

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЧОРНОГО МОРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗНІМКІВ NOAA

В.М. Єремеев<sup>1</sup>, Г.Я. Красовський<sup>2</sup>, Т.С. Куковська<sup>1</sup>, В.В. Радчук<sup>3</sup>, І.В. Радчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Державна наукова установа “Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України”, вул. Олеса Гончара, 55 б, Київ 01054, Україна, e-mail: t.kukovska@gmail.com*

<sup>2</sup> *Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, вул. Чкалова, 17, Харків 61070, Україна, e-mail: g.krasovskiy@khai.edu*

<sup>3</sup> *Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Чоколівський бульв., 13, Київ 03186, Україна, e-mail: valentyu.radchuk@gmail.com*

Наведено інформаційну технологію екологічного моніторингу прибережних вод Чорного моря та способи її практичної реалізації. Основою цієї технології є метод дистанційного зондування Землі з космосу і обробки даних у середовищі геоінформаційних систем. Зазначену інформаційну технологію з використанням знімків із супутників NOAA запропоновано для застосування з метою вирішення практичних завдань дослідження як природних процесів, так і процесів, що виникають унаслідок антропогенних впливів, а також для інформаційної підтримки завдань управління екологічною безпекою та раціональним використанням природних ресурсів Чорного моря.

**Ключові слова:** ГІС-технологія, екологічний моніторинг, векторна карта, морська поверхня.

**Вступ.** Виявлення загрозливих тенденцій до погіршення екологічного стану водних об'єктів можливе у режимі моніторингу з використанням матеріалів дистанційних знімків. У зв'язку з цим набувають вагомого значення дослідження, пов'язані із вивченням інформаційного забезпечення екологічних спостережень. Широке застосування інформатики у розв'язанні проблем природного середовища сприяло формуванню геоінформатики — нового наукового напрямку, який займається розробленням теорії, засобів і технологій інформаційного забезпечення і автоматизації біосферних і екологічних досліджень з метою раціоналізації природокористування й охорони природи [7, 13].

Чорноморський регіон є регіоном стратегічних інтересів України [4, 8, 10]. Тут сконцентровано біологічні, мінерально-сировинні, рекреаційні ресурси морського узбережжя, пролягають зовнішні і внутрішні транспортні шляхи, ведеться розробка корисних копалин, зокрема вуглеводнів, сировини для хімічної промисловості та виробництва будівельних матеріалів тощо.

Антропогенне навантаження помітно впливає на динаміку формування екологічного стану як морських акваторій, так і приморських територій регіону. Впродовж останніх десятиліть через зміни стану екосистеми Чорного моря і виснаження його морських ресурсів спостерігаються погіршення якості навколишнього середовища у прибережних районах і, як наслідок, зниження рівня їх рекреаційного потенціалу. Це засвідчують дані моніторингу — системи повторних спостережень од-

нієї чи більше складових навколишнього природного середовища у просторі й часі з певними цілями відповідно до завчасно підготовленої програми [5, 6, 9].

Системне вирішення низки завдань природокористування потребує підвищення ефективності космічного моніторингу стану навколишнього середовища, що передбачає отримання не тільки інформації про об'єкт досліджень, а й результатів самих досліджень. Такий підхід дає змогу мати повне уявлення про об'єкт і супутні процеси на основі великого масиву показників, які реєструють і обчислюють [14]. У зв'язку з цим актуальним є створення якісно нових системних методів використання космічної інформації дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що підвищують ефективність оцінювання стану навколишнього середовища.

Дієвість сучасної організації фонового, загального і кризового моніторингу водних ресурсів Чорного моря можна істотно підвищити, якщо доповнювати її технологіями космічного моніторингу морських акваторій [1—3, 11, 12, 15—17], а отримані при цьому знімки обробляти із залученням програмних інструментів сучасних геоінформаційних систем (ГІС) [18, 19]. У такому разі відкриваються можливості не тільки оперативно отримувати дані щодо просторово-часових розподілів параметрів екологічного стану морських акваторій під впливом антропогенних і природних чинників, а й знаходити зручні форми їх надання користувачам у вигляді візуалізованих тематичних картографічних моделей. Ці моделі забезпечують зручний до-

ступ до атрибутивних даних кожного з чинників забруднення, що можуть існувати у текстовій або табличній формі.

Стаття присвячена деяким практичним аспектам розробки геоінформаційних технологій космічного моніторингу української частини акваторії Чорного моря як складової автоматизованої системи інтегрування даних із різних джерел, моделювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів моніторингу в середовищі ГІС із застосуванням баз геопросторових даних і баз знань.

Об'єктом дослідження є геоінформаційні технології. Пошук способів підвищення ефективності моніторингу морських акваторій Чорного моря на основі методів ДЗЗ і ГІС є метою досліджень. Завдання — створення і обґрунтування оригінальної методики обробки даних ДЗЗ, отриманих зі супутників NOAA, що підвищує ефективність моніторингу української частини Чорного моря.

**Результати, їх обговорення.** Розроблено загальний алгоритм тематичної обробки космічних знімків у завданнях моніторингу морських акваторій. Космічний моніторинг морських акваторій ґрунтується на класифікації аномальних процесів на поверхні моря та дослідженні динаміки їхнього розвитку. Для вирішення цих завдань потрібно застосувати космічні знімки високого, середнього та низького просторового дозволу. Просторова роздільна здатність визначається завданнями, що вирішуються. Для ідентифікації розливів нафти ефективнішим є застосування знімків як середньої, так і високої роздільної здатності. А для визначення процесу розвитку фітопланктону, абразії берегової лінії доволі часто достатньо проаналізувати знімки низької роздільної здатності. Таким чином, характеристики даних ДЗЗ визначаються поставленим завданням.

У результаті досліджень було сформовано первинні вимоги до знімків (з точки зору завдань, що вирішуються):

— для визначення процесу “цвітіння” води достатньо застосувати знімки низького просторового розрізнення в одному або декількох спектральних каналах, а контури визначених ділянок моря можна уточнювати за даними середньої та високої роздільності;

— аналіз внутрішнього процесу абразії берега потребує даних середнього та високого просторового розрізнення, але для визначення місцезонавання цього процесу можна використовувати дані низького просторового розрізнення;

— ідентифікація точкових процесів забруднень (наприклад, річковий стік) можлива із залученням матеріалів космічного знімання низької роздільності за умови територіальної протяжності “язика” стоку більш ніж на 1 км;

— аналіз точних контурів розливу та внутрішнього розподілу хімічних речовин потребує застосування даних ДЗЗ середньої та високої роздільності;

— для визначення місцезонавання та аналізу поширення дифузних джерел забруднення морської поверхні (наприклад, поверхневий стік із сільськогосподарських угідь) слід залучати знімки середнього та високого розрізнення;

— для дешифрування космічних знімків з метою ідентифікації джерел нафтових забруднень потрібно застосовувати дані ДЗЗ високого розрізнення.

За результатами аналізу можливостей матеріалів космічного знімання для вирішення завдань моніторингу морських акваторій виділено декілька напрямів застосування знімків низької роздільності. Це ідентифікація та аналіз процесу “цвітіння” води; визначення процесів абразії берега; ідентифікація та первинний аналіз точкових джерел забруднень морів.

В основу алгоритму класифікації даних ДЗЗ покладено яскравісні характеристики отриманих даних. На багатоканальних космічних знімках яскравісні характеристики виявляють неоднорідність поверхневого шару морської поверхні за різними ознаками — хімічним складом товщі води, щільністю мікрочасточок, температурним розрізненням тощо. На першому етапі обробки таких даних важливо ідентифікувати розрізнення яскравісних характеристик у кожному каналі знімання.

Загальний алгоритм класифікації включає основні та допоміжні етапи. Основні етапи такі:

— побудова гістограми зображення з метою визначення розподілення яскравісних ознак;

— виділення потрібного діапазону яскравостей на знімку за допомогою реалізованих функцій;

— використання функції пропорційного розподілення яскравостей на всьому знімку;

— класифікація отриманого зображення.

До допоміжних етапів належать різноманітні види фільтрації даних, використання алгоритмів нелінійного розподілення яскравостей зображення, застосування різноманітних палітр кольорів, обрізання виділеного діапазону значень та ін. Узагальнюючу структурну схему такого алгоритму, на прикладі обробки космічних знімків NOAA, показано на рис. 1.

Реалізація наведеної схеми обробки зображень зі супутників NOAA базується на постійному аналізі реальних даних, що дає змогу визначати необхідні та найефективніші методи їх обробки. На цьому етапі результати класифікації відображають у кольоровій гамі, де зміна кольору вказує на зміну характеристик поверхні моря. Для визначення точних груп класифікації слід аналізувати дані космічного знімання із застосуванням результатів наземних вимірів. Це необхідно для розробки алгоритму розпізнавання об'єктів за даними ДЗЗ.

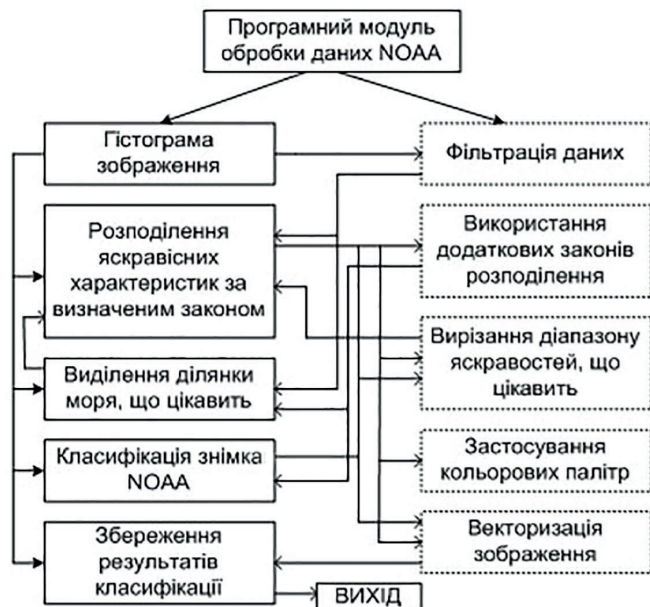


Рис. 1. Блок-схема методів обробки зображень зі супутників NOAA

Fig. 1. Flow chart of NOAA satellites images processing methods

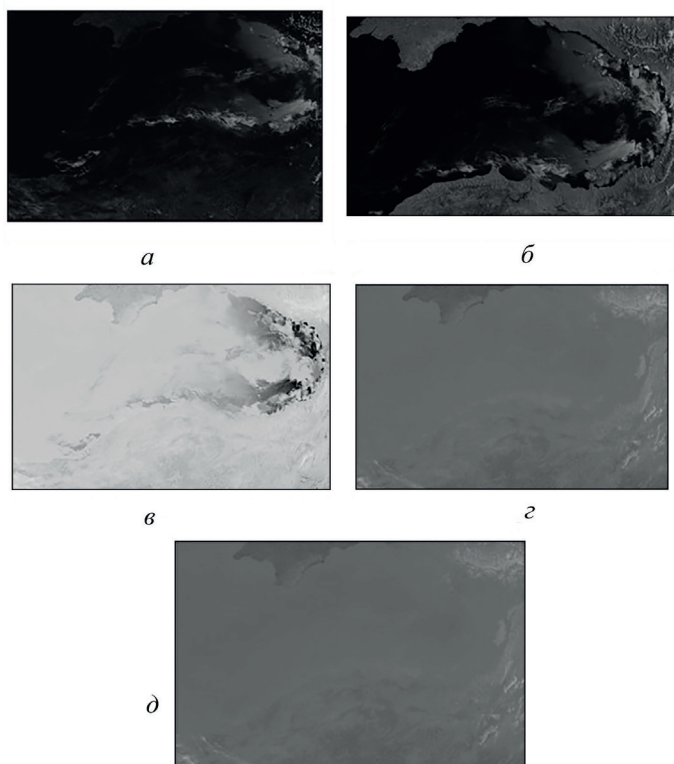
**Алгоритм класифікації космічних знімків за яскравісними ознаками поверхні Чорного моря.** Розглянемо можливості розробленого алгоритму класифікації даних ДЗЗ на прикладі знімків зі супутників NOAA поверхні Чорного моря, які отримано у літній сезон 2016 р.

Першим етапом є візуалізація кожного каналу знімків. На рис. 2 показано знімки Чорного моря зі супутника NOAA у п'яти каналах. У двох оптичних каналах (рис. 2, а, б) яскравіші ділянки морської поверхні різняться за площею та яскравісним відображенням. Аналіз вихідних даних показав, що аномальні ділянки на поверхні моря у різних каналах відображаються по-різному. Дані інфрачервоного (ІЧ) діапазону також різняться між собою (рис. 2, в—д). Для визначення детальніших характеристик морської поверхні здійснюють обробку зображень. Подальші етапи розробленого алгоритму розглянемо на прикладі оптичних каналів знімка, наведених на рис. 2, а, б.

На другому етапі слід покращити яскравісні характеристики отримуваних даних, для чого застосовуємо алгоритм поліпшення яскравості (рис. 3). При порівнянні знімків видно різницю між ними — на рис. 3, а основна частина знімка затемнена, а на на рис. 3, б чітко проглядаються всі об'єкти на морі та земній поверхні.

Рис. 2. Знімок Чорного моря зі супутника NOAA (08.09.2016): а — 0,58—0,68 мкм; б — 0,725—1,10 мкм; в — 3,55—3,93 мкм; г — 10,5—11,3 мкм; д — 11,5—12,5 мкм

Fig. 2. The Black Sea NOAA satellite image (08.09.2016): а — 0,58—0,68 mkm; б — 0,725—1,10 mkm; в — 3,55—3,93 mkm; г — 10,5—11,3 mkm; д — 11,5—12,5 mkm



Для кожної гістограми інтенсивності кольорових ознак можна відсікти “хвости” гістограми з метою видалення з процесу обробки зображень неінформативні яскравісні діапазони. Цю функцію виконують задаванням на гістограмі положення правої та лівої вертикальних меж, що відсікають граничні значення кольорових ознак (рис. 4).

Як показав аналіз, використання згаданої функції дає змогу детальніше розглянути характеристики всього зображення.

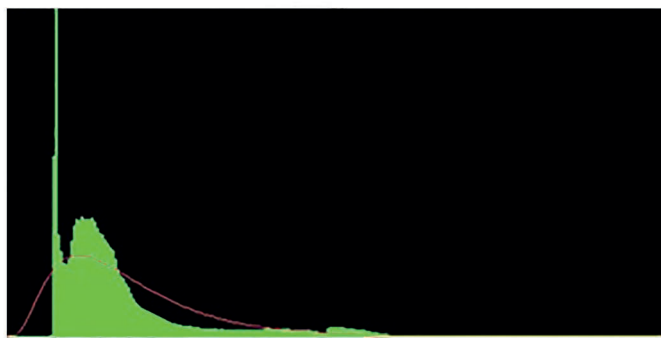
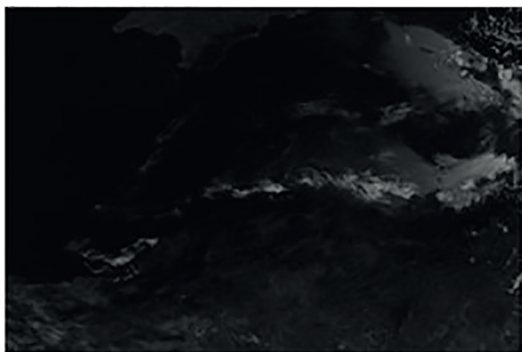
На третьому етапі слід визначити діапазон яскравостей, який відображає визначену ділянку моря. Для реалізації цього етапу використовують функцію виділення контурів ділянки. Результати виділення паралельно відображають на гістограмі зображення.

На рис. 5 показано вигляд знімка після виділення визначеної ділянки та гістограму яскравостей, на якій ділянка відображена синім кольором.

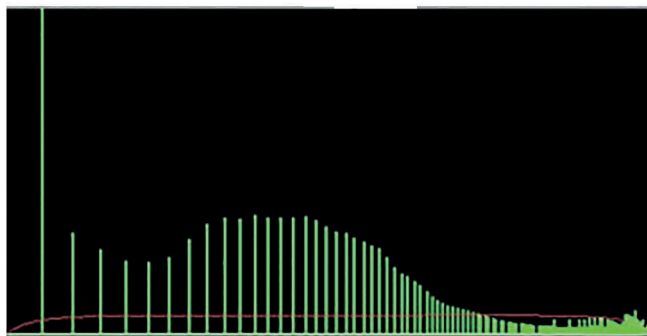
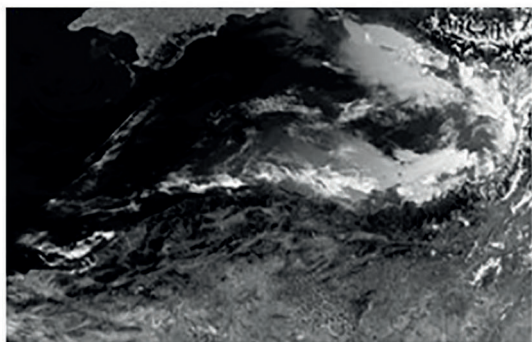
Тепер можна попередньо проаналізувати статистичні характеристики зображення та визначити подальші кроки обробки даних. Залежно від вигляду гістограми зображення та місцеположення визначеної ділянки подальші кроки можуть бути різними. Основним завданням цього етапу є визначення яскравісних характеристик аномальних ділянок на поверхні моря.

Аналіз зображень показав, що для знімків різних сезонів характеристики поверхні моря значно різняться, що пояснюється перебігом як природних процесів (зміна температури води, збільшення або зменшення “цвітіння” води), так і зміною техногенних чинників (динамічні зміни викидів точкових і дифузних джерел забруднення тощо).





