

УДК. 551.46.581.19

Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань

**В. І. Лялько¹, О. Д. Федоровський¹, Л. Я. Сіренко²,
О. Д. Рябоконенко¹, Ю. В. Костюченко¹, В. Г. Якимчук¹**

¹ Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

² Інститут гідробіології НАН України, Київ

Надійшла до редакції 28.01.97

Виконано огляд прикладів практичного використання космічної інформації при розв'язанні різних водогосподарських і водоохоронних завдань. Проаналізовані спектральні інформативні ознаки для дистанційної оцінки стану водного середовища. На прикладі водних об'єктів України запропоновані основні принципи дешифрування космічних знімків.

Для вирішення актуальних завдань раціонального екологічно обґрунтованого водокористування необхідно застосовувати сучасні засоби отримання оперативної інформації про стан водних систем країни. Систематичне одержання такої інформації традиційними методами вимагає значних витрат, а іноді взагалі неможливе. Досвід експлуатації природресурсних штучних супутників Землі свідчить про перспективність та ефективність застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Підтвердженням цього є Державна космічна програма України та запуск супутника «Січ-1».

Сучасний рівень розвитку аерокосмічних засобів ДЗЗ дозволяє отримати дані не лише про фотометричні параметри водних об'єктів в широкому спектральному діапазоні з необхідним просторовим розділенням і періодичністю поновлення інформації, але й оцінювати низку їх санітарно-біологічних характеристик. Водна поверхня при цьому є природним джерелом інформації для визначення як стану водойми в цілому, так і виявлення ряду процесів, що відбуваються у товщі води. Важається, що найкращих результатів можна досягти при комплексному, синхронному використанні кос-

мічних та наземних досліджень, коли дані наземних вимірювань екстраполюються на картосхеми, одержані на основі космічних знімків. Ця інформація є основою побудови алгоритмів цифрової обробки і дешифрування космічних знімків.

В успішному здійсненні робіт першочергове значення має з'ясування тематичних завдань водокористування, що мають практичну цінність для потенційного користувача, і які можуть бути розв'язані за допомогою космічної інформації. На основі досвіду практичних робіт, накопиченого в цій галузі, сформулюємо деякі з цих завдань: інвентаризація і контроль гідрографічної й гідротехнічної мережі заплави річок в районах урбанізації; дослідження процесів ерозії та абразії берегів; визначення локалізації зон обміління, русел річок, заболочування гирла та заплави; оцінка еколого-санітарного стану водного середовища та якості води; виявлення місць поступання стічних вод (точкових та дифузивних джерел забруднення) і контроль динаміки розповсюдження зависі по акваторії; визначення зон «цвітіння» та теплового забруднення водойм; контроль зон підтоплення та затоплення під час повені; визначення змін берего-

вої лінії та коливань рівня заповнення водоймищ; оцінка стану прибережних смуг, нерестилищ та продуктивності водойм тощо (Лялько, Федоровский, 1996).

Гідрографічна мережа заплави р. Дніпро (озера, стариці, протоки) відіграють важливу роль не тільки в формуванні ландшафту міста, утворенні зон рекреації для його населення, але й в забезпеченні функціонування гідротехнічної мережі регіону. Будівництво мостів, тунелів метро, комунікацій, доріг, намиви піску та інші великомасштабні роботи в поєднанні з неорганізованим рекреаційним навантаженням є причиною не лише ускладнення екологічної і санітарно-біологічної ситуації в місті, але й збільшення випадків підтоплення територій або їх осушення, а також інших несприятливих наслідків порушення гідрографічної мережі регіону. Відсутність необхідної інформації і належного моніторингу за водними об'єктами даного типу не дозволяє упорядкувати їх використання і розробити екологічно безпечні нормативи їх змін. В розв'язанні цього завдання чималу допомогу може надати застосування космічних методів ДЗЗ. Вивчення і обробка космічних знімків, в сукупності з проведеним цілеспрямованім контролем наземних вимірювань і оцінок екологічного стану водних об'єктів відображає ретроспективу процесів, що відбуваються, й може дати не тільки динаміку змін, але й дозволить оцінити сучасний екологічний стан водних об'єктів.

Морфологічні та морфометричні характеристики водойм знаходять найбільш чітке відображення на космічних знімках в спектральній області $\lambda\lambda$ 0.7—1.1 мкм. До них відносяться форма та площа акваторії, наявність островів, великих акумулятивних утворень. Заключним етапом використання космічної інформації є складання відповідних тематичних картосхем та цифрових комп'ютеризованих зображень регіону, який досліджується, розробка рекомендацій щодо оздоровлення ситуації та екологічно безпечного використання водних об'єктів. Порівняльний аналіз даних, одержаних за різні роки, дозволяє оцінити динаміку процесів підтоплення та осушення, виявити негативні зміни, що виникли під впливом антропогенних дій і розробити шляхи їх профілактики та усунення. Наприклад, зіставлення космічного знімку (рис. 1, ШСЗ SPOT, 07.06.1995 р.), що відображає гідрографічну ситуацію заплавної ділянки р. Дніпро в зоні Києва, з картою 1912 р. свідчить про те, що за цей час в заплаві зникло багато озер, стариць, змінились контури островів, відбулось відриття русла р. Десни на окремих її ділянках, але, найголовніше, порушився зв'язок заплави Дніпра з

руслом основної річки. Незважаючи на те, що будівництво водосховищ за рахунок акумуляції весняного стоку зробило Дніпро більш повноводним, здійснено серйозний крок до ліквідації заплави — природних «легень» і зони самоочищення річки, тобто до погіршення її санітарно-біологічного стану.

Інформація про концентрацію і просторовий розподіл забруднень у водному середовищі становить значний інтерес для служб водоохорони, водокористування та експлуатації водосховищ. Контроль транспортування зависей, крім санітарно-біологічного значення, важливий також при вивчені динаміки процесів переробки берегів, переформування мілин і зон акумуляції зависей. Аналіз ряду публікацій (Кондратьев и др., 1988, 1996; Вукато et. al., 1981; Lathorp et. al., 1991) свідчить про те, що для одержання такої інформації можна успішно використовувати багатозональні космічні знімки в оптичному діапазоні спектра.

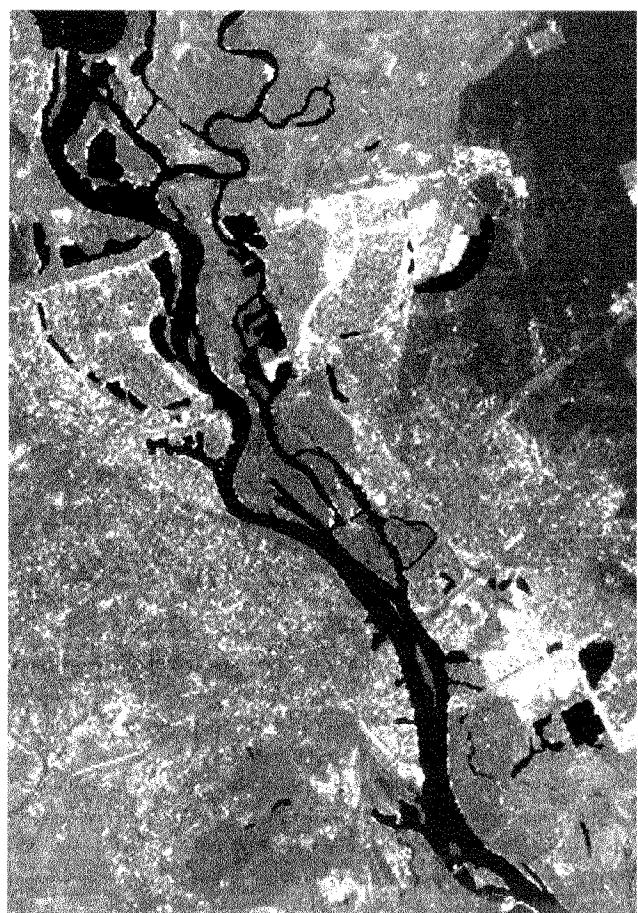


Рис. 1. Гідрографічна сітка заплавної ділянки р. Дніпро у зоні Києва

До числа основних джерел забруднень водного середовища відносять викиди очисних споруд промислових і комунально-побутових підприємств, сільськогосподарські і дренажні стоки, судноплавство, гідротехнічні роботи (будівництво в прибережній зоні, намив ґрунту, поглиблення дна) та ін. Водна завись за особливостями фізичного впливу на світловий потік розподіляється на розсіючу неорганічну завись (пісок, мінеральні частинки, детрит клітини безхлорофільних організмів) і поглиначу завись — фітопланктон і розчинна органічна речовина. Масштаби забруднень, їх вплив на екологічний стан водойм значною мірою залежать від гідродинамічних та гідрологічних характеристик водних об'єктів, що обумовлюють особливості процесів міграції та трансформації зависів різного типу.

Класифікація зон забруднень на космічних знімках виконується оператором-дешіфрувальником за спектральною яскравістю і просторово-текстурними ознаками з комплексним використанням візуально-інструментальних і цифрових методів обробки інформації.

Для встановлення кореляційних зв'язків між спектральною яскравістю забрудненої водної поверхні, дистанційно заміряною в різних діапазонах спектра, і параметрами водного середовища, одержаними на контрольних станціях, використовують методи регресивного аналізу. Відомо, що коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ) водних мас, в яких присутня неорганічна завись, плавно змінюється в спектральному інтервалі $\lambda \lambda 500-700$ нм. Проте в цьому інтервалі КСЯ залежить як від концентрації фітопланкtonу, так і від неорганічної зависі, тоді як в інтервалі $\lambda \lambda 600-700$ нм переважає вплив неорганічної зависі (Кондратьев, Шумаков, 1990). В каламутній воді з крупнодисперсною зависію (0.05—0.15 мм і більше) максимум відбиття припадає на довжини хвиль більші ніж 700 нм, в той час, як від дрібнодисперсної зависі (0.0015—0.015 мм) відбиття рівномірне в усіх спектральних каналах оптичної апаратури. Найефективніше для виявлення чистої води використовувати спектральний діапазон 500—600 нм, в якому існує лінійна регресивна залежність між оптичною щільністю зображення і відносною прозорістю води. Дослідження результатів дешіфрування космічних знімків, одержаних з використанням різних комбінацій спектральних каналів, дозволили зробити висновок про те, що для дистанційного вивчення стану водного середовища з підвищеною каламутністю найбільш інформативним є спектральний канал 636—670 нм (Феоктистов и др., 1994).

Спроби отримання простих алгоритмів для моні-

торингу забруднення континентальних водойм були здійснені багатьма авторами (Кондратьев, Поздняков, 1985; Красовский и др., 1989; Камов, 1992). В роботі Bukato et al. (1995) проаналізовано вплив оптично активних компонент на вторинні гідрооптичні характеристики водного середовища, а саме на коефіцієнт дифузного відбиття. Показано, що одним із шляхів побудови алгоритмів визначення концентрації компонентів для акваторій внутрішніх водойм і морської прибережної зони є процедура багатовимірної оптимізації по Левенбергу—Марквардту. На третій тематичній конференції по застосуванню дистанційного зондування (вересень, 1995, Сієтл, США) в доповіді К. Я. Кондратьєва та ін., присвяченій проблемі оцінки відомих до цього часу алгоритмів, було показано, що використання для визначення концентрації компонентів регресивних рівнянь недостатньо ефективне. Ефективнішим є підхід з застосуванням функцій оцінки максимальної правдоподібності для визначення просторово-опосереднених значень концентрації дослідженних компонент, в тому числі зависей.

Таким чином, аналіз опублікованих результатів досліджень залежності між параметрами водного середовища, яке містить завислу речовину в різних концентраціях і її спектральними характеристиками відбиття показали, що, хоч і існує між ними кореляційний зв'язок, ця залежність сильно змінюється від одного водного об'єкта до іншого. В зв'язку з цим одержані на одній водоймі результати можуть бути екстрапольовані на інші водойми тільки після відповідної перевірки і доробки. Це ще раз підтверджує, що використання статистичної регресивної моделі повинно базуватись на даних контрольних наземних вимірювань низки обов'язкових параметрів.

Винятковий інтерес має космічна інформація щодо динаміки розвитку процесів акумуляції матеріалу переробки берегів і річкового стоку, заростання й заболочення гирлових зон, переформування дельт великих річок і утворення мілин. Самостійного значення набули спостереження за формуванням берегової смуги водосховищ. З часу їх утворення почалися зміни берегової смуги внаслідок хвильових процесів, що призвело до збільшення ширини мілководдя. За цією ознакою в ряді випадків можна простежити процес абразії на космічних знімках, роздільча здатність яких недостатня для реєстрації змін берегової лінії. При цьому в кожному конкретному випадку необхідно враховувати геологічні умови в береговій зоні. На космічних знімках ділянки водойм, де інтенсивно акумулюються донні відкладення, можуть бути ідентифіковані в спектральному діапазоні $\lambda \lambda 600-$



Рис. 2. Зони забруднення, заростання та зміління в Каховському водосховищі

700 нм за стійкими аномаліями концентрацій стокового матеріалу у вигляді зависей. В більшій мірі замулення зазнають затоки, а також ділянки, що прилягають до гирла річок, які впадають в водосховища. В прозорій і неглибокій прибережній воді в короткохвильовому діапазоні спектра можна одержати інформацію про будову дна і дослідити його рельєф (ділянки мілковод'я і мілин).

На рис. 2 наведено зображення верхньої частини Каховського водосховища, синтезоване із трьох космічних знімків, одержаних в трьох спектральних каналах ($\lambda\lambda$ 520—600, 600—690, 760—900 нм) апаратури TM супутника «Landsat», після проведеної нами класифікації за допомогою програми ERDAS IMAGINE в режимі контролюваного навчання. Внаслідок навчання програма автоматично вибирає найбільш відповідний умовам завдання, критерій, з тих, що реалізовані в ERDAS IMAGINE. Використання системи ERDAS IMAGINE у відповідності з класифікацією щільністі тону зображення по градаціях яскравості і подання результатів у вигляді кольорокодованого зображення в широкій кольоровій гамі, яка виділяє характерні особливості розподілу забруднень, дозволяє наочно відобразити екологічну ситуацію в водоймі. При класифікації зображення за допомогою вирішального правила піксели розбиваються у

відповідності з рівнем забруднення на класи, що відрізняються за градаціями яскравості, яким для зручності присвоюються різні кольори.

Одним із потужних джерел забруднень, що надходять у верхню частину Каховського водосховища, є річка Конка і очисні споруди міста Запоріжжя. Розповсюдження забруднень істотно впливає на гідрологічний і санітарно-біологічний стан в цій частині водосховища. На знімку видно, що центральна частина верхньої ділянки водосховища і гирло річки Конки помітно відрізняються характеристиками спектральної яскравості від інших зон водосховища. Стічні води, збагачені біогенними речовинами й органічними сполуками, обумовлюють бурхливий розвиток синьозелених водоростей й сприяють росту вищих водяних рослин. На знімку чітко ідентифікуються зони заростей водної рослинності та донні відкладення в центральній частині водосховища й гирлі річки Конки. Острови, мілководдя й мілини, на цій ділянці водосховища дешифруються в спектральній області $\lambda\lambda$ 520—600 нм.

Аналіз знімка показує, що змішування сигналів відбитого випромінювання одного спектрального діапазону від різних об'єктів, ускладнює їх ідентифікацію. Це завдання може бути розв'язане при

повторних послідовних космічних зйомках, коли завись, в тому числі й фітопланктон, змінює свій просторовий розподіл, в той час як зображення мілковод'я, відмілин і заростей вищої водяної рослинності на повторних знімках мають стійкі контури. Місцеположення й просторова локалізація постійного забруднення визначаються шляхом синтезу дистанційних знімків однакового спектрального діапазону, рознесених за часом зйомки і приведених заздалегідь по геометрії і енергетиці в єдине зображення по кольорових каналах. При цьому кожний знімок подається градаціями обраного будього кольору. Наприклад, кожний з трьох знімків, які досліджуються, подані градаціями червоно-го, зеленого і синього кольорів відповідно. Тоді з них можна синтезувати зображення в стандартній системі подання кольорів (R, G, B). Очевидно, що на одержаному таким чином синтезованому RGB-зображення, в місцях, де щільність фототону на трьох вихідних знімках була однакова (або близька), колір буде наблизятися до градації сірого. Для вияву таких стійких за часом забруднень до всіх точок синтезованого зображення застосовується операція визначення «насиченості кольору» (величина відношення різниці максимуму і мінімуму щільності фототону компонентів кольору RGB до максимальної з них). Ділянкам стійких у часі забруднень будуть відповідати близькі до нуля значення «насиченості кольору».

Теплове забруднення водного середовища вище допустимих нормативних показників істотно погіршує екологічний стан водних об'єктів і якість води. Водосховища дніпровського каскаду мають значну площину мілководних ділянок (до 40 % від їх загальної площини), вода в яких добре прогрівається сонцем і, розповсюджуючись в поверхневих шарах, утворює стійкий термоклін на великих площах водойми. Термоклін гальмує водообмін між аерованим верхнім шаром і глибинними горизонтами, які споживають кисень на окислення органічних сполук. В результаті цього в зоні теплового забруднення виникає гострий дефіцит кисню й пов'язані з цим небезпечні екологічні наслідки. Такі літні дефіцити кисню зареєстровані на більшості великих водойм України. Друга проблема, яка виникає в результаті теплового забруднення це втрати прісної води за рахунок її випаровування. Для контролю цих явищ має практичний сенс використання космічної інформації, отриманої в довгохвильовому ІЧ-діапазоні спектра, в якому водна поверхня поглинає всю енергію падаючого потоку випромінювання й випромінює її в залежності від власної температури. Це використовується в дистанційних методах для визначення радіаційної температури

водної поверхні. Сучасні сканери зі спектральними каналами в діапазоні $\lambda\lambda$ 8–14 мкм реєструють перепад температур від 0.1 К, а абсолютні вимірювання температури при цьому мають точність порядку 1 К.

Виявлення зон теплового забруднення, пов'язаних з місцями постійного виходу стічних вод, або стійких теплових аномалій в зоні чорноморського шельфу, зумовлених річковим стоком, переміщенням прибережної води і апвелінгом, здійснюється на основі вище викладеної методики дешифрування матеріалів космічної зйомки в ІЧ-діапазоні і комплексної інтерпретації одержаних результатів. На рис. 3 наведено космічний знімок («Landsat», TM, 6-й спектральний канал) ділянки Каховського водосховища в районі м. Енергодар, отриманий у спектральному діапазоні $\lambda\lambda$ 8–12 мкм після класифікації за градаціями енергетичної яскравості й значеннями радіаційної температури. В зв'язку з цим білий колір відповідає найбільшим значенням поверхневої температури, чорний — найменшим. На знімку впевнено дешифруються зони інтенсивного теплового забруднення в правобережній частині водосховища, а також чітко видно на лівому березі точкове джерело теплового забруднення в районі каналізованого скиду відпрацьованої теплої води. Також можна розрізнати неоднорідний розподіл температури на поверхні водойми-охолоджувача Запорізької АЕС.

На рис. 4 наведено тепловий космічний знімок (діапазон $\lambda\lambda$ 8–12 мкм), водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС, одержаний за допомогою апаратури TM супутника «Landsat» 29.05.1988 р. Було проведено класифікацію зображень за градаціями енергетичної яскравості, пропорційної радіаційній температурі водної поверхні. На знімках відтворюється властивий водоймам-охолоджувачам просторовий розподіл температур. По мірі руху води від каналізованого скиду енергетичного об'єкта до водозабору температура циркулюючої води за рахунок природного охолодження поступово знижується і зображення водної поверхні на знімку набуває все більш холодних відтінків. Найнижча температура води спостерігається в районі водозабору. Наведений знімок в достатній мірі дозволяє оцінити ефективність роботи водойми-охолоджувача та енергетичну потужність АЕС. Окрім того, на знімках можна помітити, що на прилеглій до водойми ділянці р. Прип'ять температура води вища, ніж на інших ділянках. Це свідчить про наявність фільтраційних процесів в захисній дамбі, в результаті яких тепла вода просочується з водойми-охолоджувача в р. Прип'ять. Виявлення фільтраційних процесів становить особливий інтерес з точки



Рис. 3. Розподіл температури по поверхні Каховського водосховища

зору радіаційного контролю, оскільки вода із спеціалізованої водойми-охолоджувача АЕС може переносити у відкриті водні об'єкти водорозчинні радіонукліди, розповсюджуючи тим самим забруднення по дніпровському каскаду.

Ефективність використання космічної інформації при контролі теплових забруднень і аномалій полягає в тому, що просторовий розподіл температур фіксується одночасно на площі в десятки і сотні квадратних кілометрів. Це дозволяє уникнути таких ефектів, як нестационарність метеоумов, зміни теплового навантаження, режимів проточності та інших спотворень.

При проведенні районування акваторій і класифікації водойм, оцінки їх біопродуктивності та якості води використовують показник трофності. Головним критерієм рівня трофності вважають як розвиток фітопланктону, так і умови, що його визначають. «Цвітіння» води — це складне біологічне явище, що виникає як наслідок екологічних порушень у функціонуванні водних екосистем. У водосховищах Дніпра «цивітіння» води може обумовлюватись масовим розвитком зелених, діатомових, синьозелених, а в останні роки на окремих ділянках і дінофітових водоростей. Найпоширеніше і відоме, внаслідок виникнення негативних наслідків, «цивітіння» води синьозеленими водоростями.

Завдяки наявності в їх клітинах газових вакуолей синьозелені водорості концентруються в поверхневих горизонтах води, утворюючи плями «цивітіння» специфічного синюватого забарвлення, що поширяються на велике ділянки акваторій (до декількох квадратних кілометрів) з концентрацією фітопланктону, а точніше сестону (включає не лише водорості, але й бактерії, частинки мертвої органічної речовини — детриту) від одиниць до десятків кілограмів на кубометр. Конфігурація плям «цивітіння» досить різноманітна — від ниткоподібно-смугастих до круглих та спіралевидних структур, що формуються під впливом поверхневих стокових і вітрових переміщень води (Сиренко и др., 1989). Інформаційні ознаки фітопланктону дозволяють виділити зони його розповсюдження на фоні таких маскуючих факторів, як неорганічні зависі, мілководдя й мілини. Картографування водної поверхні по інтенсивності «цивітіння» зводиться до оконтурювання зон, у відповідності з градаціями яскравості зображень, шляхом попередньої побудови для кожного конкретного космічного знімку шкали градації яскравості, що відповідає ступеням «цивітіння» води у водоймі. При дешифруванні зон локалізації фітопланктону на фоні зважених у воді частинок неорганічного походження треба пам'ятати той факт, що яскравість сигналу в діапазоні

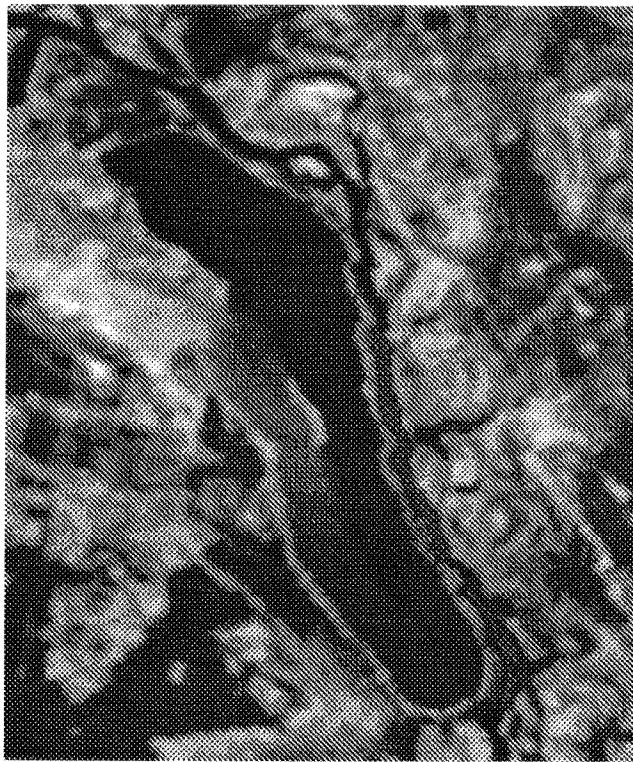


Рис. 4. Розподіл температури по поверхні водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС

$\lambda\lambda$ 500—600 нм визначається як вмістом у воді фітопланктону, так і неорганічних зависей, а в діапазоні $\lambda\lambda$ 600—700 нм, в основному, неорганічних зависей. Проведені дослідження (Кондратьев, Поздняков, 1985) свідчать про те, що при дистанційному визначенні хлорофілу в оліготрофних водоймах найінформативнішим є діапазон $\lambda\lambda$ 430—450 нм. Підвищена кількість фітопланктону в поверхневих шарах водойм приводить до збільшення відбиття по всіх каналах, в т. ч. і в більшій інфрачервоній зоні спектра ($\lambda\lambda$ 700—800 і 800—1100 нм), з максимумом в синьозеленій зоні — 500 нм. Результати лабораторних досліджень (Голоудин, 1995) свідчать про те, що для чистої культури фітопланктону максимум відбитого сигналу припадає на довжини хвиль $\lambda\lambda$ 550 нм і 700—750 нм, а мінімум — на 665 нм, що відповідає максимуму поглинання. Встановлена наявність зв'язку між концентрацією хлорофілу і КСЯ в ІЧ-діапазоні спектра ($\lambda\lambda$ 700—800 нм), що може бути апроксимований експоненціальною залежніс-

тю. В спектральному діапазоні $\lambda\lambda$ 800—1100 нм при концентраціях хлорофілу понад 100 мкг/л має місце лінійна залежність з коефіцієнтом кореляції 0.97.

При концентраціях хлорофілу 1—20 мкг/л доцільно використовувати алгоритми, що ґрунтуються на відношенні спектральних яскравостей L_{520}/L_{670} і L_{443}/L_{670} . Аналіз даних спостережень свідчить про те, що для визначення концентрації хлорофілу, характерних для озерної води, найбільш інформативне співвідношення L_{520}/L_{670} (Bikata et al., 1981). На основі спектральних характеристик поглинання світла хлорофілом планктону, зокрема сильного поглинання в діапазоні $\lambda\lambda$ 440 нм та слабкого при 550 нм, зроблено висновок про те, що відношення КСЯ₄₄₀/КСЯ₅₅₀ і L_{440}/L_{550} дуже чутливі до змін концентрації фітопланктону.

Як і у випадку виявлення джерел забруднення водойм зваженими речовинами, для верифікації результатів визначення просторового розподілу фітопланктону необхідно провадити синхронні наземні вимірювання на спеціально виділених тестових ділянках, а саме визначати концентрацію фітопланктону в місцях з раніше відомими координатами.

Розглянемо результати космічних спостережень зон «цвітіння» води на акваторії Київського водосховища у 1995 р.

На рис. 5 наведено зображення водосховища, яке було одержане як відношення спектральних яскравостей двох каналів космічного знімка, отриманого з супутника SPOT від 23.08.1995 р. в спектральних діапазонах $L_{500-600}/L_{600-700}$ відповідно. Розглядаючи зображення водної поверхні, можна помітити наявність значної плямистості в нижній частині водосховища. Чітко видно, як під впливом вітрових та стокових переміщень води формуються плями «цвітіння» і нагонні маси скучень фітопланктону з його підвищеними концентраціями. Для визначення останніх одночасно з космічними вимірюваннями проводились наземні спостереження з борту науково-дослідного судна Інституту гідробіології НАН України «Академік Вернадський». Відхилення між відповідними відносними значеннями не перевищували 20—50 %. Прокалібрувавши значення сигналу у відповідних точках цифрового космічного зображення за результатами натурних спостережень і побудувавши шкалу градацій яскравості космічного зображення, можна створити картосхему просторового розподілу концентрації фітопланктону по водосховищу. Одержані таким чином інформація дозволяє визначити не лише локалізацію на акваторії, але й переважний напрям дрейфу плям «цвітіння» води для своєчасної організації

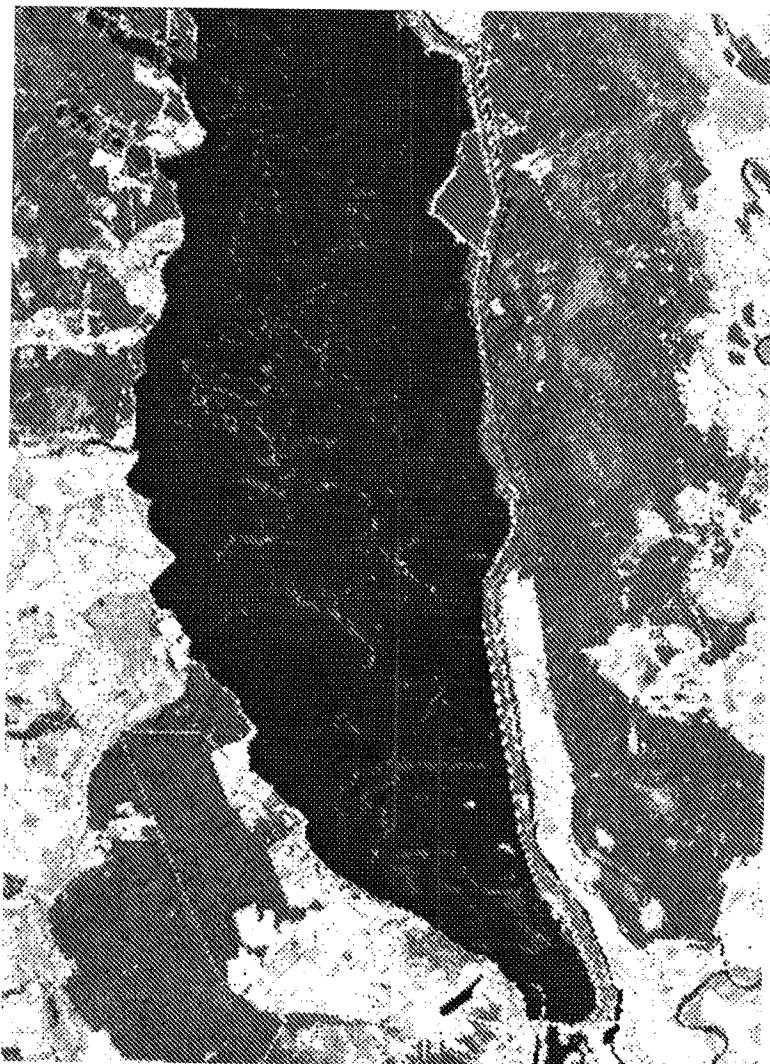


Рис. 5. Розподіл зон «цвітіння» води по акваторії Київського водосховища

водоохоронних заходів в районах піттєвих та технічних водозaborів, зон рекреації, рибоводних садків, насосних станцій.

Погіршення якості води в період повеней зумовлено як руйнуванням берегової смуги, затопленням цвінттарів і скотомогильників, так і колосальним змивом з території, які затоплюються, біогенних елементів, хімічних, біологічних і радіоактивних забруднень, скаламученням і перерозподілом мулових донних відкладень. Інтенсивність і швидкість міграції радіонуклідів значно підвищується як внаслідок їх змиву поверхневими водами, так і при проникненні їх в ґрутові води. Особливо сприяють інтенсивності цих процесів весняні повені. Свіжим прикладом погіршення екологічної ситуації на Дніпрі може бути затоплення забрудненої радіонуклідами заплави 30-км зони Чорнобильської АЕС

внаслідок злив в басейні р. Прип'ять в липні 1993 р. Підсилення притоку прип'ятської води, хвиля якої пройшла по всьому каскаду, порушило режим роботи водозaborів міст і населених пунктів. Домінування прип'ятської води сприяло збільшенню в 2—3 рази вмісту гумінових речовин, заліза, змінило величину pH, концентрацію органічної речовини, сполук фенолу, підвищило вміст радіонуклідів. Хвиля забрудненої радіонуклідами прип'ятської води вже в серпні—вересні 1993 р. була зареєстрована біля Канівської ГЕС і просувалась вниз по каскаду. Тривожна ситуація із затопленням забруднених радіонуклідами територій в басейні р. Прип'ять виникала і взимку 1994—1995 рр. внаслідок нагромадження льоду в гирлі річки і підвищення рівня води. Моніторинг розвитку подій, своєчасне попередження про загрозу і

прогноз розвитку повені можуть бути одержані лише на підставі регулярного контролю небезпечних ділянок річок при їх дистанційному зондуванні. В зв'язку з цим особливу актуальність набувають роботи з розробки методів контролю за розвитком повені і максимального зниження її негативних наслідків. Наші дослідження свідчать про те, що перспективним методом такого аналізу є порівняльний аналіз оптичних і радіолокаційних космознімків, виконаних в різні періоди часу. Навесні 1996 р. в ЦАКДЗ ІГН НАНУ було виконано такий порівняльний аналіз розвитку весняної повені 1996 р. з аналогічними періодами 1984, 1986, 1994 рр. і періодом межені 1995 р. Для цього використовувались матеріали мультиспектральних космічних знімків SPOT, «Landsat» і радіолокаційного знімка ERS. Роботи виконувались за допомогою програмного пакета ERDAS IMAGINE. В результаті проведення класифікації зображення було виділено водну поверхню як окремий клас, а потім і шар. Далі шляхом накладання зображення водної поверхні (як шару) за даними знімка ERS на зображення знімків SPOT і «Landsat» проведено порівняння площ затоплення в межиріччі Прип'яті та Дніпра під час весняної повені 1996 р. з даними попередніх років. Було встановлено, що межі повені 1996 р. на час зйомки менші, ніж за аналогічний період 1986 р., значно менші, ніж в 1994 р., схожі з повінню 1984 р. і лише дещо перевищують межі водної поверхні під час межені 1995 р. В зв'язку з тим, що в зимово-весняний період (лютий—квітень) значна територія України вкрита суцільною хмарністю, для контролю за повінню є ефективним використання радарних знімків.

Комплекс виконаних робіт свідчить про те, що заростаюча водними рослинами частина мілководних ділянок (літораль) водосховищ відноситься до важливих інформаційних зон водних екотонів. До числа останніх належать також і прибережні зони на межі поділу беріг—водойма, гирла річок (річка—водосховище, річка—море). Ці зони, з одного боку, є найбільш критичними ділянками водних об'єктів з точки зору можливості погіршення екологічної і санітарно-епідеміологічної ситуації в регіоні їх знаходження. З іншого боку, вони є найбільш інформативними ділянками, контроль за станом яких дозволяє не тільки оцінювати екологічну ситуацію, а й прогнозувати її розвиток. Найбільш складні екотони виникають в зоні контакту двох середовищ при утворенні могутніх заростей водних рослин (повітряно-водних, занурених і з плаваючим листям). У зв'язку з цим значний інтерес викликає використання космічних знімків водних

об'єктів, які дозволяють оперативно одержувати інформацію про зміни морфометрії, гідрологічного режиму, видового і просторового розподілу водяної рослинності, оцінювати якість води в регіоні, стан нерестилищ і виділяти найпродуктивніші ділянки водойм на великих площах акваторії.

Розроблені в ЦАКДЗ ІГН НАНУ методика і програма VRLK для ЕОМ були апробовані на прикладі класифікації космічних знімків ділянок водяної рослинності і визначення якості води в гирловій зоні р. Прип'ять (Федоровський и др., 1996). Як показали проведені дослідження, програма VRLK може бути застосована для оцінки екологічного стану екотонів типу «річка—водосховище», «берег—водойма» по інформації, одержаній за допомогою космічних знімків і наступної екстраполяції наземних спостережень. Такий підхід при використанні інтегральних інформативних показників водяної рослинності відкриває нові можливості для виявлення загальних тенденцій змін, які відбуваються в водних екосистемах, і може скласти основу комплексного їх моніторингу на якісно новому рівні.

Необхідно мати на увазі, що будь-які водойми — динамічні системи, тому параметри водної поверхні, що вимірюються з космосу, мають значну амплітуду коливань в часі та просторі навіть в межах однієї водойми. Внаслідок цього ще не існує універсального алгоритму, який би визначав екологічний стан водойми тільки за результатами ДЗЗ. Для більшої вірогідності космічні зйомки обов'язково повинні періодично доповнюватись наземними калібрувальними вимірюваннями на стаціонарних тест-ділянках. Це значно підвищує надійність як якісної, так і кількісної інформації про стан водних екосистем.

- Голоудин Р. И. Дистанционные методы эколого-гидрографического изучения и картографирования акватории // Исслед. Земли из космоса.—1995.—№ 3.—С. 115—122.
- Камов И. Ю. Адаптивные алгоритмы оценивания содержания хлорофилла-а фитопланктона по данным дистанционного зондирования мезотрофных и евтрофных водных объектов // Исслед. Земли из космоса.—1992.—№ 1.—С. 46—50.
- Кондратьев К. Я., Поздняков Д. В. Дистанционные методы слежения за качеством природных вод. — Л.: Наука, 1985.—62 с.
- Кондратьев К. Я., Брук В. В., Дружинин Г. В. и др. Возможности использования космической информации для изучения процессов загрязнения и евтрофирования озерных систем // Исслед. Земли из космоса.—1988.—№ 4.—С. 49—57.
- Кондратьев К. Я., Шумаков Ф. Т. Дистанционный мониторинг евтрофирования водоемов // Водные ресурсы.—1990.—№ 5.—С. 152—158.
- Кондратьев К. Я. Развитие космического дистанционного зондирования в США: итоги разработок за 1994-й финансовый год // Исслед. Земли из космоса.—1996.—№ 2.—С. 118—123.

- Кондратьев К. Я., Поздняков Д. В. Новое в дистанционном зондировании окружающей среды // Исслед. Земли из космоса.—1996.—№ 1.—С. 107—121.
- Красовский Г. Я., Бузников А. А., Веденшин Л. А. Картографирование пятнистости озер и водохранилищ по материалам космических съемок в целях информационного обеспечения принятия водоохранных решений // Исслед. Земли из космоса.—1989.—№ 4.—С. 53—58.
- Лялько В. И., Федоровский А. Д. Центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины: перспективы и достижения // Геолог. журн.—1996.—№ 1—2.—С. 67—72.
- Сиренко Л. А., Кореликова И. Л., Михайленко Л. