

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРАНСКОРДОННИХ ЕКОЛОГІЧНИХ КОНФЛІКТІВ

Машков О. А.¹ Маркіна Л. М.¹ Присяжний В. І.¹ Оводенко Т. С.¹

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

mashkov_oleg_52@ukr.net

В роботі розглядається технологія використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів. Для оцінки транскордонного впливу господарської діяльності екологічно небезпечних підприємств та можливих ризиків на стан довкілля натепер доцільно використовувати сучасні інформаційні технології (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників, застосування геоінформаційних технологій та систем штучного інтелекту). Космічні технології спостереження Землі використовуються в вивченні транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів на довкілля. Здійснена інформаційна оцінка транскордонного екологічного впливу на довкілля. Розглянута технологія застосування багатоспектральних космічних зображень для оцінки стану транскордонного екологічного конфлікту. Запропоновані рекомендації з оцінки даних дистанційного зондування Землі транскордонного впливу діяльності Хотиславського кар'єру на стан довкілля. За даними оброблення аерокосмічних зйомок з використанням геоінформаційних технологій встановлено, що експлуатація у прикордонній території техногенно та екологічно небезпечних об'єктів може призвести до бі-

осферного конфлікту (транскордонного забруднення) та екологічної катастрофи: збільшення стоку вод у Чорне море і зменшення стоку вод у Балтійське море. Це призведе до уповільнення водного обміну в Шацьких озерах та як наслідок призведе до посилення природних і антропогенних факторів на евтрофування озер Шацького національного природного парку. Проведені дослідження свідчать про необхідність здійснення заходів щодо невідкладної організації постійного моніторингу за станом підземних вод на прикордонній території з метою постійного контролю за їх станом та своєчасного здійснення необхідних дій щодо попередження можливих негативних екологічних наслідків на території України.

Ключові слова: аерокосмічні технології, дистанційне зондування землі, інформаційна оцінка, моніторинг, система штучного інтелекту, транскордонні екологічні конфлікти.

Application of aerospace information technologies in the system of supporting management environmental decisions using artificial intelligence for the assessment of transboundary environmental conflicts O. A. Mashkov, L. M. Markina, V. I. Prysiazhnyi, T. S. Ovodenko.

The paper considers the technology of using aerospace monitoring data to assess transboundary environmental conflicts. To assess the transboundary impact of economic activities of environmentally hazardous enterprises and possible risks to the state of the environment, it is advisable to use modern information technologies (the use of remote sensing materials from satellites, the application of geoinformation technologies and artificial intelligence systems). Space technologies of earth observation are used in the study of the transboundary impact of the activities of ecologically hazardous objects on the environment. An information assessment of the transboundary environmental impact on the environment has been carried out. The technology of using multispectral space images to assess the state of transboundary environmental conflict has been considered. Recommendations are proposed for the assessment of remote sensing data of the transboundary impact of the activities of the Khotislav quarry on the state of the environment. According to the data of processing of aerospace surveys using geoinformation technologies, it was established that the operation of technogenically and environmentally hazardous objects in the border area can lead to a biosphere conflict (transboundary pollution) and an ecological disaster: an increase in the flow of water into the Black Sea and a decrease in the flow of water into the Baltic Sea. This will lead to a slowdown in water exchange in the Shatsk Lakes and, as a result, will lead to an increase in natural and anthropogenic factors for eutrophication of the lakes of the Shatsk National Nature Park. The conducted studies indicate the need to take measures to urgently organize constant monitoring of the state of groundwater in the border area in order to constantly monitor their condition and timely take necessary actions to prevent possible negative environmental consequences on the territory of Ukraine.

Keywords: aerospace technologies, remote sensing of the earth, information assessment, monitoring, artificial intelligence system, transboundary environmental conflicts.

Постановка проблеми

В роботі розглядається технологія використання даних аерокосмічного моніторингу для

оцінки транскордонних екологічних конфліктів на прикладі Хотиславського піщано-вапняного кар'єру.

Безпосередня близькість Хотиславського піщано-вапняного кар'єру, який знаходиться на території Брестської області Білорусі усього за 25 кілометрів від Свितязю загрожує існуванню Шацьких озер в Україні. Нині цей кар'єр, у якому видобувають найбільш якісні в Європі кварцовий пісок і вапно, частково розроблений уже на глибину до 60 метрів, у той час як найглибше місце на Свितязі сягає 58 метрів. Шацькі озера мають карстове походження, знаходяться на водорозділі між Балтійським та Чорним морями.

Тому відтік води з цих озер у кар'єр загрожує їх обмілінням, а відтак порушенням екосистеми регіону взагалі. До того ж, хмари пилу, насиченого плюмбумом, калієм та сполуками сірки, які підіймаються з кар'єру у процесі видобування піску і вапна, щоденно осідають на дно озер і концентруються в мулі.

Подальше будівництво та видобуток крейди може порушити підземні водоносні системи та припинити живлення Шацьких озер.

