

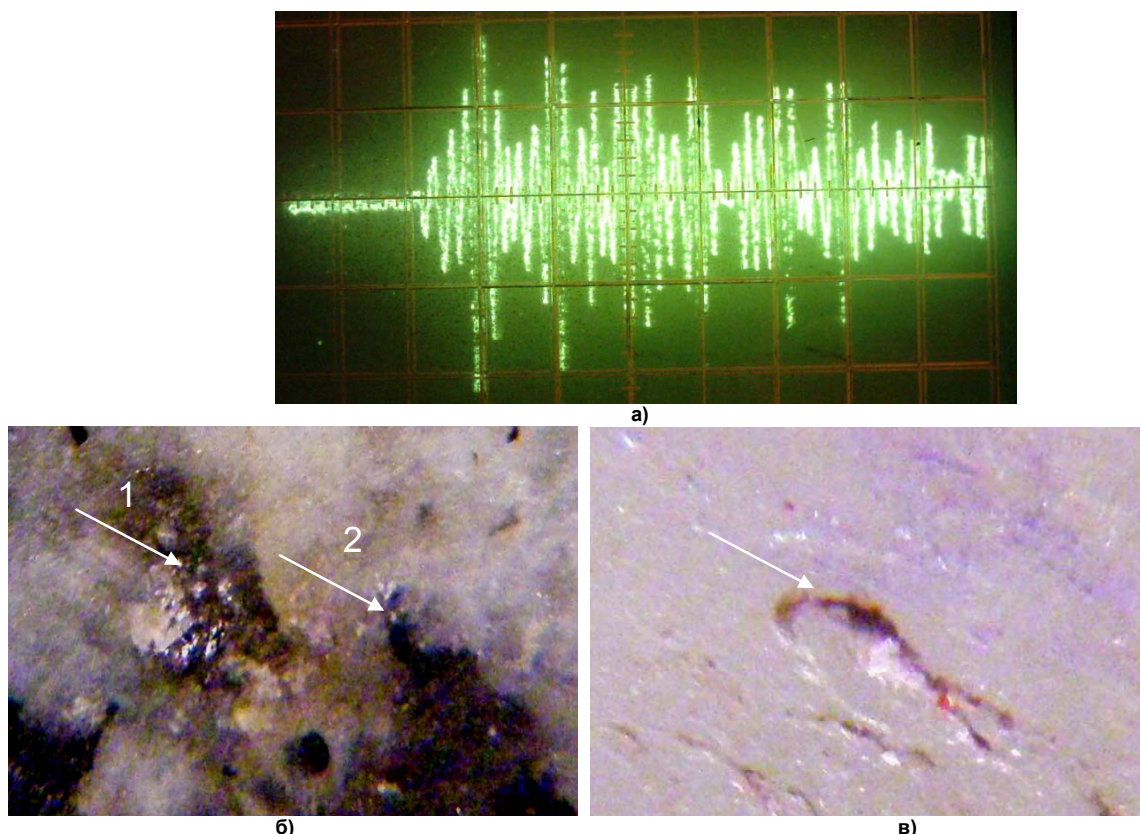


Рис. 3. а) Опромінення в кварцит рубіновим лазером; 1 В/под, 10 мкс/под; б) Поверхня плагіогранітоїдею після лазерного опромінення (x250); в) Поверхня кварциту після лазерного опромінення (x 250)

За умов експерименту фазові переходи відбуваються достатньо швидко - за час, що може бути порівняний з часом лазерного впливу $\tau \approx 20$ нс (рис. 1б), вірогідно, що формування "акустоємисійної частини" акустичного відгуку пов'язано саме із тріщиноутворенням. Підхід до АЕ як до емісії двох типів - дискретної (високоенергетичної) та неперервної (низькоенергетичної) нівелюється для випадків, коли часові довжини окремих актів АЕ перевищують час проходження хвилі по зразку t , а лінійні довжини цугів хвиль λ перевищують лінійні розміри породи L . Тому на рис. 1а спостерігаються "накладені" імпульси високоенергетичної дискретної АЕ з великим часом загасання, сформовані в суттєво різних моменти часу від різних джерел АЕ.

