

---

---

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

---

УДК 626:504.064

### **ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ШАЦЬКИХ ОЗЕР**

*В.І. Клименко, канд. техн. наук,  
С.А Загородня,  
Д.Л. Крета,  
В.О. Охарєв,  
І.В. Радчук,  
Н.А. Шевякіна*

*(Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України)*

*О.С. Бутенко, канд. техн. наук, доц.  
(Національний аерокосмічний університет  
Ім. Н.Є. Жуковського),*

*В.Ю Вишняков  
(Центр прийому і обробки спеціальної інформації  
та контролю навігаційного поля)*

*В статті представлені дослідження по розробці еталону якості поверхневих вод, шляхом залучення дистанційного зондування Землі з космосу, геоінформаційних систем і технологій, а також натурних вимірів. Дослідження проводились на прикладі озер Шацького національного природного парку, а саме оз. Світязь, оз. Пісочне, оз. Перемут та оз. Люцимир.*

*В статье представлены исследования по разработке эталона качества поверхностных вод, используя дистанционное зондирование*

© В.І. Клименко, С.А Загородня, Д.Л. Крета, В.О. Охарєв,  
І.В. Радчук, Н.А. Шевякіна, О.С. Бутенко, В.Ю Вишняков, 2010

*Земли из космоса, геоинформационных систем и технологий, а также натуральных измерений. Исследования проводились на примере озер Шацкого национального природного парка: оз. Святиязь, оз. Песочное, оз. Перемут и оз. Люцимир.*

*In article researches on working out of the standard of quality of a surface water are presented. Remote sounding of the Earth from space, geoinformation systems and technologies, and also natural measurements is used. Researches were spent on an example of lakes of Shatsky national natural park: the lake of Svitjaz, the lake of Pischne, the lake of Peremut and the lake of Ljutsimir.*

### **Вступ**

Водні об'єкти природно-заповідного фонду відіграють виключно важливе значення не лише в формуванні ландшафту, функціонуванні природних біоценозів, збереженні генофондів наземних, напівводних та водних представників флори і фауни. Не менш важливу роль мають ці об'єкти й у вирішенні низки загальнобіологічних, екологічних та культурно-виховних завдань, адже саме водні об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ) (озера, ставки, річки, струмки, джерела підземних вод, їх основні запаси) в певній мірі є тими еталонними частками гідросфери, що змінюються в часі й просторі при істотно зменшених масштабах прямого впливу господарської діяльності людини. Хімічний склад природних вод є інтегральною характеристикою, що віддзеркалює вплив природних та антропогенних факторів на довкілля.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України постійно бере активну участь у виконанні низки національних і регіональних програм інформатизації органів державної влади. При цьому накопичений значний практичний досвід розробки і використання сучасних інформаційних технологій збору, обробки і тематичної інтерпретації природоресурсних даних і знань, створення спеціалізованих баз даних і інформаційно-аналітичних систем підтримки природоохоронних рішень, екологічних та природо-ресурсних карт і атласів. Завершуються роботи по проведенню космічного моніторингу морських територіальних вод України Чорного та Азовського морів на основі методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем, створено макет електронної екологічної карти з питань охорони

водних ресурсів Азовського і Чорного морів. Для подальшої роботи в завданнях розробки еталону оптичних характеристик поверхневих вод суходолу було обрано оз. Світязь та інші озера Шацького національного природного парку (НПП). Еталонна тест-ділянка для визначення якості поверхневих вод за допомогою контактних методів та методів ДЗЗ була обрана на території НПП «Шацький».

### **Об'єкт досліджень**

Шацький національний природний парк (Шацький НПП) розташований у північно-західній частині Волинської області, на території Шацького адміністративного району. Протяжність території Шацького НПП з півночі на південь — 32 км, із заходу на схід — 36 км. Національний природний парк (НПП) було створено постановою Ради Міністрів УРСР від 28 грудня 1983 року № 533. На сьогодні площа парку становить 48977,0 га, з них 20856,0 га земель знаходиться у його постійному користуванні. Територія парку знаходиться на заході одного з найбільших болотно-озерно-лісових комплексів у Європі — регіону Полісся, яке поширене на півночі України, півдні Білорусі та, частково у Польщі та Російській Федерації [1].

Визначальною особливістю цієї території є зосередження на ній великої кількості озер, різних за своїми характеристиками та походженням, що утворюють одну з найбільших озernih систем Європи. В пониззях між озерами знаходяться евтрофні та мезотрофні осокові болота. Тут представлені також рідкісні для Полісся оліготрофні болота.

Шацькі озера — група озер у пн.-зх. частині Любомльського району Волинської області, у межиріччі Зх. Бугу і Прип'яті. Територія, на якій розташовані озера, називається Шацьким по-озер'ям. Усього в сучасних межах парку є 23 озера загальною площею 6338,9 га. Вони є характерними представниками поліських озер, розміщених в пониженнях, які утворились внаслідок вимивання розчинних гірських порід, осідання земної поверхні при виносі дрібних фракцій із пористих нерозчинних порід та з опусканням і підняттям окремих тектонічних блоків. За розмірами більшість озер невеликі, лише 5 з них мають площу водного дзеркала, яка перевищує 200 га, а озеро Світязь є найбільшим і найглибшим озером природного походження в Україні. Найбільші