Для дослідження та вирішення екологічної проблеми Хотиславського заповідника необхідне застосування сучасних інформаційних технологій (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників та застосування геоінформаційних технологій).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання застосування штучного інтелекту для вирішення завдань керування складними динамічними процесами розглядали Нільс Й. Нільссон, Стюарт Дж. Рассел, Пітер Норвіг [8, 9]. Парадигма оброблення інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки запропонована в роботах [3–7].

Проведений аналіз свідчить, що у теперішній час залишаються актуальними та не вирішеними питання застосування інформаційних аерокосмічних технологій в системі підтримки прийняття управлінських екологічних рішень з застосуванням штучного інтелекту для оцінки транскордонних екологічних конфліктів.

Результати досліджень

1. Трансфер космічних технологій спостереження Землі в вивченні транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів.

На сучасному етапі при дешифруванні космічних знімків одним з головних завдань є виділення ознак (прямих і непрямих) для розпізнавання об'єктів спостереження.

При цьому стрімкий розвиток географічних інформаційних систем (ГІС) дав можливість не лише аналізувати поточний стан об'єктів спостереження, але і проводити прогнозування екологічної ситуації (моделювання подій, що відбуваються). Це дає можливість приймати при необхідності обґрунтовані управлінські екологічні рішення [1, 2].

У теперішній час космічний моніторинг широко використовується при вивченні ландшафтно-ї структури, природних ресурсів і типів природокористування, а також для аналізу ступеню забруднення атмосфери, земельних і водних ресурсів, оцінки антропогенних і техногенних впливів на довкілля.

За допомогою використання існуючих та нових методик оцінки стану навколишнього природного середовища з використанням штучного інтелекту можливо оперативно вирішувати завдання в сфері природокористування і екологічної безпеки. Застосування штучного інтелекту в системі управління екологічною безпекою дозволяє:

- забезпечити об'єктивність і достовірність первинної, аналітичної і прогнозованої екологічної інформації;
- мати систематичні спостереження за станом навколишнього природного середовища та техногенно небезпечних об'єктів;
- підвищити оперативність здобуття і достовірність первинних даних за рахунок використання ефективних технологій процесів збирання, накопичення і оброблення екологічної інформації на всіх рівнях державного управління (місцевий, регіональний, державний);
- забезпечити сумісність технічного, інформаційного і програмного забезпечення системи управління екологічною безпекою з використанням штучного інтелекту;

- підвищити рівень і якості інформаційного обслуговування операторів та споживачів екологічної інформації на всіх рівнях функціонування системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень на основі мережевого доступу до розподілених відомчих і інтегрованих баз даних;

- забезпечити оперативність доведення екологічної інформації до органів виконавчої влади, інших зацікавлених органів, підприємств, організацій і установ;

- мати доступність екологічної інформації для населення.

Із врахуванням визначених принципів та нові підходи, що розроблені в роботах [3, 4] пропонується при здійсненні екологічного моніторингу застосовувати програмно-апаратні засоби і програмні продукти геоінформаційних систем та засоби автоматизованої обробки знімків дистанційного зондування Землі для створення карти динаміки екологічних процесів.

Процес створення карт динаміки поділяється на декілька послідовних етапів, протягом яких формуються її основні частини:

1. Етап. Підготовчий – формуються вимоги до створюваної картоекологічного моніторингу, визначається район спостереження, здійснюється збирання і оброблення вихідної інформації.

2. Етап. Формування карти динаміки екологічних процесів - здійснюється за допомогою засобів автоматизованого оброблення знімків, на основі вихідних знімків, формується спеціальне зображення, яке відображає ймовірність того, що та або інша ділянка території піддавалася змінам за допомогою часового рознесення космічних знімків.

3. Етап. Формування багатоспектральної мапи динаміки екологічних процесів на основі існуючої виділеної спектральної характеристики мапи району спостереження.

4. Етап. Складання якісної порівняльної характеристики мапи динаміки екологічних процесів.

Розглянемо можливості застосування космічних технологій для проведення екологічного моніторингу з застосуванням штучного інтелекту та вивчення транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів на прикладі впливу розробки Хотиславського кар'єру (Білорусь) на Шацький природний національний парк (Україна).

Тематична обробка та дешифрування космічних знімків виконується за допомогою програмного забезпечення TROAS – IMAGINE. Для побудови цифрових карт було використано програмне забезпечення ESRI ArcGIS. Базова цифрова картографічна основа створюється на територію біля Хотиславського кар'єру в масштабі 1:50.000 та містить шари: межі області; межі районів; об'єкти гідрографії (річки, озера, болота); населені пункти (міста, селища, села); дороги (автомобільні, залізничні).

Вихідні цифрові карти (в масштабі 1:50.000) створені в географічній системі координат UTM – WGS84 і передаються у shp-форматі.

При проведенні досліджень було використано орторектифіковані космічні знімки прикордонної території біля Хотиславського кар'єру, отримані у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України.

2. Інформаційна оцінка транскордонного екологічного впливу на довкілля.

