої розрізняювальної здатності. При низькому просторовому розрізненні маємо оперативний моніторинг – до 4 разів на день, при середньому – раз на день або раз на тиждень, при високому розрізненні – один сеанс території дослідження на місяць. Приклади космічних знімків високого розрізнення наведені на рис. 7.

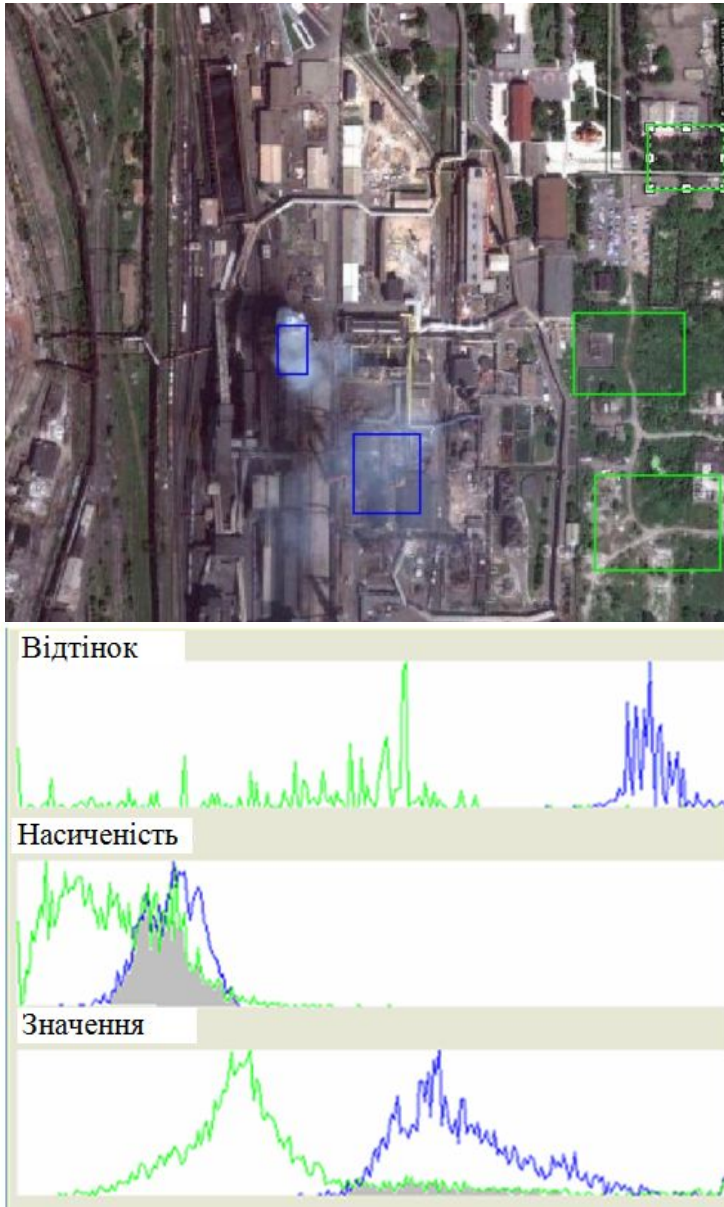


Рисунок 7 – Макіївський коксохімічний комбінат, гістограми розподілу значень h , s , v в задимленій і незадимленій області знімка

У результаті проведених досліджень встановлено зменшення можливої помилки першого і другого роду при визначенні зони задимлення за значенням відтінку (h) після переходу від $F(x, y, r, g, b)$ до $F(x, y, h, s, v)$.

При переході до колірної моделі HSV правило прийняття рішення виглядає наступним чином:

$$F(x, y, h, s, v) \in \begin{cases} A_0 & \text{якщо } |h_0 - h| < \delta h \\ A_1 & \text{якщо } |h_0 - h| > \delta h \end{cases},$$

де

A_0 – зона задимлення,

A_1 – область без димової завіси,

h_0 – значення відтінку еталонного пікселя того, що належить області задимлення,

δh – допустиме відхилення від еталонного значення.