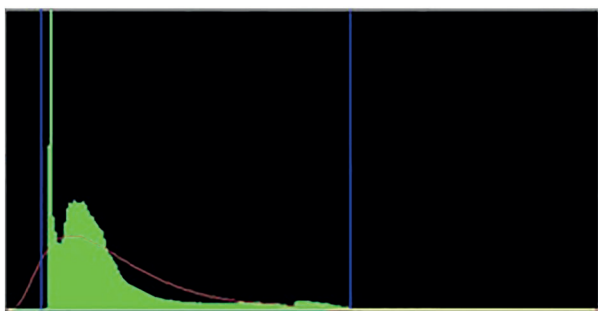
*a*



*б*

*Рис. 3.* Зображення та їхні гістограми яскравостей до (*a*) та після (*б*) виконання алгоритму покращання яскравісних характеристик

*Fig.3.* Images and their intensity histograms prior to (*a*) and after (*б*) implementation of algorithm of brightness characteristics improvement

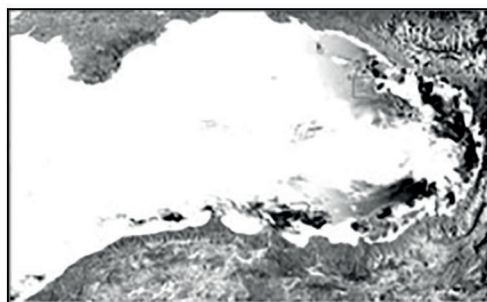


*Рис. 4.* Відсікання “хвостів” гістограми

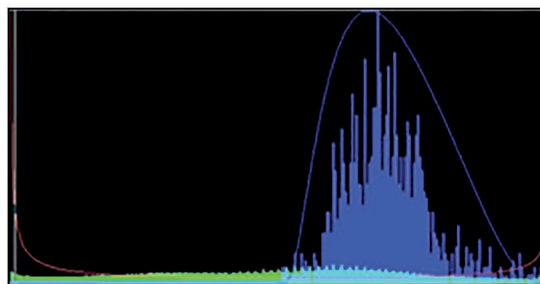
*Fig. 4.* Histograms “tails” clipping

На підставі аналізу матеріалів космічних знімків визначено параметри класифікатора зображень, які є основою для ідентифікації техногенного навантаження на територіальні води і морську економічну зону України на Чорному морі.

Для визначення найінформативніших космічних знімків слід проаналізувати отримувані дані за кількома характеристиками: температурні зміни повітря (води); закриття хмарами визначеної ділянки у різні сезони; перебіг внутрішніх процесів Чорного моря залежно від природних факторів; коливання техногенного навантаження досліджуваної ділянки морської поверхні та ін.



*a*



*б*

*Рис. 5.* Виділення ділянки (*a*) і побудова гістограми (*б*) її яскравостей

*Fig. 5.* Spotting (*a*) and histograming (*б*) of its brightness

Рис. 6. Вигляд гістограми яскравості зображення

Fig. 6. View of image brightness histogram

Виконання цього етапу ґрунтується на аналізі отримуваних даних зі супутників NOAA у різні сезони. Як показав аналіз знімків, найнаочнішими є дані, що отримують у весняно-літній період. У визначений період можливо спостерігати розвиток фітопланктону, а також у цей період підвищується ризик антропогенного навантаження внаслідок збігу початку сільськогосподарських робіт на полях і початку дощового сезону. Такий збіг зумовлює збільшення дифузних джерел забруднення шкідливими хімічними речовинами водних об'єктів, які формують загальний басейн Чорного моря.

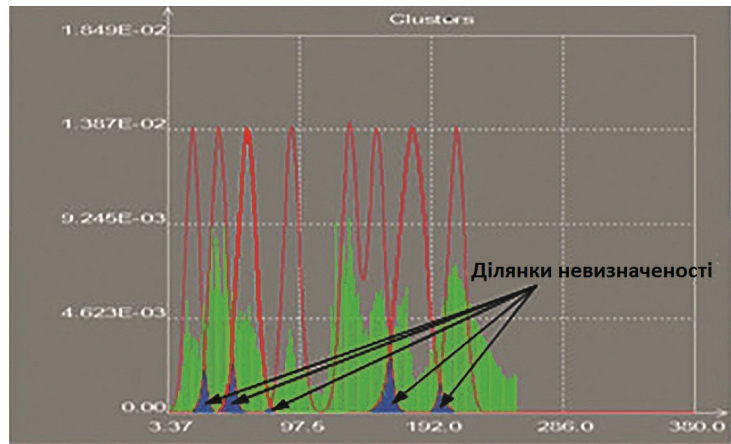
Для ідентифікації процесів забруднення поверхні моря ефективнішим є застосування даних оптичного діапазону. Дані ІЧ-діапазону використовують як допоміжні з метою прогнозування розвитку виявлених аномальних процесів морської поверхні.

**Обробка космічних знімків для ідентифікації техногенних забруднень Чорного моря.** Запропонований підхід був реалізований програмним модулем алгоритму первинної класифікації зображень акваторії Чорного моря на знімках зі супутників NOAA [18,19]. Важливим завданням обробки багатоканальних знімків є виділення найінформативніших каналів даних. Для вирішення цього завдання було проаналізовано всі п'ять каналів кожного знімка. Результатом згаданого етапу є набір сегментованих зображень ділянки Чорного моря, розділений на групи за яскравісними характеристиками.

За допомогою алгоритму кластеризації, який базується на яскравісних відмінностях поверхні моря через перебіг визначених природних та антропогенних процесів, було виділено ділянки поверхні моря, які відрізняються від загальної цвітності води. На рис. 6 показано загальний вигляд гістограми зображення, що оброблюється, та знайдених кластерів. При цьому виникають ділянки невизначеності інтенсивності кольорових характеристик (виділено синім кольором), які не можуть бути однозначно віднесені до визначеної групи пікселів. Рис. 7, а ілюструє результат кластеризації знімка з виділенням аномальної ділянки морської поверхні. Для порівняння один і той самий алгоритм було застосовано для цього знімка в інших каналах (рис. 7, б, в).

Аналіз результатів, фрагменти яких представлено на рис. 7, показав різницю характеристик, що зареєстровані у різних спектральних діапазонах. Результати обробки зображень можна зберігати у векторному шарі, а отже, обмінювати тематичні векторні шари з іншими програмами.

**Алгоритм створення векторних карт екологічного стану ділянок морських акваторій за даними космічних знімків.** Точність алгоритму векторизації ви-



ділених ділянок за даними космічних знімків дає змогу векторизувати растрові дані. Одним із важливих етапів роботи алгоритму є виділення берегової лінії. Розглянемо алгоритм розділення космічного знімка на два класи: “суша” і “вода”. Ймовірність правильного розділення на задані класи становить 60—80 %. Для виділення морської поверхні на зображенні можна використовувати ІЧ-діапазон (10,5—11,3 мкм). Рис. 8 ілюструє дані із супутника NOAA зазначеного каналу.

На рис. 9 показано характерну гістограму зональної яскравості фрагмента космічного знімка в ІЧ-діапазоні, що містить зображення морської поверхні і прилеглих ділянок суходолу. Мода 1 відповідає зображенню водної поверхні, а мода 2 (вищі значення яскравості) — зображенню суходолу.

Закони розподілу зазначеної гістограми у першому наближенні можна вважати нормальними (рис. 10).

Математичною моделлю зображення при цьому може бути сукупність нормальних законів:

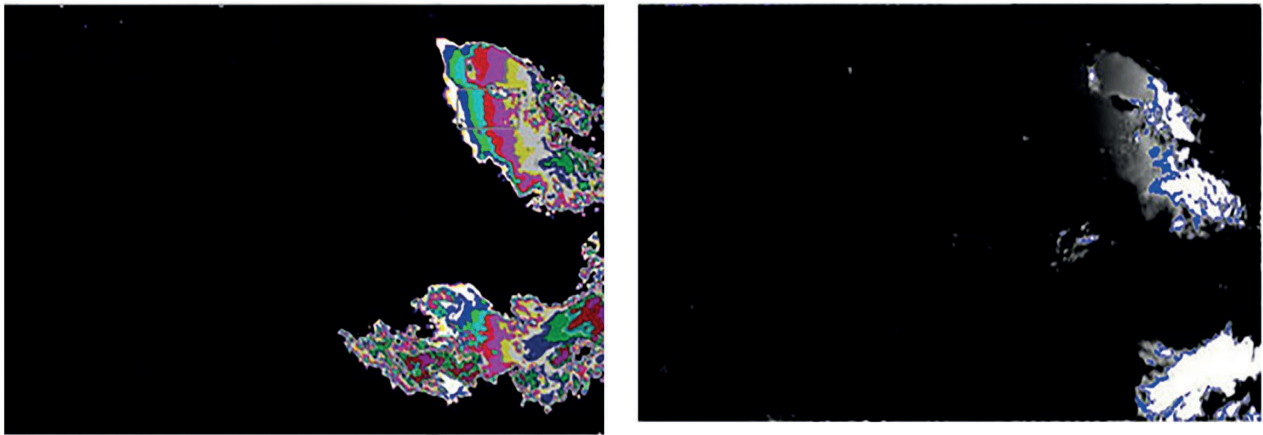
$$f(x) = p_M \frac{\exp\left\{-\frac{(x-m_M)^2}{2\sigma_M^2}\right\}}{\sqrt{2\pi\sigma_M^2}} + p_B \frac{\exp\left\{-\frac{(x-m_B)^2}{2\sigma_B^2}\right\}}{\sqrt{2\pi\sigma_B^2}} \quad (1)$$

де  $x$  — вибірка даних;  $m_M$ ,  $\sigma_M$ ,  $m_B$ ,  $\sigma_B$  — математичне очікування й дисперсія інтенсивності для моря й для берега відповідно;  $p_M$ ,  $p_B$  — вагові коефіцієнти, що забезпечують виконання вимоги  $\int f(x)dx = 1$ .

Отже, для розв'язання задачі виділення ділянок, що цікавлять, слід визначити параметри  $m_M$ ,  $\sigma_M$ ,  $m_B$ ,  $\sigma_B$ ,  $p_M$ ,  $p_B$ .

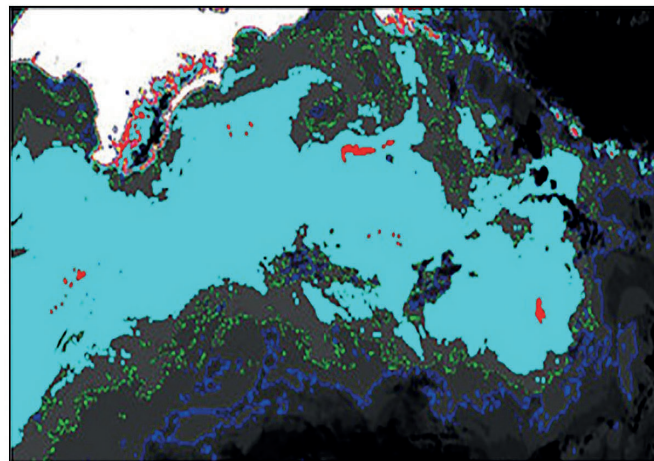
У разі виділення на космічному знімку морської поверхні розглядають бімодальні статистичні моделі. Нехай  $X$  — вектор спостережень, потрібно визначити його приналежність до класу  $\omega_B$  (берегова поверхня) або  $\omega_M$  (морська поверхня). Вирішальне правило, засноване на апостеріорних імовірностях, має вигляд

$$P(\omega_M|X) > P(\omega_B|X) \rightarrow X \in \begin{cases} \omega_M \\ \omega_B \end{cases} \quad (2)$$



а

б



в

Рис. 7. Кластеризація кольорового простору ділянки забруднення Чорного моря за даними зі супутника NOAA. Спектральні діапазони, мкм: а — 0,58—0,68; б — 0,725—1,10; в — 10,5—11,3

Fig. 7. Clustering of colored space of the Black Sea contaminated site according to the NOAA satellite data. Spectral ranges: а — 0,58—0,68 mkm; б — 0,725—1,10 mkm; в — 10,5—11,3 mkm



Рис. 8. Дані з супутника NOAA, канал 4

Fig. 8. NOAA satellite data (channel 4)

Апостеріорні ймовірності  $P(\omega_i|X)$  визначають за допомогою теореми Байєса за апіорними ймовірностями  $P(\omega_i)$  та умовними щільностями  $P(\omega_i|X)$ :

$$P(\omega_i|X) = \frac{p(X|\omega_i) \cdot P(\omega_i)}{p(X)}, \quad (3)$$

$$\text{де } p(X) = \sum_{i=1}^2 P(\omega_i) \cdot P(X|\omega_i).$$

В обидві частини нерівності (2) входить та сама щільність імовірності  $p(X)$ , тому вирішальне правило (2) можна записати у вигляді

$$l(X) = \frac{p(X|\omega_M) > P(\omega_B)}{p(X|\omega_B) < P(\omega_M)} \rightarrow X \in \left\{ \begin{array}{l} \omega_M \\ \omega_B \end{array} \right\}, \quad (4)$$

де  $l(X)$  — відношення правдоподібності;  $\frac{P(\omega_B)}{P(\omega_M)}$  — граничне значення відношення правдоподібності для вирішального правила (2).

Рівняння (4) запишемо так:

$$\begin{aligned} -\ln l(X) &= -\ln p(X|\omega_M) + \ln p(X|\omega_B) > < \\ &> \ln \{P(\omega_M)/P(\omega_B)\} \rightarrow X \in \left\{ \begin{array}{l} \omega_M \\ \omega_B \end{array} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$



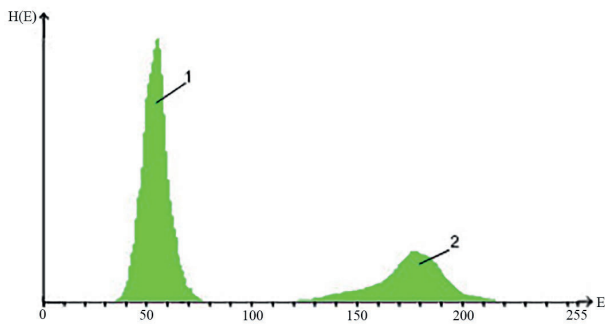


Рис. 9. Гістограма зображення (див. рис. 8)

Fig.9. Histogram of the image shown on fig. 8

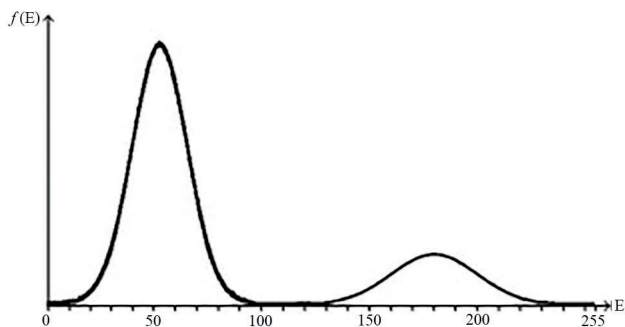


Рис. 10. Теоретична щільність розподілу, що відповідає гістограмі на рис. 3

Fig.10. Distribution of the theoretical density relevant to histogram shown on fig. 3

Рівняння (5) можна використовувати для виділення морської поверхні на космічному знімку. При цьому застосовують бімодальні нормальні закони розподілу (1) з математичними очікуваннями  $m_M$  та  $m_B$  і дисперсіями  $\sigma_M$  та  $\sigma_B$ . Вирішальне правило (5) набирає вигляду

$$h(X) = -\ln l(X) = \frac{1}{2} \frac{(X - m_M)^2}{\sigma_M^2} - \frac{1}{2} \frac{(X - m_B)^2}{\sigma_B^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{\sigma_M^2}{\sigma_B^2} < \ln \frac{P_M}{P_B} \rightarrow X \in \left\{ \omega_M, \omega_B \right\} \quad (6)$$

Визначення граничного значення вирішального правила (6) дає змогу сформувати маску для аналізованого зображення:

$$\text{mask}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_{ij} \leq h(x)) \\ 0, & \text{if } (x_{ij} > h(x)) \end{cases} \quad (7)$$

де  $x_{ij}$  — значення яскравості пікселя.

Виконавши операцію множення зображення на отриману маску

$$y_{ij} = \text{mask}_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (8)$$

можна виділити море на аналізованому знімку. Результат застосування маски (7) до знімка (див. рис. 8) показано на рис. 11.



Рис. 11. Результат побудови маски

Fig.11. Mask development result



Рис. 12. Загальний алгоритм створення векторних карт за даними ДЗЗ із супутників NOAA

Fig.12. General algorithm of vector maps development according to ERS data from NOAA satellites

Згадана маска може бути застосована до зображень, отриманих в інших спектральних діапазонах для виділення і подальшого аналізу морської поверхні.

Розроблено загальний алгоритм створення векторних карт за даними космічних знімків із супут-

ників NOAA (рис.12). Результатом обробки знімків є контур морської поверхні, контури виділені ділянок або градації змін яскравості всередині ділянок.

Зображення інформації про визначені ділянки у такому форматі дає змогу експортувати сформовані контури у ГІС-програми для накладення векторного шару на існуючі картографічні матеріали.

Таким чином, у результаті практичного використання запропонованих алгоритмів можна розробляти оперативні векторні карти поточних екологічних станів територіальних вод і морської зони України на Чорному морі. Завдяки поданню інформації у такому вигляді отримані картографічні шари експортують у ГІС-програми.