з них: Світязь (27,5 км<sup>2</sup>), Пулемешьке озеро (16,3 км<sup>2</sup>), Луки (6,8 км<sup>2</sup>), Люцимир (4,3 км<sup>2</sup>), Остров'янське озеро (2,5 км<sup>2</sup>), Кримне (1,44 км<sup>2</sup>), Пісочне озеро (1,86 км<sup>2</sup>). Шацьке поозер'я являє собою рівнину в межах Поліської низовини. Центральна його частина характеризується поширенням озерних карстових улоговин, які утворилися у крейдових відкладах. Озера, що лежать серед болотних ландшафтів, утворилися внаслідок нагромадження алювію і підвищення рівня ґрунтових вод, за умов незначного нахилу території й відсутності постійного стоку. Береги Шацьких озер низькі, пологі, складені піщаними, піщано-гальковим і біогенним матеріалами; є заболочені ділянки. Рівень води в озерах нижчий, ніж у р. Прип'ять. Озера відділяються від неї невисоким водорозділом і належать уже до водозбору Західного Бугу, а не Дніпра, тобто до басейну Балтійського моря. Вода в озерах прісна і належить до типу гідрокарбонатно-кальцієвих, насичена розчиненим киснем, має нейтральну та слабколужну реакцію, чиста і придатна для пиття [2].

Тому саме ці озера обрано для визначення фонового рівня зональної яскравості забруднення поверхневих вод, з метою створення еталону якості поверхневих вод України.

### **Методи дешифрування космічних знімків при дослідженні озер Шацького НПП**

Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод суттєво підвищується за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу. В їхній основі лежать методи вимірів власного і відбитого електромагнітного випромінювання. При цьому враховується ступінь прозорості земної атмосфери для хвиль відповідного діапазону, а також характер їхньої взаємодії із земними утвореннями. Найбільшою інформативністю в екологічних додатках характеризується оптичний діапазон. Це обумовлено тим, що характер відбитої сонячної радіації дуже чутливий до таких параметрів земних утворень, як концентрація хлорофілу у фітоценозах і завислих органічних і мінеральних речовин у поверхневих водах, вологості і т. ін. [3].

Основною характеристикою взаємодії випромінювання в оптичному діапазоні із зондованим середовищем є коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ),  $\rho$  – величина, яка дорівнює відношенню яскравості даної поверхні в заданому напрямку  $V(\lambda)$  до яскравості

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

ідеально розсіювальної поверхні  $B_0(\lambda)$  з коефіцієнтом відбиття рівним одиниці і освітленої так само, як і дана поверхня:

$$\rho(\lambda) = B(\lambda)/B_0(\lambda). \quad (1)$$

При відбитті світла водним середовищем світловий потік, який випромінюється водною поверхнею, складається з потоку, відбитого від межі поділу повітря – вода, і світлового потоку з-під водної поверхні. Перша складова – це коефіцієнт дзеркального відбиття (КДЗВ), друга – коефіцієнт дифузного відбиття (КДВ). Величина КДЗВ визначається властивостями і станом водної поверхні. До чинників, що впливають на величину КДЗВ, належать: хвилювання водної поверхні, наявність на ній нафтових чи інших поверхневих плівок, піни та інших поверхневих утворень, заростання водойм макролітами, тощо. Для гладенької водної поверхні КДЗВ можна розрахувати за формулою Френеля, що в разі нормального падіння променей на водну поверхню має вигляд:

$$R_r(\lambda) = (n(\lambda) - 1)^2 + k^2(\lambda) / (n(\lambda) + 1)^2 + k^2(\lambda), \quad (2)$$

де  $n$  – відносний показник заломлення світла на межі поділу повітря-вода;  $k$  – показник поглинання світла водою.

Друга складова світлового потоку (величина КДВ) залежить від первинних гідрооптичних характеристик (ПГХ), таких як показник ослаблення  $\alpha$ , показник розсіювання  $\beta$ , показник поглинання  $k$ , індикатриса розсіювання, тощо. ПГХ, у свою чергу, залежать від концентрації різних розчинених і завислих у воді речовин. Для вирішення завдань моніторингу екологічної безпеки водних об'єктів важливо знати просторовий розподіл в них концентрацій завислих речовин. На космічних знімках в оптичному діапазоні ділянки акваторій з вищою концентрацією завислих речовин, як правило, світліші.

Спектральні залежності ПГХ чистої води зумовлюють монотонне спадання КДВ чистої води від максимальних значень частини спектра, що відповідає голубим хвилям, до мінімальних значень у ближній і середній ІЧ-зонах. У природних водах розчинені оптично активні речовини представлені здебільшого розчиненою забарвленою органікою. У дуже каламутних водах наявність пігментів фітопланктону відбиває лише одна смуга поглинання поблизу

$\lambda = 675$  нм. У прозорих водах з низьким вмістом органічних завислих речовин мінімуми в спектрі КДВ, зумовлені поглинанням пігментами фітопланктону, не виявляються зовсім. Однак і в цьому разі спектр КДВ може містити інформацію про концентрацію фітопланктону.

Для тематичного аналізу отриманих космічних знімків використали класифікацію виділених на зображенні об'єктів. Для цього попередньо визначили класифікатор — правило, яке дозволяє ідентифікувати приналежність довільного елемента зображення, що характеризується вектором параметрів  $\vec{x}$   $x \rightarrow \vec{x}$ , до одного із класів:  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Очевидно, що при класифікації елементів зображення можна помилково віднести елемент до деякого класу  $w_i$ , коли він у дійсності належить до іншого —  $w_j$ . Оптимальною є така вирішальна функція  $d^0(\vec{x})$ , що забезпечує мінімальну ймовірність помилки класифікації.

Позначимо через  $p(\vec{x}/w_i)$  щільність розподілу для векторів  $\vec{x}$  у межах підмножини елементів, які відносяться до класу  $w_i$ . Тоді ймовірність  $p_j$  приналежності елемента зображення, що характеризується вектором  $\vec{x}$ , до класу  $w_j$  визначається відношенням

$$p_j = \frac{p(\vec{x}/w_j)p(w_j)}{\sum_{i=1}^n p(\vec{x}/w_i)p(w_i)}, \quad (3)$$

де  $p(w_i)$  — апіорна ймовірність спостереження об'єктів кожного класу. Ймовірність того, що вектор  $\vec{x}$  не відноситься до класу  $w_j$ , задає ймовірність помилки:

$$1 - p_j = 1 - \frac{p(\vec{x}/w_j)p(w_j)}{\sum_{i=1}^n p(\vec{x}/w_i)p(w_i)}. \quad (4)$$

З формули (4) слідує, що мінімальна ймовірність помилки відповідає максимальному значенню  $p(\vec{x}/w_j)$ . У такий спосіб функція  $d^0(\vec{x})$  відносить елемент, представлений вектором  $\vec{x}$ , до класу  $w_j$  у тому і тільки у тому випадку, коли  $p(\vec{x}/w_j)p(w_j) > p(\vec{x}/w_i)p(w_i)$  для всіх  $i \neq j$ . Такий класифікатор називається баєсовським. Звичайно при класифікації елементів на

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

космічних знімках апріорні ймовірності спостереження різних класів вважають рівними  $p(w_i) = p(w_j)$ , і тоді умова приналежності елемента з вектором  $\vec{x}$  до класу  $w_j$  приймає вигляд:

$$p(\vec{x}/w_j) > p(\vec{x}/w_i), \forall i \neq j. \quad (5)$$

Як видно з (5), застосування баєсовського класифікатора для ідентифікації елементів зображення вимагає знання щільностей розподілу параметрів зображення у межах кожного з ідентифікованих класів. На практиці, однак, точний вид функцій  $p(\vec{x}/w_i)$  невідомий. Відомі їх вибіркові оцінки, отримані на навчальних вибірках. Це ускладнює застосування баєсовського класифікатора у задачах ідентифікації об'єктів на космічних знімках, тому що для апроксимації вибірових оцінок щільностей розподілу теоретичними залежностями потрібне апріорне знання виду таких залежностей. Найчастіше баєсовський класифікатор застосовують у тих випадках, коли щільність розподілу вектора  $\vec{x}$  можна апроксимувати нормальним законом:

$$p(\vec{x}/w_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|C_i|}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\vec{x} - \vec{m}_i)C_i^{-1}(\vec{x} - \vec{m}_i)\right], \quad (6)$$

де  $n$  – розмірність простору розпізнаючих ознак;  $\vec{m}_i$  – середній по класу  $w_i$  вектор  $\vec{x}$ , а  $C_i$  – ковариаційна матриця, діагональні елементи якої являють собою дисперсії компонентів вектора  $\vec{x}$ , а недиагональні елементи – ковариації різних компонентів:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^M (x_{ik} - m_i)(x_{jk} - m_j)}{M - 1}, \quad (7)$$

де  $M$  – число елементів у класі. Оскільки щільність нормального розподілу описується експонентною функцією, зручно у якості класифікаторів використовувати не самі ймовірності приналежності векторів-образів до класів, а їхні логарифми. Тоді баєсовська вирішальна функція для класу  $w_i$ , якщо опустити доданок, що не залежить від значення  $i$ , приймає вигляд

$$d_i(\vec{x}) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |C_i| - \frac{1}{2} [(\vec{x} - \vec{m}_i)^T C_i^{-1} (\vec{x} - \vec{m}_i)], \quad i=1, \dots, M \quad (8)$$

При рівності ковариаційних матриць двох класів  $w_i$  і  $w_j$  рівняння поділяючої границі між ними записується як:

$$d_i(\vec{x}) - d_j(\vec{x}) = \ln \frac{p(w_i)}{p(w_j)} + \vec{x}^T C^{-1} (\vec{m}_i - \vec{m}_j) - \frac{1}{2} \vec{m}_i^T C^{-1} \vec{m}_i + \frac{1}{2} \vec{m}_j^T C^{-1} \vec{m}_j. \quad (9)$$

В цьому випадку поділяюча границя являється гіперплощиною, тобто лінійною відносно компонентів вектора  $\vec{x}$ . У випадку, коли ковариаційні матриці не рівні, рівняння поділяючої границі описується сумою лінійних і квадратичних відносно  $\vec{x}$  доданків, тобто являється гіперквадрикою. У загальному випадку, коли щільності розподілів описуються законом, відмінним від нормального розподілу, лінійні і квадратичні функції можна використати як апроксимації першого та другого порядку поділяючих границь довільної форми [4].