Результати такого аналізу та дешифрування наведені на рис. 8.

Подальше залучення медіанної фільтрації сприяє пригніченню імпульсного шуму.

Для кожного пікселя в деякому його оточенні (вікні) шукається медіанне значення і привласнюється цьому пікселю. Визначення медіанного значення: якщо масив пікселів відсортувати за їх значенням, медіаною буде серединний елемент цього масиву. Розмір вікна відповідно має бути непарним, щоб цей серединний елемент існував. Медіану також можна визначити формулою:

$$med = \arg \min_{f_i \in W} \sum_{f_j \in W} |f_i - f_j|,$$

де

W – безліч пікселів, серед яких шукається медіана,

f_i – значення яскравостей цих пікселів.

Для кольорових зображень використовується векторний медіанний фільтр (VMF):

$$med = \arg \min_{F_i \in W} \sum_{F_j \in W} d(F_i, F_j),$$

де

F_i – значення пікселів у тривимірному колірному просторі,

d – довільна метрика (наприклад, евклідова).



Рисунок 8 – Макіївський коксохімічний комбінат, виділення задимленої області

Для інтеграції різночасових різнорідних даних моніторингу використовується метод формалізації алгебраїчних операцій за рахунок дескриптивного підходу до алгебри зображень при побудові геомodelей. В якості операндів алгебраїчних виразів запропоновано використовувати алгоритми і описи вхідної інформації, представлені у вигляді нетрансформованих зображень, отриманих за допомогою дистанційного зондування Землі і даних контактних методів зондування у вигляді моделей логіко-алгебраїчних. Це дозволяє використовувати алгебру кілець для опису послідовності операцій з даними моніторингу у вигляді ієрархічного онтологічно обґрунтованого формалізованого представлення зображень і процесів їх обробки, а також автоматизації розглянутих процесів обробки. Специфіка алгебри застосування дескриптивного підходу обумовлена тим, що елементами кільця є як моделі зображень, так і операції над ними. Реалізація методу формалізації операцій алгебри з "критеріальними деревами" дозволяє проводити операції з просторовими індексами, значеннями пріоритетів вершин дерев і значеннями тимчасових рядів. Результатом застосування є композиційні алгебри, що виконують операції на основі атомарних алгебр, що працюють тільки з одним типом даних.

При цьому в якості "композиційних" алгебр розглядалися алгебри $C_{AB}^{K_{nm}}$, що оперують з елементарними алгебрами $A_{ij}^{K_{nm}}$ и $B_{ij}^{K_{nm}}$.

В якості атомарних алгебр розглядалися:

1) алгебри, які визначають операції з вершинами фрагментів "критеріальних дерев", відповідних критеріям, що оцінюються якісними характеристиками з мінімальними ваговими коефіцієнтами, – $A_{ij}^{K_{nm}}$, де i, j – координати вершин на "дереві"; K_{nm} – номер "дерева" в базі даних з рівнем вкладеності усередині дерева n і номером фрагмента m з відповідними йому географічними координатами (L, B) і прямокутними координатами (x, y);

2) алгебри, що об'єднують вершини фрагментів "дерев", які відповідають критеріям, що оцінюються кількісними характеристиками з мінімальними ваговими коефіцієнтами, – $B_{ij}^{K_{nm}}$.

Побудовані логіко-алгебраїчні моделі, що характеризують взаємозв'язок "композиційної алгебри", атомарних і можливих операцій, наступні:

1. Фазифікація (введення нечіткості) результатів перетворення алгебри $B_{ij}^{K_{nm}}$ алгебрами $A_{ij}^{K_{nm}}$:

$$B_{ij}^{K_{nm}} \oplus A_{ij}^{K_{nm}} \Rightarrow \overline{B_{ij}^{K_{nm}}}$$

2. Побудова продукційних правил взаємодії алгебр:

$$A_{ij}^{K_{nm}} \oplus \overline{B_{ij}^{K_{nm}}} \Rightarrow \overline{D_{ij}^{K_{nm}}}$$

3. Визначення відповідності перетворених алгебр (агрегування):

$$\overline{\overline{D_{ij}^{K_{nm}} \oplus B_{ij}^{K_{nm}}}} \Rightarrow D_{ij}^{K_{nm}}.$$

4. Акумуляція результатів агрегування:

$$\overline{\cup D_{ij}^{K_{nm}}} \Rightarrow \overline{C_{AB}^{K_{nm}}}.$$

5. Дефазифікація (введення чіткості) значень алгебри $\overline{C_{ij}^{K_{nm}}}$:

$$C_{AB}^{K_{nm}} = \frac{\sum_{i,j=1}^l \overline{B_{ij}^{K_{nm}}} \cdot \overline{C_{AB}^{K_{nm}}}}{\sum_{i,j=1}^l \overline{C_{AB}^{K_{nm}}}}.$$

При проведенні різних операцій за представленими логіко-алгебраїчними моделями необхідно врахувати, що алгебри, які є вхідними даними для кожної з операцій, являються антецедентами, а вихідні – консеквентами.

Використані в моделях алгебри $D_{ij}^{K_{nm}}$; $\overline{D_{ij}^{K_{nm}}}$ при проведенні операцій встановлюють відповідність кількісних характеристик атомарних алгебр з продукційними правилами, що визначають умови їх можливих взаємодій. Застосування методу формалізації операцій алгебри з використанням логіко-алгебраїчних моделей дозволяє при тематичному дешифруванні врахувати додаткові ознаки, які при стандартних методах зазвичай відсіваються, прослідкувати причинно-наслідкові зв'язки виникнення аномалій і підготувати дані для побудови прогнозу подальшого поширення аномалій з оцінкою міри впливу на досліджувану екосистему.

За результатами сукупної обробки та інтеграції цих знімків створено інформаційну еколого-картографічну модель забруднення довкілля як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень (рис. 9).

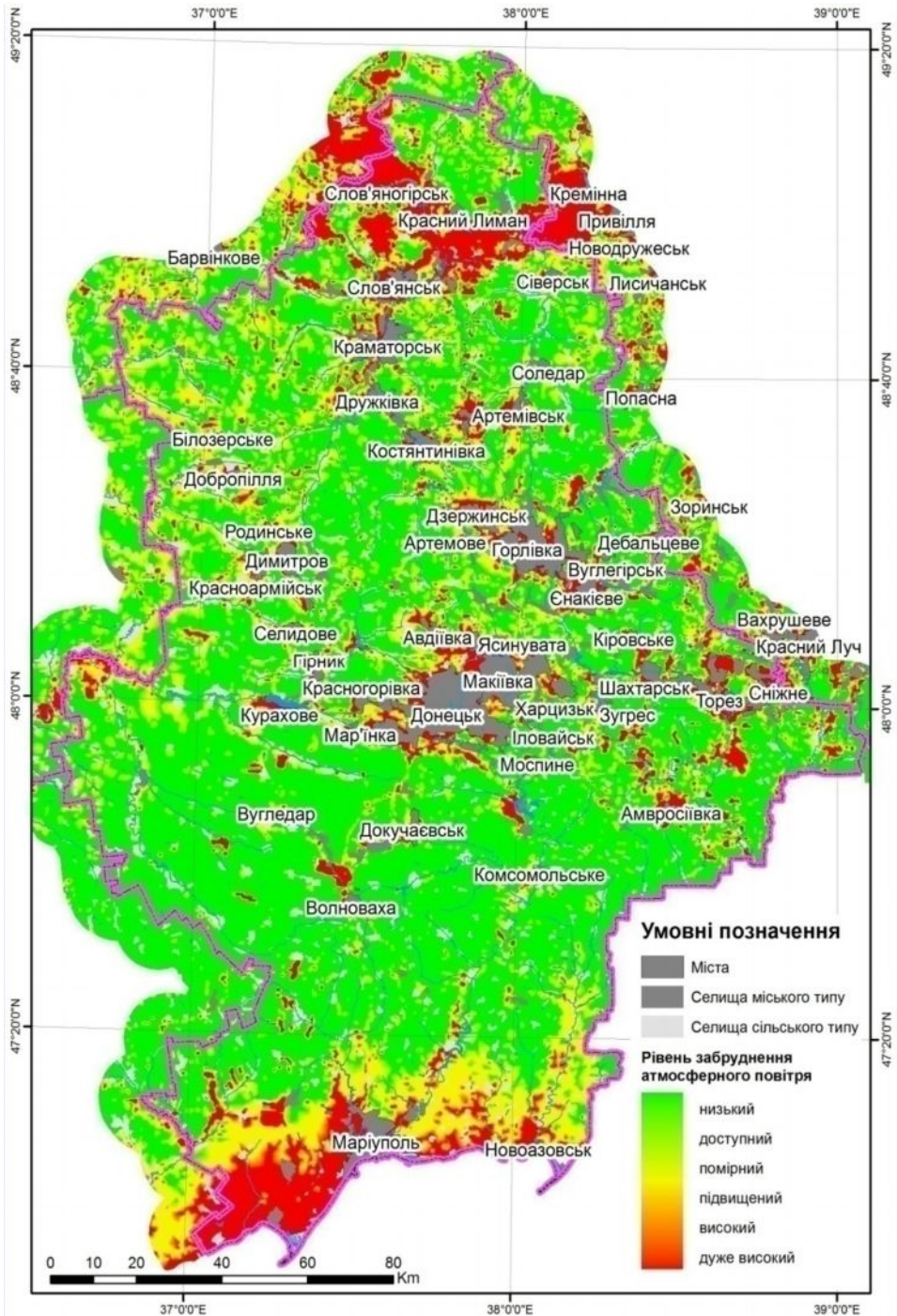


Рисунок 9 – Інформаційна еколого-картографічна модель забруднення довкілля на прикладі Донецької області

Висновки

Розроблено метод дешифрування та класифікації забруднення снігового покриву. Встановлено зменшення можливої помилки першого і другого роду

при визначенні зони задимлення за значенням відтінку (h) після переходу від $F(x, y, r, g, b)$ до $F(x, y, h, s, v)$. Створено інформаційну еколого-картографічну модель забруднення довкілля як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Березина С.И., Красовский Г.Я. Автоматизация процесса выделения зон лесных массивов на космоснимках сверхвысокого разрешения. – Современные достижения в науке и образовании. Сб. трудов 9-й Междунар. научн. конф., г. Нетания (Израиль), 22–29 сент. 2014. – С. 41–43.
2. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря: моногр. / Довгий С.О., Трофимчук О.М., Красовський Г.Я. та ін.; Під ред. С.О. Довгого – К.: Інформаційні системи, 2010. – 260 с.
3. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом / О.М. Трофимчук., Г.Я. Красовський, Л.Д. Греков – К.: Наук. думка, 2007. – 123 с.
4. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків / Г.Я. Красовський, О.М. Трофимчук, Д.Л. Крета, В.І. Клименко, І.Г. Пономаренко, О.О. Суходубов // Екологія і ресурси: Зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К.: ПНБ, 2005. – № 12. – С. 37–55.
5. Крета Д.Л. Структура банків космічних знімків ГІС управління охороною морських територіальних вод України / О.М. Трофимчук, Г.Я. Красовський, Д.Л. Крета, С.М. Андрєєв та ін. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер. "География". – 2010. – Т. 23(63), № 2. – С. 271–279.
6. Крета Д.Л. Принципы автоматической векторизации при дешифрировании космических снимков Landsat7 / Д.Л. Крета // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. ІХ Міжнародна наук.-практ. конф: збірник наукових праць. 6–11 вересня 2010 р. Київ–Харків–Крим, 2010 – С. 196–204.
7. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / Пашенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. // Під ред. С.О. Довгого. – Київ, 2013. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 04.09.16.