Проведені дослідження свідчать, що через роботи, які ведуться біля Хотиславського кар'єру на території 95 гектарів (Білорусь), озеро Світязь (Україна) може зникнути. З огляду на міжнародну конвенцію про транскордонний вплив на природу, розробка Хотиславського кар'єру поки що зупинилась на видобутку піску. Відкритий шар крейди поки що не зачеплений, бо це пов'язано з подальшим заглибленням – за проєктом глибина розробки – 43 метри на перспективу 25 років. За даними досліджень, в озерах Шацького регіону, які розташовані найближче до Хотиславського кар'єру, уже спостерігається зниження рівня водообміну у 5–6 разів. Ми вже маємо чіткий сигнал про те, що йде вже негативний вплив на довкілля України. Існує небезпека зневоднення території Національного заповідника «Шацькі озера», а також імовірність сейсмологічної загрози.

Нажаль Україна та Білорусь досі не погодили єдиної методики визначення екологічної шкоди внаслідок продовження і розширення діяльності Хотиславського кар'єру.

Небезпеку для екології Волині може становити нині друга черга Хотиславського кар'єру. Розбудова Хотиславського кар'єру вплине на рух ґрунтових вод у бік України. Від кар'єру до Во-

лині з її унікальними озерами – лише 300 метрів. Неспокій викликає те, що Шацькі озера – карстового походження, і ситуація нагадує бочку із водою. Якщо буде хоч маленька дірка у її дні, якщо трапиться біда бодай із одним озером, то це, викличе ланцюгову реакцію.

Системні екологічні питання транскордонного впливу діяльності Хотиславського кар'єру полягають в тому, що при пониженні ґрунтових вод навіть на метр зникнуть деякі види флори та фауни. А район Шацьких озер та озер у Ратнівському, так само прикордонному районі Волині, – це унікальне природне місце, це територія Національного парку. Адже можна збудувати завод чи вирити кар'єр, але не можна відновити навіки втрачену природу.

Кажуть, вода і так тече в бік північного сусіда, якщо ж біля кордону з'явиться яма - глибокий кар'єр - вона може піти туди. Ми знаємо, що ці озера карстового походження – в пустотах ці озера. І якщо кар'єр потягне цю воду і тоді через ці пустоти вода може потрапити в кар'єр і осушить ці озера. Озера будуть міліти, а деякі – які не дуже глибокі - взагалі - можуть стати болотом. Як поведе себе карст, коли кар'єр вийде на проєктну потужність по видобутку, - ці процеси доцільно моделювати з використанням штучного інтелекту. Саме такий підхід забезпечить збереження біорізноманіття, екологічного стану, оцінку можливих екологічних ризиків.

3. Застосування багатоспектральних космічних зображень для оцінки стану транскордонного екологічного конфлікту.

При застосуванні багатоспектральних космічних зображень для оцінки стану транскордонного екологічного конфлікту найбільш важливу роль відіграють дешифрувальні властивості космічних знімків і точність отримання необхідної інформації.

Класифікація космічних зображень з метою встановлення розповсюдження певних класів земного покриття, в цілому, може стати основою для створення систем управління екологічною безпекою. Для проведення класифікації космічних знімків нами був використаний програмний продукт ERDAS Imagine, який визнано одним із світових лідерів серед програмних продуктів подібного призначення. ERDAS Imagine широ-

ко застосовується для оброблення супутникової інформації у багатьох наукових та виробничих центрах провідних країн Заходу (США, Німеччина, Франція, Італія та ін.).

Застосування багатоспектральних космічних зображень дозволили виявити екологічні проблеми пов'язані з впливом Хотиславського кар'єру на екологію озера Світязь. Обробка матеріалів зйомки включає геодезичну (географічну) прив'язку, ліквідацію або облік геометричних спотворень знімків, перетворення і дешифрування їх.

Задача дешифрування – отримати якомога більше з аерознімків інформації, необхідної для поставленої мети. Отже, результати дешифрування залежать від інформаційної ємності аерознімків. Обсяг інформації залежить від розміру точок, з яких складається зображення, і від числа помітних тонів (кольорів). Дешифрування знімків Хотиславського кар'єру полягає в аналізі зображення (глибина, розмір) та інших об'єктів місцевості на знімках з метою відмежування і опису їх характеристики для вирішення різних

екологічних та природоохоронних завдань. Воно включає елементи як загальнотопографічного, так і власне геологічного дешифрування. У зв'язку з цим дешифрування кар'єру умовно поділяють на контурне і таксаційне.

Контурне дешифрування полягає у виділенні серед кар'єру масиву топографічних об'єктів і контурів площ для подальшого опису їх шляхом наземного огляду або способом аеротаксації. Таксаційне дешифрування є найбільш складним і важким. Воно полягає в поділі кар'єру на таксаційні ділянки та визначенні геологічного складу.

Існує велика кількість сучасних пакетів з оброблення даних ДЗЗ, які доцільно використовувати в системах штучного інтелекту. Підбір матеріалів космічної зйомки є важливим етапом проведення класифікації для моніторингу довкілля. Для робіт по тематичному дешифруванню та створенню цифрових карт прикордонних територій були використані орторектифіковані космічні знімки з супутника «Січ-2», які були отримані у 2013 році (рис. 1).

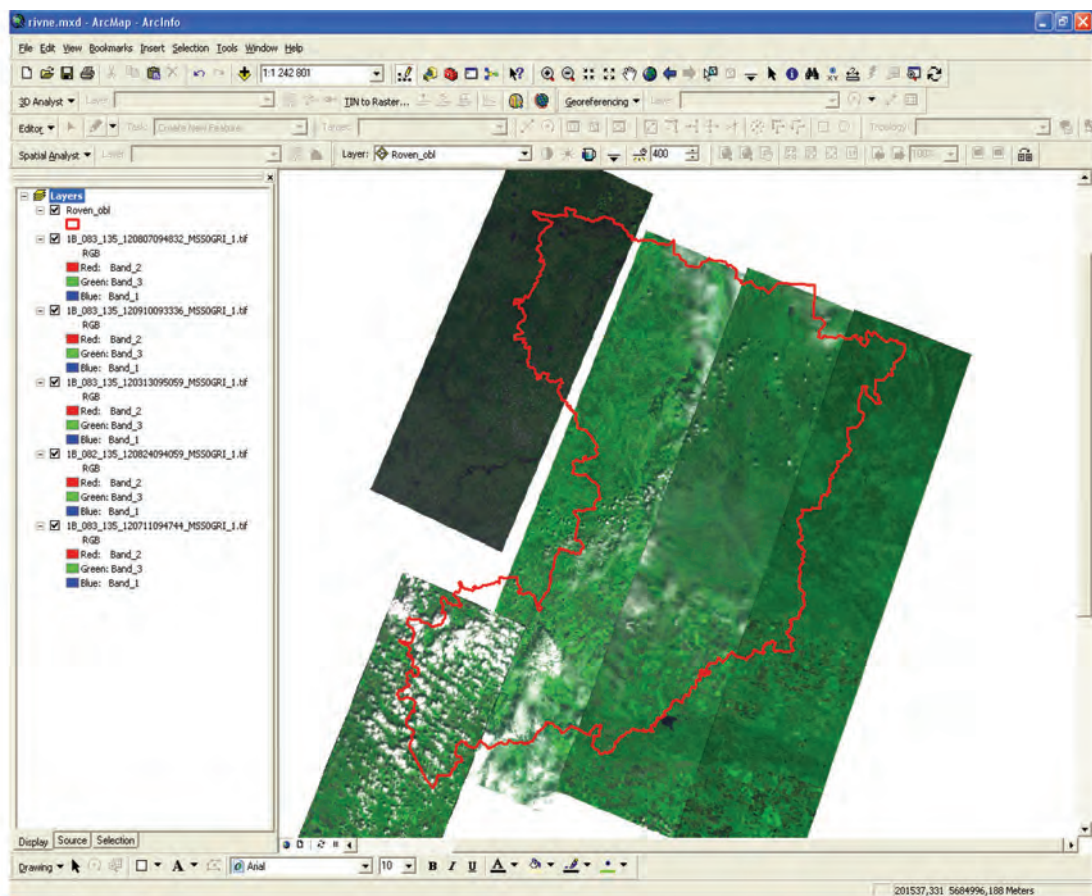


Рисунок 1. Розташування космічних знімків з супутника «Січ-2» на досліджувану територію

Технологічно процес дешифрування з використанням штучного інтелекту можна розділити на два основні етапи: машинна класифікація; камеральне візуальне дешифрування.

Машинна класифікація дозволяє автоматизувати процес дешифрування. Метою класифікації є одержання тематичної інформації із знімка. У процесі класифікації у комп'ютерних системах статистичні дані одержуються із спектральних характеристик усіх пікселів зображення. При цьому сортування базується на математичних критеріях. Існує два шляхи класифікації: з неконтрольованим навчанням; з контрольованим навчанням. Нами був обраний другий шлях розрахунку з метою його розповсюдження для можливих інших транскордонних екологічних конфліктів.

Дана класифікація проводиться за допомогою навчання по обраних еталонах (рис. 2) із створенням для кожного з них відповідної сигнатури, які в подальшому й використовуються для визначення центрів класів.

Класифікації, як і самі сигнатури можуть бути параметричні й непараметричні. Непараметричні правила: простір ознак (Feature space), правило паралелепіпеда. Класифікацію по методу контрольованого навчання можна розділити на

два основні етапи: створення набору сигнатур; автоматична класифікація і створення тематичного растрового зображення.

Процес формування сигнатур здійснювався у такій послідовності: автоматичне або ручне позначення навчального об'єкту з використанням додаткових даних; додавання спектрального образу до ряду сигнатур; перевірка наявності перетинання спектральних образів. Ця послідовність операцій чергується із злиттям схожих сигнатур, вилученням сигнатур, що перетинаються чи викликають сумнів.

Дана класифікація проводиться за допомогою навчання по обраних еталонах (рис. 2) із створенням для кожного з них відповідної сигнатури, які в подальшому й використовуються для визначення центрів класів.