В розглянутому підході до побудови класифікатора не роблять ніяких припущень про вид вирішальних функцій, але необхідно заздалегідь визначити вид щільності розподілу вектора  $\vec{x}$  для кожного з ідентифікованих класів. Для побудови класифікаторів при тематичній обробці космічних знімків часто більш зручним уявляється використання іншого підходу, в якому заздалегідь визначають вид вирішальних функцій, але не роблять ніяких припущень про вид щільностей розподілу. Зазвичай у цьому випадку вибирають наступні вирішальні функції:

$$d(\vec{x}) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(\vec{x}) + w_{n+1}, \quad (10)$$

де  $f_i(\vec{x})$ ,  $i=1, n$  – дійсні однозначні функції вектор-образу  $\vec{x}$ ,  $w_i$ ,  $i=1, n$  – набір параметрів. Вираз (10) можна записати також у векторному вигляді:

$$d(\vec{x}) = \vec{W}\vec{x}^*, \quad (11)$$



## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

де  $\vec{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n, w_{n+1})$  – ваговий вектор, а  $\vec{x}^* = (f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_n(\vec{x}), 1)$  – поповнений вектор функцій  $f_i(\vec{x})$ , в якому доданий  $(n+1)$ -й компонент дорівнює одиниці. У найпростішому випадку, приймаючи  $f_i(\vec{x}) = x_i$ , одержимо лінійні вирішальні функції:

$$d(\vec{x}) = \vec{W}\vec{x}. \quad (12)$$

Коли вид вирішальної функції обраний, задача побудови класифікатора виду (11) зводиться до оцінки компонентів вагового вектора  $w_i$  по навчальних вибірках за допомогою ітеративних процедур. Надалі для простоти викладу обмежимося розглядом лінійних вирішальних функцій (12). Різні ітеративні алгоритми оцінки компонентів вагового вектора можуть бути отримані на основі мінімізації деякого критерію оцінки якості класифікації елементів зображення. Нехай  $J(\vec{W}, \vec{x})$  – обраний критерій якості класифікації, який досягає мінімуму при правильній класифікації. Тоді, застосовуючи метод градієнтного спуску для знаходження мінімуму функції, одержимо наступну ітераційну формулу для коректування вагового вектора:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - C \left. \frac{\partial J(\vec{W}, \vec{x})}{\partial \vec{W}} \right|_{\vec{W}=\vec{W}(k)}, \quad (13)$$

де  $k$  – крок ітерації,  $C$  – константа; початкове наближення для вагового вектора  $\vec{W}(1)$  може задаватися довільно. Як видно з формули (13), при досягненні мінімуму, значення вагового вектора не коректують. Нехай потрібно побудувати дискримінантну функцію виду (12), яка розділяє два класи  $w_1$  і  $w_2$ , так, щоб виконувалася умова  $\vec{x} \in w_1$ , якщо  $d(\vec{x}) > 0$ , і  $\vec{x} \in w_2$ , якщо  $d(\vec{x}) < 0$ . Множачи всі вектор-образи з навчальної вибірки класу  $w_2$  на  $-1$ , одержимо наступну умову, якій повинен задовольняти ваговий вектор шуканої дискримінантної функції при будь-яких  $\vec{x}$ :

$$\vec{W}\vec{x} > 0. \quad (14)$$

Враховуючи умову (14), можна вибрати як критерій  $J$  наступну функцію:

$$J(\vec{W}, \vec{x}) = \frac{1}{2} (|\vec{W}\vec{x}| - \vec{W}\vec{x}). \quad (15)$$

Очевидно, що її мінімум -  $J=0$  досягається при виконанні умови (11), тобто при шуканому значенні вагового вектора. Підставивши (15) в (13), одержимо ітеративний алгоритм оцінки  $\vec{W}$ , відомий як алгоритм перцептрону:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) + C * \begin{cases} 0, & \text{якщо } \vec{W}(k)\vec{x} > 0 \\ \vec{x}, & \text{якщо } \vec{W}(k)\vec{x} \leq 0 \end{cases} \quad (16)$$

Вибираючи інші критерії якості класифікації, можна одержати різні ітеративні алгоритми оцінки лінійної дискримінантної функції, оснований на методі градієнтного спуску. Наприклад, якщо шукати дискримінантну функцію таким чином, щоб вона задовольняла умові:

$$X\vec{W} = \vec{b}, \quad (17)$$

де  $X$  – матриця, складена шляхом об'єднання вектор-образів класів  $w_1$  і  $w_2$  (образи класу  $w_2$  множать на -1),  $\vec{b}$  – вектор з позитивними компонентами, то як критерій  $J$  можна вибрати функцію

$$J(\vec{W}, \vec{x}, \vec{b}) = \frac{1}{2} X\vec{W} - \vec{b}^2, \quad (18)$$

яка досягає мінімуму при виконанні умови (17). Підставляючи функцію (18) в (13), одержимо алгоритм НСКП (найменшої середньоквадратичної помилки).

$$\begin{aligned} \vec{W}(k+1) &= \vec{W}(k) + C(X^1X)^{-1}X^1[\vec{e}(k) + |\vec{e}(k)|], \\ \vec{b}(k+1) &= \vec{b}(k) + C[\vec{e}(k) + |\vec{e}(k)|], \end{aligned} \quad (19)$$

де  $\vec{e}(k) = X\vec{W}(k) - \vec{b}(k)$ ,  $X^1$  – транспонована матриця  $X$ .

Алгоритм НСКП сходиться за меншу кількість ітерацій, чим алгоритм (16). Однак кожна його ітерація складна через необхідність виконання операції обертання матриці. Важливою перевагою алгоритму НСКП є наявність критерію збіжності. Якщо на даному кроці ітерації всі компоненти вектора  $\vec{e}$  стають не-позитивними (але не всі дорівнюють нулю), задані класи не можна розділити лінійною границею (або за допомогою границі типу

(11)). З іншого боку, алгоритм перцептрона має свої переваги, наприклад, він легко узагальнюється на випадок побудови поділяючих границь між декількома класами. Разом з тим обидва розглянутих алгоритми мають істотний недолік. Вони сходяться тільки у випадку, коли навчальні вибірки не перекриваються у просторі розпізнаючих ознак, що далеко не завжди виконується при класифікації об'єктів на космічних знімках. Перекриття навчальних вибірок, які відповідають різним об'єктам, можна розглядати як наслідок стохастичного характеру вихідних даних, зокрема тих, що використовуються як навчальні вибірки. Тому для пошуку дискримінантних функцій ліпше застосовувати алгоритми, які враховують статистичні властивості ідентифікованих класів. У рамках статистичного підходу до побудови класифікатора типу (12) значення вагового вектора оцінюють на основі процедури мінімізації критерію  $J$ , що не піддається безпосередньому спостереженню. Реально спостережуваною у цьому випадку являється деяка статистична функція  $f(\vec{W}, \vec{x})$ , математичне очікування якої дорівнює критерію  $J$ . В цьому випадку значення  $\vec{W}$ , які відповідають мінімуму  $J$ , можуть бути знайдені за допомогою ітеративного алгоритму:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - \alpha_k \left. \frac{\partial f(\vec{W}, \vec{x})}{\partial \vec{W}} \right|_{\vec{W}=\vec{W}(k)}, \quad (20)$$

де  $\alpha_k$  – елементи послідовності позитивних чисел, задовольняючих умовам:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha_k = 0, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k \rightarrow \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k^2 < \infty. \quad (21)$$

Наприклад, в якості послідовності може бути обрана наступна:

$$\alpha_k = \frac{C}{k}, \quad \text{де } C - \text{константа.}$$

Введемо випадкову змінну класифікацію:

$$r_i(\vec{x}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \vec{x} \in w_i \\ 0, & \text{якщо } \vec{x} \notin w_i \end{cases}. \quad (22)$$

Будемо шукати дискримінантні функції у вигляді (12), що задовольняють умовам (14). Тоді критерій  $J$  можна вибрати у такий спосіб:

$$J(\vec{W}_i, \vec{x}) = E \left\{ \left| r_i(\vec{x}) - \vec{W}_i \vec{x} \right| \right\}, \quad (23)$$

де  $E\{f\}$  – математичне очікування функції  $f$ . Підставляючи (23) у загальне вираження для алгоритму (20), одержимо наступну ітераційну формулу для оцінки  $\vec{W}$ :

$$\vec{W}_i(k+1) = \begin{cases} \vec{W}_i(k) + \alpha_k \vec{x}, & \text{якщо } \vec{W}_i(k) \vec{x} < r_i(\vec{x}) \\ \vec{W}_i(k) - \alpha_k \vec{x}, & \text{якщо } \vec{W}_i(k) \vec{x} \geq r_i(\vec{x}) \end{cases} \quad (24)$$

Алгоритм, оснований на формулі (24), називається алгоритмом коригувальних збільшень. Він є статистичним аналогом алгоритму перцептрона (16).

Статистичний аналог алгоритму НСКП можна одержати, вибираючи в якості критерію  $J$  функцію

$$J(\vec{W}, \vec{x}) = \frac{1}{2} E \left\{ \left[ r_i(\vec{x}) - \vec{W}_i \vec{x} \right]^2 \right\}, \quad (25)$$

яка також досягає мінімуму  $J=0$  при правильній класифікації. Підставляючи (25) в (20), одержимо ітераційну оцінку  $\vec{W}$ , що називається статистичним НСКП-алгоритмом:

$$\vec{W}_i(k+1) = \vec{W}_i(k) + \alpha_k \vec{x} \left[ r_i(\vec{x}) - \vec{W}_i(k) \vec{x} \right] \quad (26)$$

Статистичні ітераційні алгоритми коригувальних збільшень (24) і НСКП (26) на відміну від своїх детерміністських аналогів (16) і (19) можуть застосовуватися і у випадку, коли навчальні вибірки, що відповідають різним ідентифікованим об'єктам, перекриваються у просторі ознак. У статистичних алгоритмах, на відміну від детерміністських, корекція вектора  $\vec{W}$  виконується на кожному кроці ітерації, навіть у випадку, коли знайдене на даному кроці наближення забезпечує правильну класифікацію. Крім того, у статистичних алгоритмах потужність коректування убуває з кожним кроком ітерації через убування коефіцієнтів  $\alpha_k$ , у той час

як у детерміністських методах потужність коректування не змінюється. Це спричиняє більш повільну збіжність статистичних методів у порівнянні з детерміністськими. Тому у тих випадках, коли навчальні вибірки не перекриваються у просторі ознак, доцільніше використовувати детерміністський підхід.

Можливі варіанти ітераційних алгоритмів не обмежуються розглянутими. Задаючи різні розумні критерії  $J$ , можна одержати за допомогою формул (13) або (20) багато інших алгоритмів побудови лінійних або квазілінійних класифікаторів у рамках детерміністського або статистичного підходів. Крім того, можлива побудова ітераційних алгоритмів, не основаних на мінімізації критерію якості класифікації [5].

Проводилось попереднє візуальне дешифрування космічних знімків що полягає у логічному аналізі зображень із використанням комплексу дешифрувальних ознак і залучення різної допоміжної інформації. Допоміжна інформація містить в собі результати раніше виконаного дешифрування, різну апріорну інформацію (картографічні, літературні, відомчі і інші матеріали) та опорну інформацію (результати підсупутникових вимірів досліджуваних показників).

### **Результати досліджень стану озер Шацького НПП**

Еталонна тест-ділянка, як зазначалось вище, для визначення якості поверхневих вод за допомогою контактних методів та методів ДЗЗ була обрана на території НПП «Шацький». О.Світязь займає особливе місце серед 23 озер Шацької групи. За глибиною озеро не має собі рівних в Європі, в окремих місцях вона сягає 58 м. За твердженнями вчених аналогів такої чистої води, яка може використовуватись як питна, в Україні немає. Тому саме це озеро обрано для визначення фонового рівня зональної яскравості забруднення поверхневих вод, з метою створення еталону якості поверхневих вод України.

При проведенні дослідження озер Шацького НПП матеріали космічних зйомок зіставлялися з апріорною та опорною інформацією, основним методом одержання таких даних є проведення підсупутникових експериментів, у ході яких вимірювалися значення досліджуваних показників стану водних ресурсів контактними методами. Контактні виміри здійснювались синхронно з космічною зйомкою. Для проведення підсупутникових експериментів було організовано аерокосмічний полігон на території НПП

«Шацький», у межах якого призначено тестові ділянки для виконання підсупутникових вимірів на оз. Світязь, оз. Пісочне, оз. Перемут та оз. Люцимир.

Для вибору тестових ділянок і локалізації пунктів відбору проб (контактних вимірів) аналізувались матеріали попередніх космічних зйомок. Для роботи використовувались космічні знімки супутників MODIS, LANDSAT, QUICK BIRD (рис. 1) та Envisat (рис.2), просторово-роздільна здатність яких від декількох дециметрів до декількох сотень метрів.

Розглянуті вище процедури тематичної обробки космічних знімків дозволяють оцінювати просторовий розподіл показників якості поверхневих вод тільки у відносній шкалі. Це обумовлено тим, що при сегментації зображень виділяють різні градації не загальноприйнятих показників якості поверхневих вод, а параметрів космічних знімків, тому проводили кореляцію з показниками еколого-санітарного стану водних об'єктів [4].

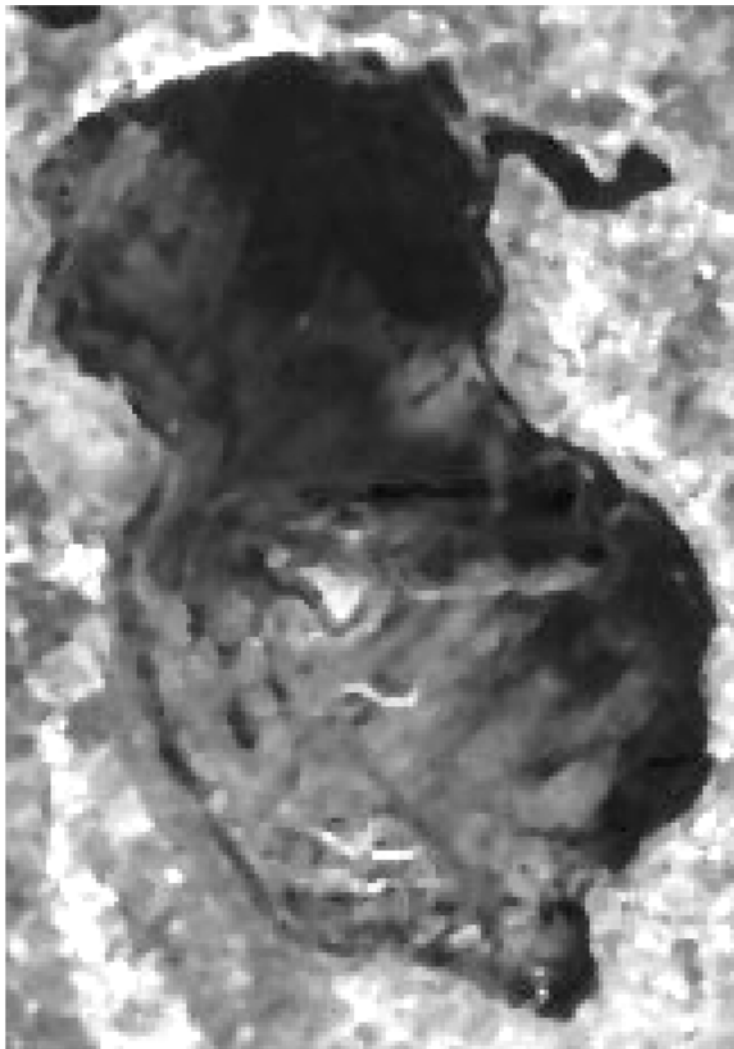
Матеріали космічної зйомки охарактеризували параметрами  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , по яких оцінювали показники якості поверхневих вод  $y_1, y_2, \dots, y_m$ . Задача переходу від відносної шкали оцінок до абсолютної була сформульована як задача побудови залежностей вигляду:

$$\begin{aligned}y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_k), \\y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_k), \\&\dots \\y_m &= f_m(x_1, x_2, \dots, x_k).\end{aligned}\tag{27}$$

Для побудови рівнянь (27) застосували підхід, оснований на зіставленні матеріалів космічних зйомок з апріорною або опорною інформацією. Нехай існує  $n$  пунктів на досліджуваній акваторії, для яких відомі значення показників стану поверхневих вод –  $x_{ij}$  ( $i = 1, n$  – номер пункту,  $j = 1, m$  – номер показника) або їхні імовірнісні оцінки  $x_{ij}$ . Визначивши на космічних зображеннях точки, що відповідають пунктам акваторії, для яких відомі значення показників  $x_{ij}$ , і вимірявши в даних точках значення зональних яскравостей  $y_{ij}$  ( $j = 1, k$  – номер каналу зйомки), одержимо таблицю емпіричних даних, яку розглядали як навчальну послідовність [5].



*Рис. 1. Озера Шацького НПП на знімку супутника LANDSAT.*



*Рис. 2. Космічний знімок, отриманий з супутника Envisat (оз. Світязь)  
Обробка отриманих даних з відбору проб проводилась у геоінформаційній системі ArcGis 9.3. (рис. 3),  
в якій створено базу даних за всіма отриманими показниками на озерах Шацького НПП.  
Всі точки відбору проб відображені на картографічній моделі.*



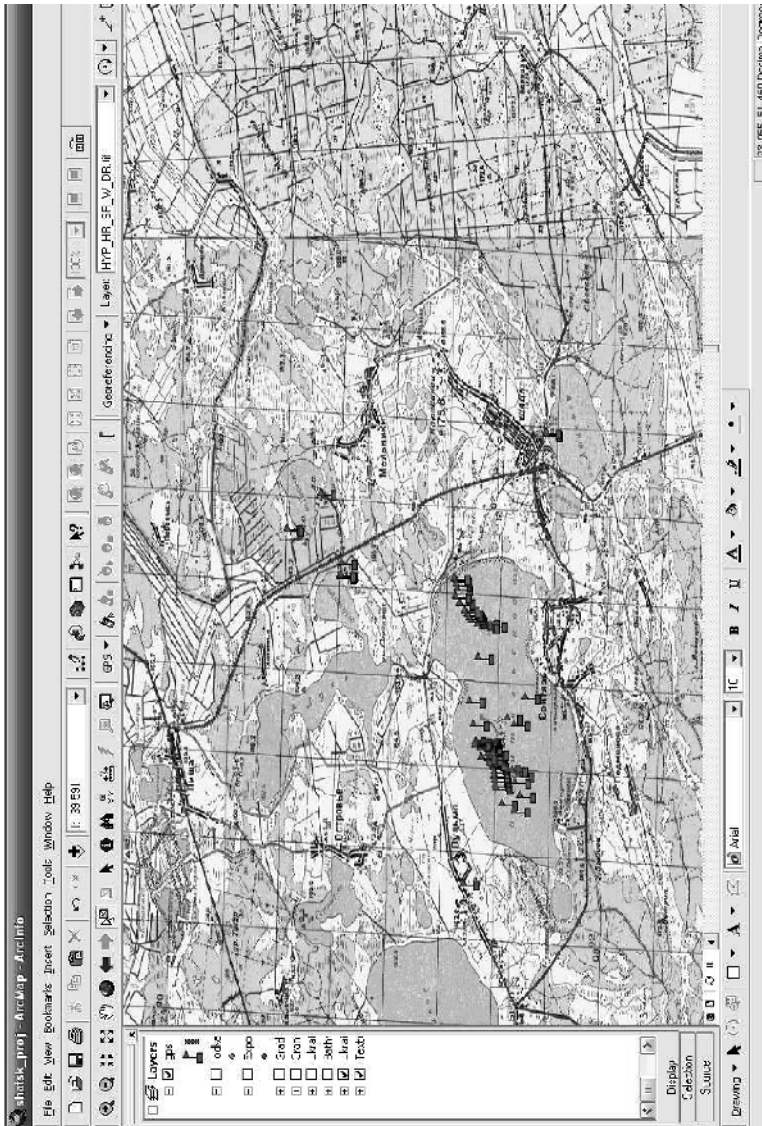


Рис. 3. Вибір зразків проб на озерах Шацького НПП у геоінформаційній системі ArcGis.

Натурні дослідження у Шацькому національному природному парку проводились на оз. Світязь, оз. Пісочне, оз. Перемут та оз. Люцимир за такими показниками, як температура, окислювально-відновлювальний потенціал, вимірювання рівня рН, загальну мінералізацію, вміст NaCl, KCl, електропровідність тощо. Також проводились дослідження ґрунту вздовж берегової лінії на рівень рН, вологості, температури ґрунту та субстратів і освітленості (рис. 4).

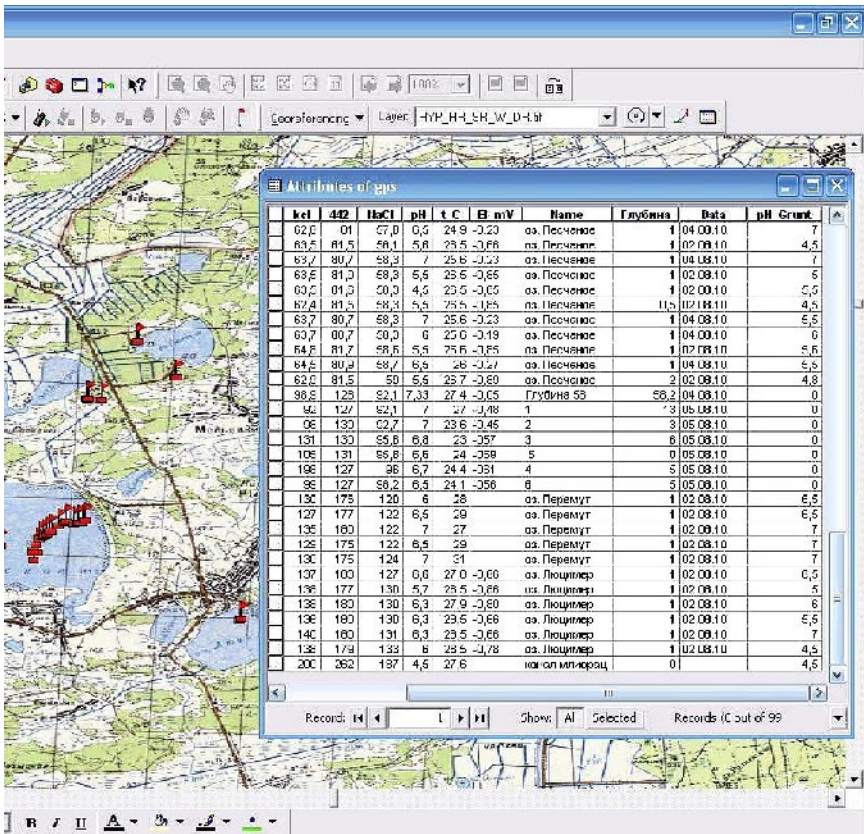


Рис. 4. База даних відібраних показників якості води.

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

За одержаними загальними гідрохімічними показниками, вода в озерах повністю відповідає санітарним та рибогосподарським нормативам. Проаналізувавши отримані результати було встановлено, що вода озер Шацької групи має відновний потенціал, тобто така вода типова для підземних вод де присутні метали низьких ступеней валентності. Також зроблена оцінка якості води за шкалою американської організації по захисту здоров'я і навколишнього середовища (EPA), за якою вода в досліджуваних озерах характеризується, як вода гірських джерел та прийнятна для використання.

Проаналізовані дані свідчать, що в досліджуваній групі Шацьких озер відсутні явища техногенного забруднення. Слід зазначити, що проведені дослідження є не систематичними, що не може відображати екологічну ситуацію в цілому, а тільки на момент відбору проб. Враховуючи постійне збільшення рівня антропогенного навантаження на озера Шацького НПП, що характеризується розвитком рекреаційного потенціалу даної території, існує необхідність проведення регулярного й ґрунтового екологічного моніторингу акваторій і прибережних ділянок озер, який повинен включати в себе визначення інтенсивності процесів самоочищення, вторинного забруднення, розвитку біоти та інших питань.

### **Висновки**

Комплекс безпосередніх польових спостережень сьогодні потребує доповнення за рахунок більш активного впровадження дистанційних методів моніторингу. Головними їх перевагами є універсальність та інтеграція з геоінформаційними технологіями. Сучасні геоінформаційні технології дозволяють створювати регіональні природоохоронні геоінформаційні системи, що мають величезні аналітичні можливості. За допомогою поєднання технологій ДЗЗ та ГІС можливо організувати безперервний процес актуалізації просторових даних.

Потенційні переваги цих методів мають велике значення у сфері як глобального, так і регіонального моніторингу навколишнього природного середовища, де оглядовість матеріалів і генералізація інформації грають досить істотну роль. При вирішенні практичних завдань підтримки рішень, пов'язаних з управлінням екологічною безпекою, доцільно орієнтуватись на комплексне використання контактних і дистанційних методів. Результати вимірів

контактними методами можна використати для оцінок точності вимірів дистанційними, а також для переходу від відносної шкали оцінок параметрів стану складових довкілля до абсолютної. У свою чергу, дистанційні методи дозволяють перейти від вимірів в окремих пунктах певної території до безперервної картини просторового розподілу розглянутих показників і оптимізувати локалізацію пунктів їх вимірів контактними методами.

Внаслідок проведеної роботи створено архів космічних знімків за період виконання робіт на озерах Шацького НПП (TERRA, LANDSAT, QUICK BIRD, Envisat). Виконано замір первинних даних параметрів оптичних характеристик і якості поверхневих вод на озерах Шацького НПП та відібрано більше 150 проб води для вимірів гідрохімічних та гідрооптичних показників якості. Архів космічних знімків та отриманих даних в результаті дослідження дають змогу стверджувати, що еталоном якості поверхневих вод України може бути мережа озер Шацького НПП.

\* \* \*

1. Географічна енциклопедія України / О.М. Маринич (відп. ред.), Ф.С. Бабичев, В.І. Беляєв, Дорогунцов С.І. , Т. 3 : П-Я. — К.: 1993. — 480 с.

2. Львович М.В. Загальна характеристика Шацького національного природного парку / М.В. Львович, А.А. Горун // Шацький національний природний парк. Наукові дослідження 1983 – 1993 рр. — Свтязь, 1994. — С. 4–20.

3. Красовский Г.Я. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды / Г.Я. Красовский, В.А. Петросов // — Харьков: гос. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского (ХАИ), 1999. — 205 с.

4. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій / Г.Я. Красовський. — К.: Інтертехнологія, 2008. — 480 с.

5. Красовский Г.Я. Аэрокосмический мониторинг поверхностных вод / Г.Я. Красовский. — Л.: ВНИИКАМ, 1990. — 230 с.

**Отримано: 4.10.2010 р.**