Своєрідністю спектру АЕ кварциту є, на відміну від зцементованих осадових порід із гранулярною пористі-

стю, з одного боку, та магматичних порід з низькою первинною пористістю, з іншого, наявність багатьох вторинних максимумів. Їх присутність свідчить як про розмаїття речовинного складу і структури породи, того чи іншого набору аллотигенних і аутигенних мінералів, складу цементу, текстурних особливостей, так і передає, певною мірою, характер перебігу діа- і катагенетичних процесів.

З огляду на велику інформаційну насиченість щодо генезису кварцитів особливості прояву АЕ є важливими для розвитку теорії деформації геологічного середовища, утворення і розповсюдження тріщин, тому необхідні для фізичного обґрунтування використання методу АЕ для здійснення неруйнівного контролю структури кварциту та зцементованих осадових порід із гранулярною пористістю.

Надійшла до редколегії 12.05.08

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 528.88::528.854.2

А. Макаренко, асп.

МОНІТОРИНГ РОЗВИТКУ ПІДТОПЛЕНЬ У ХЕРСОНСЬКІЙ ОБЛАСТІ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У даній статті розглядається обробка даних дистанційного зондування Землі при моніторингу підтоплень у Херсонській області. Зокрема шляхи синтезування зображень із окремо оброблених каналів та подальша класифікація синтезованого зображення.

This article is devoted to processing of data of remote sensitive at research of waterlogging in the Kherson area. Namely to ways of synthesizing of the image from separately processed bands and the further classification of resulting images.

Такі процеси, як підтоплення земель ґрунтовими водами, повнені завдають дуже великої шкоди господарській діяльності людини та навколишньому середовищу. Розвиток цих процесів на забудованих територіях призводить до обводнення та просядок з подальшим руй-

нуванням жилих, громадських та промислових будинків і споруд, періодичного або постійного замочування та корозії підземних комунікацій, руйнування доріг та інших об'єктів інженерної інфраструктури [1].

Причинами, що спричиняють підтоплення у Херсонській області є:

Антропогенні фактори:

- зрощення сільськогосподарських угідь, експлуатація крупних гідромеліоративних споруд без дотримання умов експлуатації, їх застарілість;
- зростання споживання води населенням у сільських населених пунктах, де, внаслідок недостатньо облаштованої системи дренажу утворюються локальні підвищення рівня ґрунтових вод;
- відсутність зливової каналізації, втрати водопровідно-каналізаційної мережі, неналежний догляд за дренажними системами;
- розширення площ під забудови, прокладка залізничних та автодоріг з порушеннями будівельних норм і правил, через які порушується водний баланс території.

Природні фактори:

- підвищення останніми роками кількості атмосферних опадів. В останні десятиліття середньорічна кількість опадів в Україні зросла в середньому на 20–80 міліметрів. Якщо цю кількість опадів перерахувати на всю площу, то маємо в звичайні сухі роки додаткове надходження на нашу територію від 10 до 20 млрд метрів кубічних, а у вологі роки 75–100 млрд кубометрів води.
- територія області є недостатньо дренажною (на території відсутні глибокі річкові долини) і має не має нахилу у бік моря, що ускладнює стік;
- також на території присутня велика кількість подів (безстічних западин, глибиною 10–20 м при діаметрі у декілька кілометрів). На їх дні у результаті стоку вод утворюються заболочені солонці.

Моніторинг такого явища як підтоплення може проводитися різними засобами, але одним із найефективніших є дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Воно полягає у дослідженні знімків земної поверхні, зроблених з літальних космічних апаратів у різних спектральних діапазонах. Для моніторингу підтоплення найбільш ефективним способом проведення дистанційного зондування є пасивне зондування, що полягає у реєстрації сонячної енергії, відбитої від денної поверхні Землі [2]. Оскільки Сонце випромінює енергію у широкому спектрі довжин хвиль, то спектральний діапазон зйомки, відповідно, може змінюватись від ультрафіолетового до інфрачервоного випромінювання (ІЧ).

Фізичною основою ДЗЗ є різна відбиваюча здатність різних видів земної поверхні у кожному спектральному діапазоні зареєстрованих хвиль. Зокрема залежність відбиваючої здатності води (поверхні водоймищ) від довжини хвиль виглядає наступним чином – чим більша довжина хвилі, тим менше відбиття і, відповідно, тим більшим є поглинання. Тобто інфрачервоні хвилі майже повністю поглинаються водою. І тому на знімках, зроблених у цьому діапазоні, підтоплені ґрунти виглядатимуть тим темніше, чим більш вони зволожені. Найтемніше виглядатимуть відкриті водні поверхні.

Загалом, космічний знімок являє собою двовимірну матрицю [5], кожний елемент (піксел) якої характеризується вектором ознак $X = \{X_1, X_2, \dots, X_L\}$, компонентами

якого виступають значення інтенсивності відбитої енергії, зареєстрованої на різних спектральних каналах. Кількість компонент цього вектора L (його довжина) може бути різною і визначається кількістю дискретних каналів, у яких проводиться зйомка.

При візуалізації космічних знімків на екрані монітору [5], можна переглядати кожний канал окремо у кольоровій моделі Gray Scale (відтінки сірого). Тоді зареєстрована інтенсивність відбитого світла пропорційно переводиться в яскравість пікселя монітора (з повним діапазоном $0 \div 255$, за умови що зображення є восьми бітним). Малій відбиваючій здатності земної поверхні пропорційно відповідає мала яскравість зображення і навпаки.

Щоб синтезувати кольорове зображення, необхідно поставити у відповідність каналам кольорової схеми монітору (зазвичай це RGB-схема) спектральні канали космічних знімків (відзнятих оптичною системою супутника), яких, до речі, може бути більше трьох. При цьому зовсім не обов'язково результуюче зображення земної поверхні на моніторі виглядатиме у тих природних кольорах, до яких ми звикли.

Наприклад, для супутника МЕТЕОР-3М (див. табл. 1), якщо червоному каналу монітора призначено червоний канал, відзнятий супутником (довжина хвилі 0,61–0,69 мкм), зеленому – зелений (0,5–0,59 мкм), а блакитному – ближній ІЧ (0,81–0,9 мкм), то відкриті водні поверхні та підтоплені території матимуть велику кількість кольорових варіацій при візуалізації знімків. Взагалі існує можливість вираження підтоплення трьома основними кольорами (червоний, зелений, синій), та чотирма вторинними, утвореними від змішування первинних (чорний, пурпурний, жовтий та бірюзовий). Але оскільки, як описано вище, блакитному каналу монітора був призначений ІЧ канал, то яскравість підтоплених територій при відображенні на моніторі примуватиме до нуля (до чорного кольору), а їх колір визначатиметься кольором двох інших основних каналів – червоним і зеленим, та їхніми вторинними кольорами – жовтим та чорним. У цьому полягає неоднозначність кольорового представлення космознімків.

Тому основною задачею при попередньому аналізі та обробці космічних знімків, є підбір такої комбінації спектральних каналів, щоб підтоплені ділянки місцевості виділялися якомога однозначніше, і при цьому можна було до синтезованих каналів застосовувати різні математичні операції [4] з метою покращення ознак дешифрування.

Для дослідження було обрано знімки, зроблені двома супутниками, російським "Метеор-3М" та американським "LANDSAT-7", тому що обидва, окрім видимого, також проводять зйомку у ІЧ діапазоні. Перелік спектральних каналів (діапазонів), що реєструються цими супутниками, та інші характеристики наведені у таблиці 1.

Використовуючи властивість води змінювати відбиваючу здатність у залежності від довжини хвилі, та аналізуючи різні комбінації каналів, їхнє взаємне співвідношення, було знайдено таку комбінацію каналів, при якій підтоплені ділянки виділятимуться більш однозначно (див таб.2).

Таблиця 1

Космічні знімки, використані для досліджень динаміки підтоплення у Херсонській області

Космічний апарат	Скануючий прилад	Спектральні діапазони, мкм	Просторове розрізнення, м	Дата зйомки	Погодні умови
"МЕТЕОР-3М"	"МСУ-Э"	0,50 ÷ 0,59 0,61 ÷ 0,69 0,81 ÷ 0,90	32	21.06.2002	Після зливових дощів
"LANDSAT – 7"	"ETM +"	0,45 ÷ 0,52, 0,53 ÷ 0,61 0,63 ÷ 0,69, 0,75 ÷ 0,90 1,55 ÷ 1,75, 10,4 ÷ 12,5 2,08 ÷ 2,35	30	31.06.2006	Сухо, спекотно

Таблиця 2

Співставлення спектральних каналів космічного зображення з кольоровою RGB-схемою при синтезуванні кольорового зображення

Космічний апарат, яким зроблено знімок	Канали монітору	Спектральні діапазони, мкм
"METEOP-3M"	Red	0,61÷ 0,69
	Green	0,81÷ 0,90
	Blue	(0,61÷ 0,69)*(0,81÷ 0,90)
"LANDSAT – 7"	Red	(0,75 ÷ 0,90)/(0,53 ÷ 0,61)
	Green	(0,75 ÷ 0,90)/(2,08 ÷ 2,35)
	Blue	(0,75 ÷ 0,90)

Математичні операції з каналами, наведені у таблиці 2, дозволили у двох каналах із трьох спрямувати колір підтоплення до чорного (до нуля). Тому водні поверхні та підтоплені ґрунти на синтезованих кольорових знімках можуть мати або тільки червоний колір (на зні-

мку, зробленому супутником METEOP-3M, рис.1а), або тільки зелений (на знімку, зробленому супутником LANDSAT-7, рис.1б). І колір є тим темнішим, чим більше насичений водою ґрунт. При такому синтезі значно покращується дешифрування підтоплених територій.

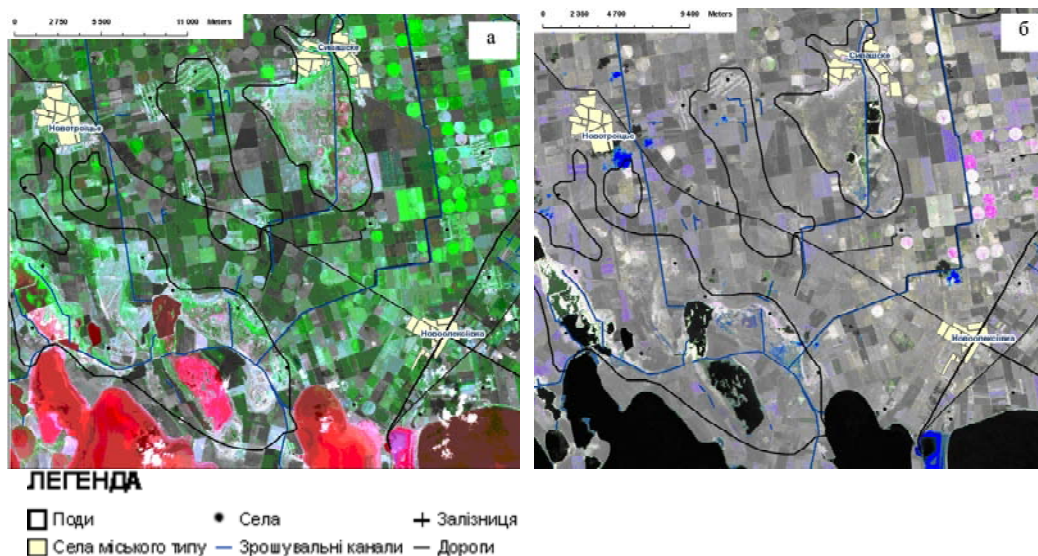


Рис.1. Космічні знімки, синтезовані згідно схеми, наведеної в табл.2:

а) за даними, отриманими супутником METEOP-3M; б) за даними, отриманими супутником LANDSAT

Але при подальшому дослідженні знімків досить важко (майже не можливо) вручну виділити усі ділянки підтоплення та оцінити ступінь підтоплення. Доцільніше використати автоматичну класифікацію. Її можна проводити у різних програмних середовищах, зокрема мною було обрано систему ERDAS IMAGING (компанії Leica Geosystem). У ній існує вбудований модуль для проведення класифікації Clssifeir, в якому реалізовані різні методи класифікації, а також існує можливість самостійного програмування класифікатору.

На вхід класифікатору подається прив'язаний у певній системі координат знімок та файл сигнатур (еталонів) – виділених на зображенні таких місць, які ми точно можемо ідентифікувати.

Еталони підтоплених територій обиралися в межах так званих "подів" (безстічних западин, глибиною 10 – 20 м при діаметрі у декілька кілометрів, див.рис.1) після проведення дослідження геологічних карт четвертинних відкладів. Вибрані первинні еталони потім були уточнені виїздом на місцевість.

За усіма еталонами був створений файл сигнатур, який окрім підтоплених територій включав ще 6 класів – відкриті водні поверхні, хмари, міські забудови, два види сівозмін. Ці класи були вибрані на основі аналізу яскравості та співставлення знімку із топографічною основою.

Подальша класифікація у модулі Clssifeir системи Erdas Imaging проводилась за трьома правилами: мінімальної спектральної відстані, Махаланобіса, максимальної подібності.

Правило мінімальної спектральної відстані [1,2]

полягає у розрахунку відстані $R(\mathbf{M}_k, \mathbf{X})$ у просторі ознак від поточного вектора $\mathbf{X}$ (вектора, що описує яскравість пікселя, який класифікується) до середнього $\mathbf{M}$ кожного k -го еталонного класу і подальшому віднесенні вектора $\mathbf{X}$ до того класу, для якого обрахована відстань виявилась найменшою. Оскільки усі компоненти векторів мають однаковий фізичний зміст, масштаб і одиниці вимірів, то цілком обґрунтовано для розрахунків можна вибрати евклідову відстань:

$$R(\mathbf{M}_k, \mathbf{X}) = \sqrt{\sum_{i=1}^L (\mathbf{M}_{k,i} - \mathbf{X}_i)^2} \quad (1)$$

де L – кількість спектральних каналів (вимірність вектора $\mathbf{X}$); $k = \overline{1, S}$, S – кількість еталонних класів.

Значення середнього $\mathbf{M}$ кожного k -го еталонного класу визначається за формулою:

$$\mathbf{M}_k = \frac{1}{l_k} \sum_{j=1}^{l_k} \mathbf{X}_j,$$

де l_k – кількість еталонних векторів $\mathbf{X}$ у k -му класі.

У результаті кожен піксел знімку буде віднесений до певного класу за правилом мінімальної відстані. Цей метод не враховує дисперсію об'єктів в межах окремих класів, тому на знімках він погано класифікує такі ділянки, як, наприклад, міські території. І добре – достатньо однорідні ділянки, такі як, наприклад, водні поверхні.

Правило мінімальної нормалізованої відстані (відстані Махаланобіса) [1,2]. При застосуванні цього правила класифікатор обчислює так звану відстань Махаланобіса (R_M), яка є більш універсальною, оскільки вона передбачає нормування на коваріаційну матрицю об'єктів в межах кожного класу:

$$R_M = (\mathbf{X} - \mathbf{M}_k)^T \cdot \mathbf{C}_k^{-1} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{M}_k) \quad (2)$$

де T – оператор, що позначає операцію транспонування; $\mathbf{C}_k$ – коваріаційна матриця елементів k -го еталонного класу розміру $L \times L$.

У результаті піксели приписуються тому класу, махаланобісова відстань до якого є мінімальною. Оскільки тут враховується ступінь розсіювання елементів класу, то цей метод дозволяє добре класифікувати досить "мозаїчні" території (міські території), але натомість він є більш громіздким і повільнішим у розрахунковому відношенні, ніж попередній.

Правило максимальної правдоподібності [1,2].

При роботі класифікатора за даним правилом (вирішальним правилом Байєса) використовується інформація про апіорні ймовірності для кожного класу ($P(A_k)$) та про умовні щільності розподілу векторів $\mathbf{X}$ ($p(\mathbf{X}|A_k)$) – функція щільності розподілу $\mathbf{X}$ при умові, що $\mathbf{X}$ відноситься до класу A_k). Означена інформація отримується на сукупностях векторів $\mathbf{X}$, що належать еталонним полігонам. Тоді апостеріорна ймовірність $P(A_k|\mathbf{X})$, яка визначає ймовірність віднесення $\mathbf{X}$ до класу A_k , може бути визначена наступним чином:

$$P(A_k|\mathbf{X}) = \frac{P(A_k)p(\mathbf{X}|A_k)}{\sum_{j=1}^S p(\mathbf{X}|A_j)P(A_j)} \quad (3)$$

де $k = \overline{1, S}$, S – кількість еталонних класів.

Вирішальне правило Байєса полягає у наступному: прийняти рішення про належність поточного вектора $\mathbf{X}$ до класу A_k , якщо $P(A_k|\mathbf{X})$ є максимальним серед усіх обрахованих за формулою 3 значень апостеріорної ймовірності. У байєсовській теорії розв'язків, що є достатньо розробленою та широко висвітленою в літературі, показано, що це правило мінімізує середню ймовірність помилки при прийнятті рішення.

Процес побудови $p(\mathbf{X}|A_k)$ називається навчанням класифікатора. При цьому використовують параметричний і непараметричний підходи до визначення статистичних характеристик. У першому випадку відомий вид розподілу щільності ймовірності, що, як правило, передбачається нормальним. У другому випадку будують гістограми компонент векторів $\mathbf{X}$, які належать еталонному класу, вважаючи при цьому, що гістограма і є дискретно заданою щільністю розподілу $p(\mathbf{X}|A_k)$.

Нехай апіорі передбачається, що розподіл спектральних яскравостей пікселів об'єкта на багатозональному знімку підпорядковується нормальному закону. Тоді щільність розподілу випадкового вектора

$\mathbf{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_L\}$ у цьому випадку має вигляд

$$p(\mathbf{X}|A_k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^L}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\det \mathbf{C}_k}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} (\mathbf{X} - \mathbf{M}_k)^T \mathbf{C}_k^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{M}_k) \right] \quad (4)$$

де L – число зон спектру (розмірність вектору ознак, яким охарактеризований кожний піксел знімку); $\mathbf{M}_k$ та $\mathbf{C}_k$ – відповідно вектор середніх значень та коваріаційна матриця кожного еталонного класу ($k = \overline{1, S}$, S – кількість еталонних класів).

Значення параметрів нормального розподілу $\mathbf{M}_k$ та $\mathbf{C}_k$ для кожного k -го класу визначаються по еталонних вибірках $\mathbf{X}$ за відомими формулами:

$$\mathbf{M}_k = \frac{1}{l_k} \sum_{j=1}^{l_k} \mathbf{X}_j, \quad \mathbf{C}_k = \frac{1}{l_k} \sum_{j=1}^{l_k} (\mathbf{X}_j - \mathbf{M}_k)(\mathbf{X}_j - \mathbf{M}_k)^T, \quad (5)$$

де l_k – кількість еталонних векторів $\mathbf{X}$ у k -му класі.

Метод максимальної правдоподібності відноситься до найбільш точних методів за умови, що вихідні вибірки мають нормальний розподіл.

Усі методи класифікації показали задовільний результат, оскільки виділили підтоплення у контрольних ділянках, які не вносилися до еталонів, але точно було відомо, що вони є підтопленими. У результаті порівняння проведеної класифікації трьома різними способами для двох знімків отримано карту підтоплень Новотроїцького та Геніченського районів Херсонської області (рис.2).

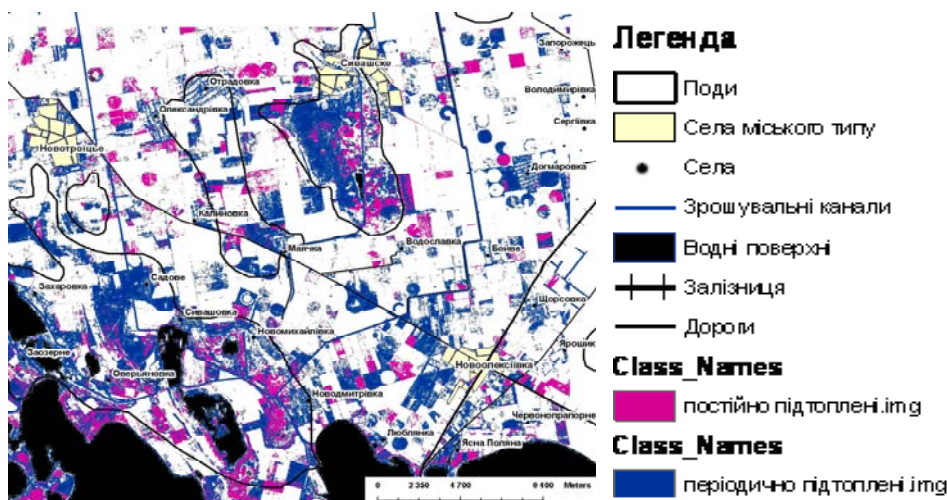


Рис. 2. Карта підтоплень Новотроїцького та Геніченського районів Херсонської області

На рис.2. показані постійно підтоплені території – території, що є підтопленими навіть під час посушливої погоди. Ці результати отримані після класифікації знімку, зробленим супутником "LANDSAT-7", під час посушливого літа (табл. 1). Такі території спостерігаються у найнижчих місцях подових западин, у прибережній зоні та біля розподільчих та зрошувальних каналів.

Періодично підтоплені території, які затоплюються під час зливових дощів, повеней тощо були виділені після класифікації знімку, зробленим супутником "METEOR-3M", після зливових дощів (табл. 1). Вони займають увесь простір подів та більш віддалену прибережну зону.

Загалом описаний вище метод попередньої обробки космічних зображень та їх синтезу дозволяє набагато точніше виділяти підтоплення серед інших об'єктів на знімках.

1. Жуков Н.Н. Вероятностные методы анализа геолого-геофизической информации. – К.: Вища школа, 1975. 2. Лурье И.К., Косиков А.Г. Дистанционное зондирование и географические информационные системы: теория и практика цифровой обработки изображений. – М.: – Научный мир, 2003 – 102с. 3. Парламентські слухання. Актуальні проблеми зрошення, підтоплення та повеней в Україні, 15 лютого 2006 року. <http://www.rada.gov.ua>. 4. Прэтт Э. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992, Кн5. – 213с. 5. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods Digital Image Processing – Prentice-Hall, Inc., 2002. – p. 793. <http://dsp-book.narod.ru/books.html>

Надійшла до редколегії 21.04.08

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 624. 131: 551. 3

С. Корнієнко, канд. геол.-мінералог. наук., О. Корбутяк, асп.

ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА НА КОРОЗІЮ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ УКРАЇНИ

Проаналізовано стан лінійної частини газотранспортної системи України. Розглянуто процес корозії магістральних газопроводів у ґрунтових умовах. Встановлено, що для газової промисловості проблема захисту від корозії газопроводів є вельми актуальною, оскільки лінійна частина газопровідної системи України є найбільш застарілою у Європі та те, що однією з головних причин аварійних ситуацій є ґрунтова корозія. Рекомендовано використання комплексного методу досліджень, аналітичний розв'язання та експериментальне вивчення в польових і лабораторних умовах, створення багатозмінної моделі ґрунтового середовища, моделювання із застосування комп'ютерного апарату та програмного забезпечення.

The state of linear part of the gas-transport system of Ukraine is analyzed. The process of corrosion of main gas pipelines is considered in the ground conditions. It is set that for gas industry a problem of corrosion protection of gas pipelines is very actual, as linear part of the gas pipeline system of Ukraine is most obsolete in Europe and that one of main reasons of emergency situations there is the ground corrosion. The use of complex method of researches, analytical decisions and experimental study, is recommended in the field and laboratory conditions, creation of multivariable model of the ground environment, modeling with computer hardware and software support.

Постановка проблеми. Газотранспортна система України є однією з найпотужніших у світі і тісно пов'язана з системами сусідніх європейських країн – Росії, Білорусі, Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії, Молдови, і через ці країни інтегрована в загальноєвропейську газову мережу. Загальна протяжність газотранспортної системи складає 37,1 тис. км, зокрема, магістральних газопроводів – 22200 км, газопроводів-відгалужень – 14400 км та 72 компресорні станції, 13 підземних сховищ з активним об'ємом газу понад 32 млрд. м³ і потужну мережу газорозподільних і газовимірювальних станцій. Майже весь обсяг поставок російського газу на експорт, а це близько 85%, здійснюється через територію України. [1,6]

Усвідомлюючи важливість забезпечення Європейського континенту енергоносіями, необхідно приділяти значну увагу підтримці газотранспортної системи на належному технічному рівні. Проблема надійності займає провідне місце в основних міжнародних документах – Європейській Енергетичній Хартії і Європейській Директиві ЄС щодо газу. [2].

Для газової промисловості України проблема захисту від корозії магістральних газопроводів є вельми актуальною, оскільки їх руйнування пов'язано з порушенням забезпечення споживачів газом, втратою транспортних продуктів, завданням великих матеріальних збитків та екологічної шкоди довкіллю, а враховуючи специфіку галузі, може стати і причиною пожеж, вибухів, виходу з ладу та знешкодження коштовного обладнання, травмування та загибелі людей [1].

Згідно даних ВАТ ІВП "ВНІПІТРАНСГАЗ" лінійна частина газопровідної системи України є найбільш застарілою в Європі. Так 40% газопроводів експлуатуються більше 20 років; 29% - понад 30 років; 30% – 35-50 років та 0,1% понад 50 років. За результатами виконаного ВАТ ІВП "ВНІПІТРАНСГАЗ" аналізу аварійності газопроводів за період з 1965 по 1990 р. було встановлено, що головними причинами аварій були дефекти зварювання – 27,5%, корозія – 26,8%, заводський брак – 19,7%, механічні пошкодження – 16,4% та інше – 9,6% [7].

Забезпечення безпечної експлуатації трубопроводів багато в чому є проблемою підвищення їхньої надійності та довговічності і є складним комплексним завданням, що містить у собі рішення технічних, технологічних, економічних й організаційних аспектів. Незважаючи на те, що цій проблемі присвячені численні дослідження вітчизняних і закордонних авторів, у цей час вона ще повністю не вирішена й багато питань залишаються відкритими. [8].

Вивчення умов експлуатації трубопроводів й аналіз існуючих способів підвищення їхньої довговічності в умовах впливу ґрунтової корозії показує, що, незважаючи на застосування різних заходів, кількість аварій трубопроводів через корозію становить по галузі порядку 2% від їхньої загальної кількості [2]. Слід зазначити, що більшість трубопроводів, які піддаються інтенсивному використанню, експлуатуються із зовнішньою ізоляцією та системами EX3. Часті розриви трубопроводів, вимагають пошуку нових технічних рішень, спрямованих на забезпечення їхньої безпечної експлуатації,