Процес формування сигнатур доцільно завершити, якщо простір ознак максимально заповнений спектральними образами, які не перетинаються. Далі встановлювалися кольорові градації сформованих сигнатурами класів і давалася назва. В результаті створюється набір сигнатур, що визначають вибірку навчання. Кожна сигнатура відповідає класу та використовується у відповідності з вирішальним правилом для віднесення пікселів до того чи іншого класу (рис. 3).

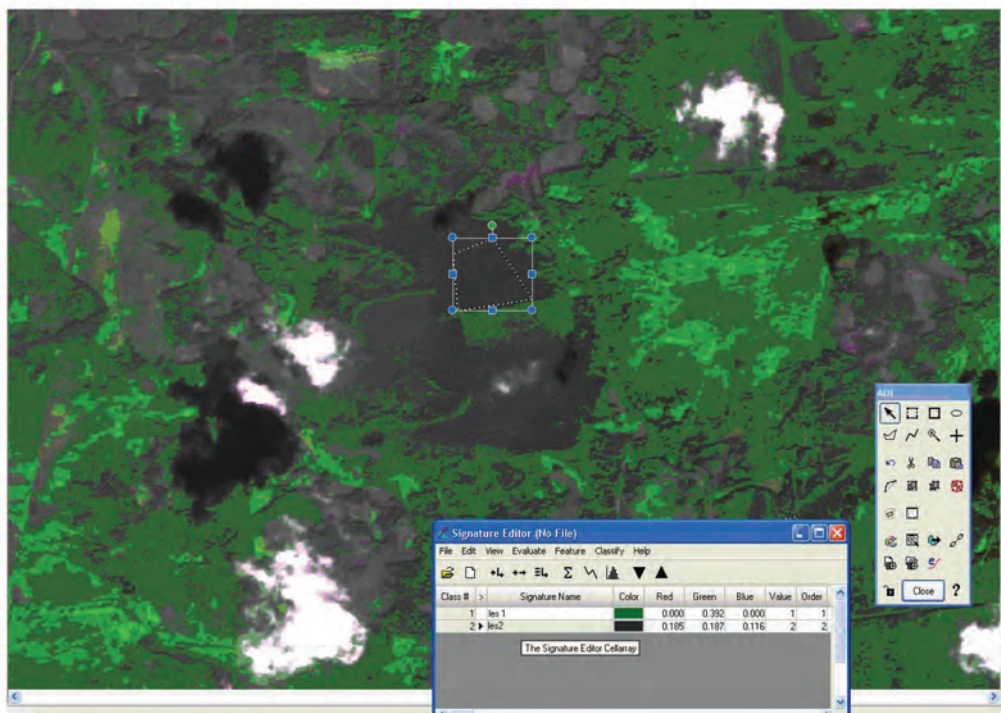


Рисунок 2. Контрольована класифікація. Процес створення еталонів

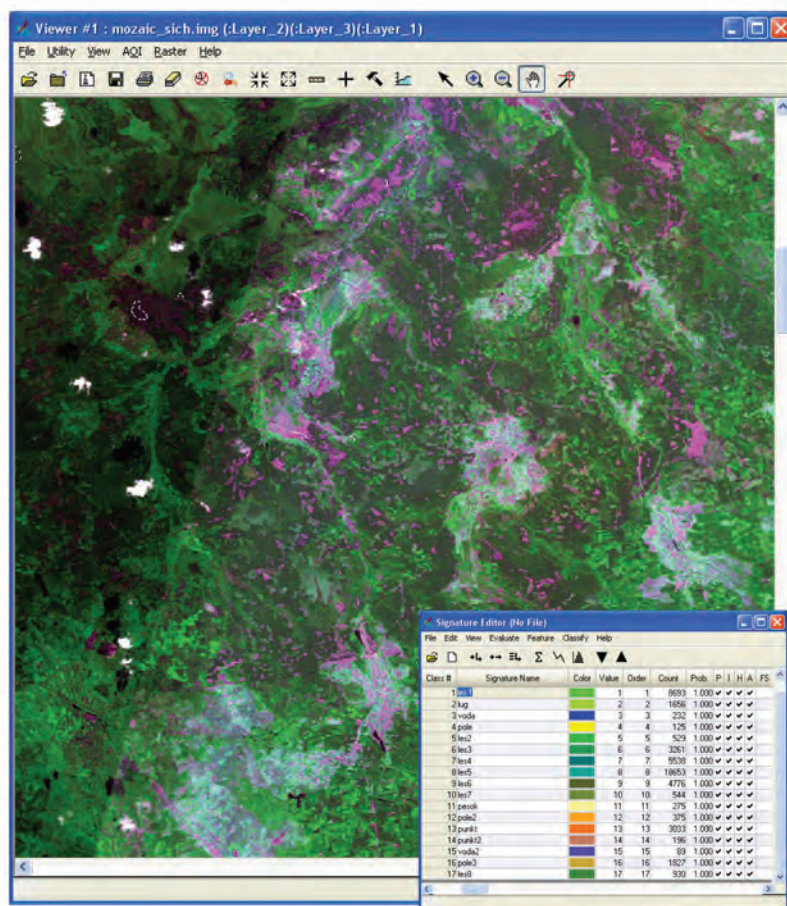


Рисунок 3. Створення зображення простору ознак

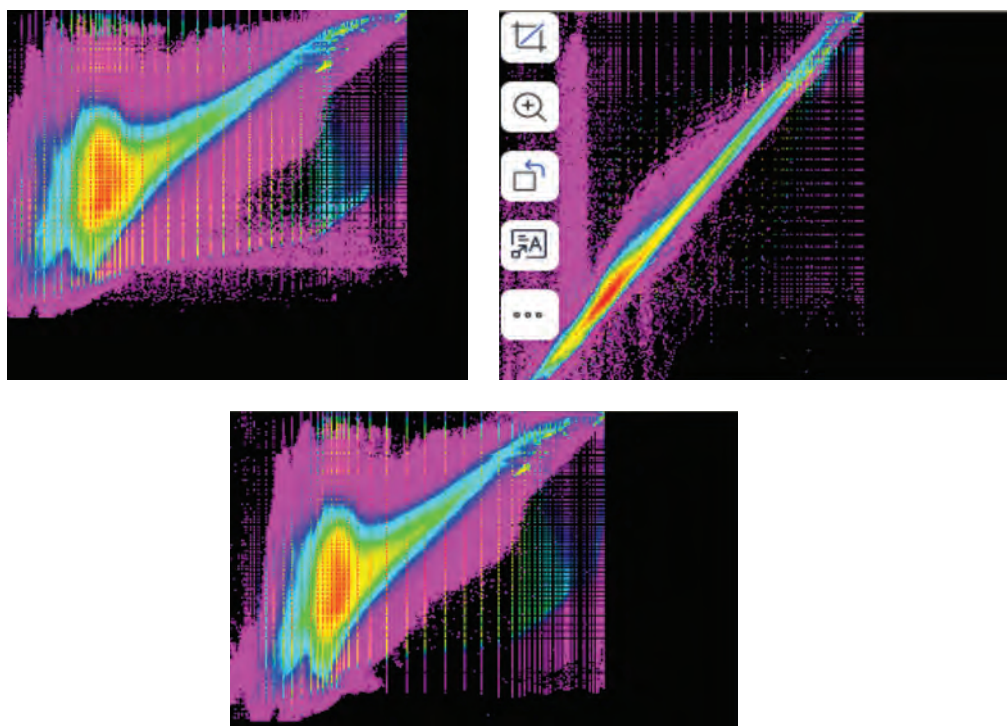


Рисунок 4. Варіанти результуючих зображень простору ознак, утворених на основі комбінацій різних каналів

Модуль класифікації ERDAS Imagine має багато підходів в залежності від можливостей знімка, типу створених сигнатур, вибору спеціаліста-аналітика. В процесі роботи нами були обрані сигнатури типу «еліпс» (рис. 4).

Для виконання автоматичного класифікування встановлювалися опції:

- головне вирішальне правило відсутнє - класифікувати пікселі, що потрапили до еліпса необхідно безпосередньо за створеними сигнатурами;
- пікселі, які не потрапили до еліпса потрібно класифікувати за правилом максимальної правдоподібності;
- перетинання еліпсів ігнорується.