**Висновки.** Застосування технологічної схеми ДЗЗ, наведеної у статті на прикладі знімків із супутників NOAA поверхні Чорного моря, і тематична обробка отриманих на її основі даних суттєво підвищить ефективність завдань космічного моніторингу морських акваторій. З огляду на запропоновані алгоритми класифікації даних ДЗЗ щодо автоматизованого оконтурювання ділянок моря з аномальними показниками гідродинамічних, гідрооптичних і гідробіологічних характеристик, розробка оперативних векторних карт поточних екологічних станів прибережних територій і морських акваторій Чорного і Азовського морів дасть змогу автоматизувати процес підтримки прийняття рішень з питань управління екологічною безпекою, охороною й раціональним використанням природних ресурсів морів.

#### Список бібліографічних посилань

1. Боев А.Г., Карвицкий Г.Э., Матвеев А.Я., Цымбал В.Н. Оценка параметров нефтяной пленки на морской поверхности методом многочастотного радиолокационного зондирования. *Радиофизика и радиоастрономия*. 1998. Т. 3, № 1. С. 43 — 48.
2. Бондур В.Г. Комплексный космический мониторинг прибрежных акваторий. М.: Научный центр проблем аэрокосмического мониторинга “АЭРОКОСМОС”, 2005. С. 12.
3. Бондур В.Г. Проблемы аэрокосмического мониторинга океана. Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геохронологии [под ред. Ю.А. Израэля]. Москва: РАН, 2001. С. 87—94.
4. Военна доктрина України [http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443]
5. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В. та ін. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря. Київ: Інформаційні технології, 2010. 260 с.
6. Довгий С.О., Трофимчук О.М. Інформатизація космічного землезнавства. Київ: Наукова думка, 2002. 607 с.
7. Калинин В.М. Мониторинг природных сред: учеб. пособ. Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2007. 208 с.
8. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Лабутина И.А. и др. Применение многозональной аэрокосмической съемки в исследованиях береговой зоны. Береговая зона моря: сб. статей. Москва: Наука, 1981. С. 136—142.
9. Коротаев Г.К., Еремеев В.Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2006. 282 с.
10. Лебедев В.В., Куприянова Е.И., Харитонов В.А. Технология создания природоохранных геоинформационных систем. *Вестник Российской Академии наук*. 2006. Т. 76, № 2. С. 121—130.
11. Морська доктрина України на період до 2035 р. [http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-п]
12. Ощепков С.Л., Шляхова Л.А. Дистанционный контроль содержания взвешенных веществ в олиготрофных и эвтрофных водоемах по коэффициенту спектральной яркости. *Исследование Земли из космоса*. 1986. № 2. С. 77—83.
13. Пашенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків NOAA. Київ: ФОП Пономаренко Є.В., 2013. 316 с.
14. Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. Москва: Мысль, 1990. С. 592—594.
15. Стратегія національної безпеки України [http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/287/2015].
16. Федоровский А.Д., Боднар Е.Н. Системная концепция повышения эффективности космического гео-мониторинга для решения задач природопользования. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2008. № 4. С. 66—75.
17. Petrenko O.A. Impact of dredged grounds dumping on changes in composition of sea water taken from their main burial places. International simposium “The Black Sea ecological problems”. Odessa: SCSEIO, 2000. P. 208—211.
18. Sydor M. Analysis of suspended solids in lakes using Landsat multispectral data. *Remote Sensing Appl. Marine Sci. and Technol.* 1983. С. 137—167.
19. Sydor M. Remote sensing of particulate concentration in water. *Appl. Opt.* 1980. V. 19, N 16. P. 2774—2780.

Надійшла до редакції 14.03.2018 р



## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧЕРНОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ NOAA

*В.Н. Еремеев<sup>1</sup>, Г.Я. Красовский<sup>2</sup>, Т.С. Куковская<sup>1</sup>, В.В. Радчук<sup>3</sup>, И.В. Радчук<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Государственное научное учреждение “Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины” ул. Олесья Гончара, 55 б, Киев 01054, Украина, e-mail: t.kukovska@gmail.com*

<sup>2</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”, ул. Чкалова, 17, Харьков 61070, Украина, e-mail: g.krasovskiy@khai.edu*

<sup>3</sup> *Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г. Киев, бульвар Чоколовский, 13, Украина, e-mail: valentyn.radchuk@gmail.com*

Представлена информационная технология экологического мониторинга прибрежных вод Черного моря и пути ее практической реализации. Основой этой технологии является метод дистанционного зондирования Земли из космоса и обработки данных в среде геоинформационных систем. Указанную информационную технологию с использованием снимков со спутников NOAA предлагается применять для решения практических задач исследования как природных процессов, так и процессов, возникающих в результате антропогенных воздействий, а также для информационной поддержки задач управления экологической безопасностью и рациональным использованием природных ресурсов Черного моря.

**Ключевые слова:** ГИС-технология, экологический мониторинг, векторная карта, морская поверхность.

## GEOINFORMATION TECHNOLOGY OF THE BLACK SEA SPACE MONITORING USING NOAA SNAPSHOTS

*V.M. Yermeev<sup>1</sup>, G.Y. Krasovsky<sup>2</sup>, T.S. Kukovskaya<sup>1</sup>, V.V. Radchuk<sup>3</sup>, I.V. Radchuk<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Department of Marine Geology and Sedimentary Ore-Formation, NAS of Ukraine, 55-b Gonchara St., 01054, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *M.E. Zhukovsky National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, st. Chkalov, 17, Kharkiv 61070, Ukraine, e-mail: g.krasovskiy@khai.edu*

<sup>3</sup> *Institute of Telecommunications and Global Information Space NAS of Ukraine, 13, Chokolivskiy boulevard, Kyiv, 03186, Ukraine, e-mail: valentyn.radchuk@gmail.com*

**Purpose** The research aims to find the ways of improving of the Black Sea water area monitoring based on the remote sensing methods (the Earth Remote Sensing) and geoinformation systems (GIS).

**Design/methodology/approach** The article presents the findings of the study. In accordance with the research purpose the study has created and tested original methodology for processing remote sensing data received from NOAA satellites.

Thus, we have formed preliminary requirements to the images with respect to the current tasks. For example, in order to determine the process of water blooming, it is sufficient to use images of low spatial resolution in one or several spectral channels, and delineation of certain sections of the sea can be carried out according to the medium and high resolution data. The analysis of the internal marine erosion process requires medium and high spatial resolution data, but low spatial resolution data can be used to determine the location of this process. The study has shown that identification of the point pollution processes (such as river runoff) can be carried out by using low-resolution space imagery materials provided the territorial extent of the runoff “tongue” is more than 1 km. Moreover, the analysis of exact lineaments and internal distribution of chemicals should be carried out using medium and high resolution ERS data. **Findings** Space imagery materials potential having been identified, the study specified several areas of low resolution images application for the purpose of marine waters monitoring. These include identification and analysis of water blooming; identification of shore erosion processes; and identification and primary analysis of point marine pollution sources.

The Earth Remote Sensing data classification algorithm is based on brightness characteristics of the data obtained. Multichannel satellite images reveal brightness characteristics showing the inhomogeneity of the sea surface according to various characteristics – it can be water column chemical composition, density of micro particles, temperature differences, etc. At the first stage of such data processing, it is important to identify the differences in brightness characteristics in each survey channel. The general classification algorithm includes the main and auxiliary stages.

The above scheme of NOAA satellites images processing implementation is based on a constant analysis of real data, allowing us to determine the necessary and most effective methods of their processing. At this stage, the results of classification are reflected in color scale, where color change means change in the characteristics of the sea surface. In order to determine the exact classification groups, it is necessary to analyze the space survey data using the results

of ground-based measurements. It is essential for the development of the objects recognizing algorithm based on the ERS data.

The research considers the possibilities of the developed algorithm for the ERS data classification, using the example of NOAA satellites images of the Black Sea surface obtained in summer 2016.

Practical value/implications The above information technology using NOAA satellites images is proposed to address practical issues of studying both natural processes and the processes that arise as a result of anthropogenic influences. It also aims to facilitate the informational support of the tasks of the Black Sea environmental safety management and rational use of its natural resources.

**Keywords:** GIS technology, ecological monitoring, vector map, sea surface.

#### References:

1. Boev A.G., Karvickii G.EH., Matveev A.YA., Cymbal V.N. Ocenka parametrov neftyanoi plenki na morskoi poverhnosti metodom mnogochastotnogo radiolokacionnogo zondirovaniya. *Radiofizika i radioastronomiya*. 1998, T.3, no. 1, pp. 43–48.
2. Bondur V.G. Kompleksnyi kosmicheskii monitoring pribrezhnykh akvatorii. Moscow: Nauchnyi centr problem aehrokosmicheskogo monitoringa “AEHROKOSMOS”. 2005. 12 p.
3. Bondur V.G. Problemy aehrokosmicheskogo monitoringa okeana. Issledovaniya v oblasti okeanologii, fiziki atmosfery, geografii, ehkologii, vodnykh problem i geokriologii [pod red. YU.A. Izraehlya] Moscow: RAN. 2001, pp. 87–94.
4. Voyenna doktrina Ukrainy [http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443].
5. Dovgii S.O., Krasovskiy G.Ya., Radchuk V.V ta in. Suchasni informatsiini tekhnolohii ekolohichnoho monitorynhu Chornoho moria. Kyiv: Informatsiini tekhnolohii, 2010. 260 p.
6. Dovgii S.O., Trofymchuk O.M. Īnformatyzaciya kosmichnogo zemleznavstva. Kyiv: Naukova dumka, 2002. 607 p.
7. Kalinin V. M. Monitoring prirodnykh sred: uchebnoe posobie. Tyumen’: Tyumenskii universitet, 2007. 208 p.
8. Knizhnikov YU.F., Kravcova V.I., Labutina I.A. i dr. Primenenie mnogozonal’noi aehrokosmicheskoi s’emki v issledovaniyah beregovoi zony. Beregovaya zona morya. Sbornik statei. Moscow: Nauka, 1981, pp. 136–142.
9. Korotaev G.K., Ereemeev V.N. Vvedenie v operativnuyu okeanografiyu Chernogo moray. Sevastopol’: NPC “EHKOSI–Gidrofizika”, 2006. 282 p.
10. Lebedev V.V. Kupriyanova E.I., Haritonov V.A. Tekhnologiya sozdaniya prirodoohrannykh geoinformatsionnykh system. *Vestnik Rossiiskoi Akademii nauk*. 2006, T. 76, no. 2, pp. 121–130.
11. Mors’ka doktrina Ukrainy na period do 2035 g. [ http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-п].
12. Oshchepkov S.L., Shlyahova L.A. Distantsionnyi kontrol’ sodержaniya vzveshennykh veshchestv v oligotrofnnykh i ehvtrofnnykh vodoemah po koehfficientu spektral’noi yarkosti. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 1986. no. 2, pp. 77–83.
13. Pashchenko S.E., Radchuk V.V., Krasovskiy G.Ya ta in. Monitoryng navkolyshniogo seredovyshcha z vykorystanniam kosmichnykh znmkiv NOAA. Kyiv: FOP Ponomarenko E.V., 2013. 316 p.
14. Reimers N. F. Prirodopol’zovanie: Slovar’-spravochnik. Moscow: Mysl’, 1990, pp. 592–594.
15. Strategiya nacional’noyi bezpeky Ukrainy. [http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/287/2015].
16. Fedorovskii A.D., Bodnar E.N. Sistemnaya koncepciya povysheniya ehffektivnosti kosmicheskogo geomonitoringa dlya resheniya zadach prirodopol’zovaniya. *Sistemni doslidzhennya ta informatsiini tekhnologii*. 2008. no. 4, pp. 66–75.
17. Petrenko O.A. Impact of dredged grounds dumping on changes in composition of sea water taken from their main burial places. International simposium “The Black Sea ecological problems”. Odessa: SCSEIO, 2000, pp. 208–211.
18. Sydor M. Analysis of suspended solids in lakes using Landsat multispectral data. *Remote Sensing Appl. Marine Sci. and Technol.* 1983, pp. 137–167.
19. Sydor M. Remote sensing of particulate concentration in water. *Appl. Opt.* 1980. V.19, no. 16, pp. 2774–2780.

Received 14/03/2018