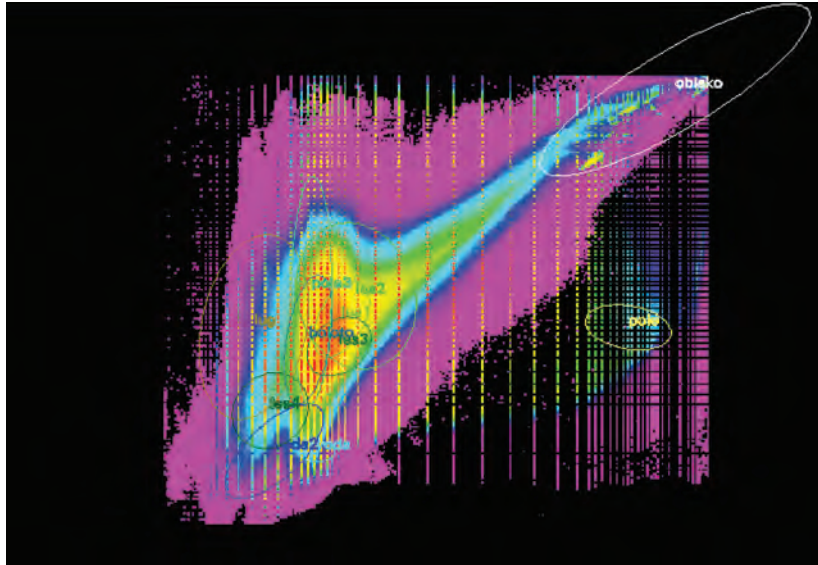


Рисунок 5. Перегляд об'єктів еталонів на зображенні простору ознак

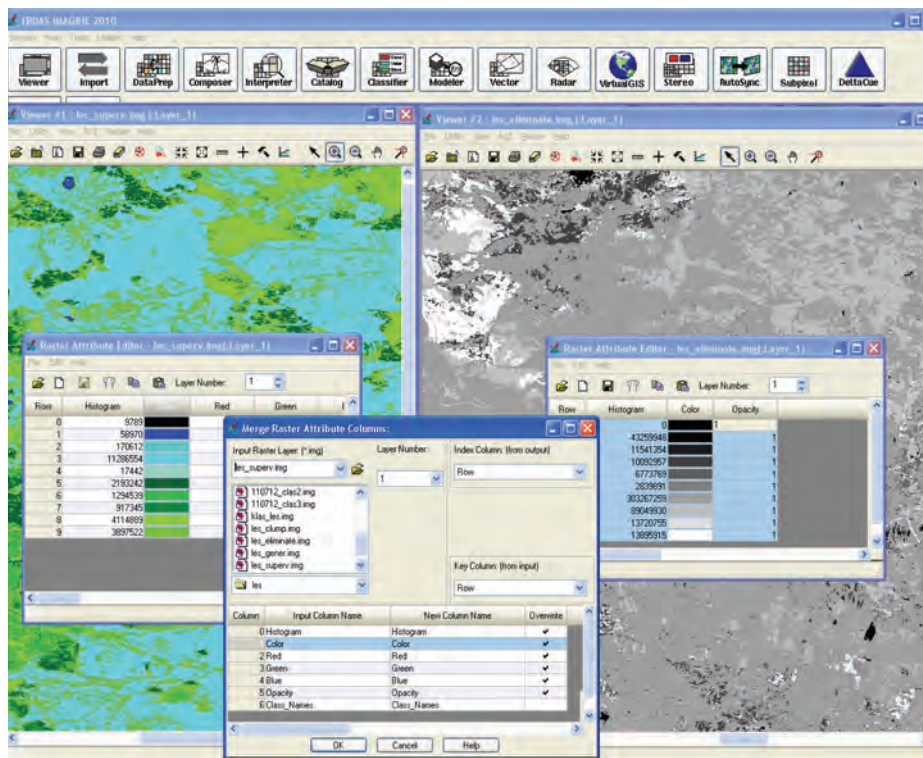


Рисунок 6. Процес встановлення зв'язку між еталонним і генералізованим зображеннями

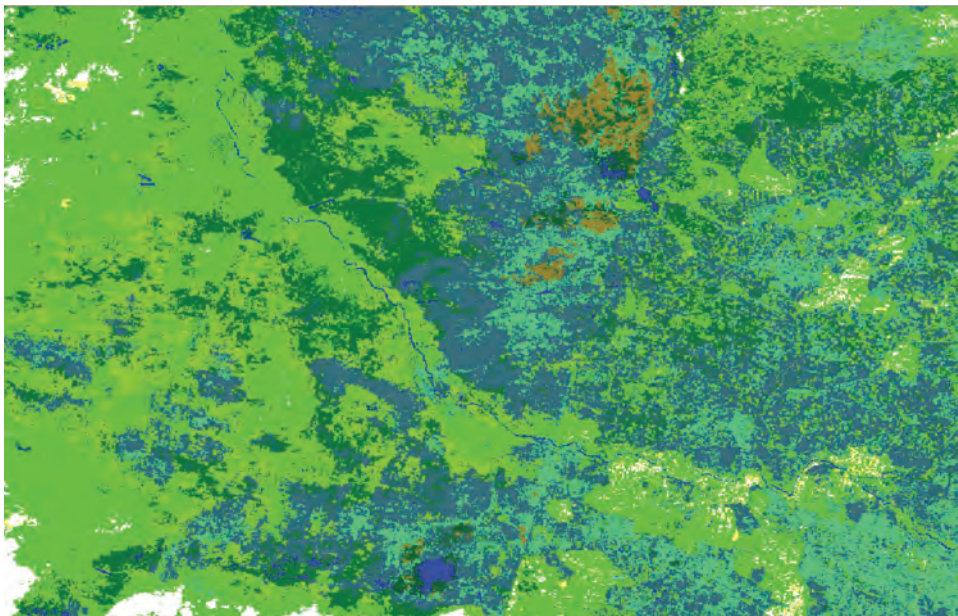


Рисунок 7. Результуюче тематичне зображення

Для того щоб отримати кольорове зображення було проведено поєднання колонок атрибутів растрів вихідного тематичного та отриманого після генералізації (рис. 5). В результаті чого колір напівтонової шкали зміниться на відповідний колір з еталонного файлу (рис. 6).

Після проведеної генералізації отримане тематичне зображення знову було проаналізоване з метою об'єднання (злиття) класів (функція

перекодування тематичного растрового шару). Тобто, якщо було виділено декілька видів поверхонь, полів, то вони об'єднувались в один клас. В результаті було отримане відредаговане зображення (рис. 8).

Отримане зображення використовується для екологічної оцінки наслідків транскордонного конфлікту (прогнозування екологічних процесів та оцінки екологічних ризиків).

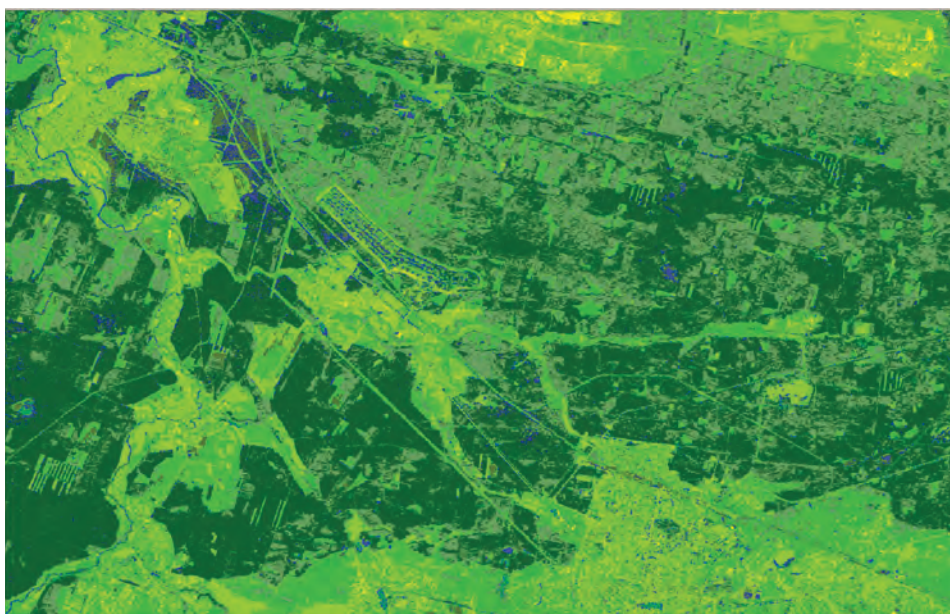


Рисунок 8. Фрагмент зображення після застосування функції перекодування

Висновки

1. Для оцінки транскордонного впливу господарської діяльності екологічно небезпечних підприємств та можливих ризиків на стан довкілля сьогодні доцільно використовувати сучасні інформаційні технології (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників та застосування геоінформаційних технологій).

2. При виконанні екологічно небезпечних робіт у прикордонних районах існує екологічна небезпека з приводу порушення підземних водоносних горизонтів. Це може привести до припинення живлення озер, існують загрози обміління, скорочення площ водного плеса, наслідком яких стане загибель унікальних природних водойм, втрата окремих видів флори і фауни.

3. Транскордонні екологічні конфлікти можуть привести до неминучих і незворотних змін для нормального функціонування сільського та лісового господарства, порушення водопостачання жителів прикордонних районів, погіршення гідромеліоративного стану осушуваних земель. Видобування і транспортування крейди провокує також техногенне забруднення навколишнього середовища повітряним шляхом.

4. За даними опрацювання аерокосмічних зйомок з використанням геоінформаційних технологій встановлено, що експлуатація у прикордонній території техногенно та екологічно небезпечних об'єктів може призвести до біосферного конфлікту (транскордонного забруднення) та екологічної катастрофи: збільшення стоку вод у Чорне море і зменшення стоку вод у Балтійське море. Це призведе до уповільнення водного обміну в Шацьких озерах та як наслідок призведе до посилення природних і антропогенних факторів на евтрофування озер Шацького національного природного парку.

5. Проведені дослідження свідчать про необхідність здійснення заходів щодо невідкладної організації постійного моніторингу за станом підземних вод на прикордонній території з метою постійного контролю за їх станом та своєчасного здійснення необхідних дій щодо попередження можливих негативних екологічних наслідків на території України.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про ратифікацію Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті від 19 березня 1999 року № 534–XIV. Угода між урядом України і Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі охорони навколишнього середовища від 16.12.1994 р.

2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялька В.І., Федоровський О.Д., Попов М. О. та ін] під ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. – К.: Наук.думка, 2006. – 357 с.

3. Бондар О. І., Машков О. А., Присяжний В. І., Оводенко Т. С., Печений В. Л. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, – Випуск 4(49), 2023, с. 144–152.

4. Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Бондар О. І., Машков О. А., Присяжний В. І., Оводенко Т. С., Печений В. Л. / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, -Випуск 3(48), 2023,с.7-16.

5. Машков О. А., Аль-Тамими Р.К.Н., Лами Д.Д.Х. Використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів / Збірка наукових праць / Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2015, – Херсон, 2018, с. 96–105.

6. Пічугін М. Ф., Машков О. А., Сащук І. М., Кирилюк В. А. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах, Житомир, вид. ЖВІРЕ, 2006, 176 с.

7. Системи штучного інтелекту: навчальний посібник. / Н. Б. Шаховська, Р. М. Камінський, О. Б. Вовк. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2018. – 392 с. – ISBN 966-941-197-6.

8. Nils J. Nilsson. The Quest for Artificial Intelligence. – 1. – Cambridge University Press, 2009. – 578 с. – ISBN 978-0521116398.

9. Stuart J. Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3. – Pearson, 2015. – ISBN 978-9332543515.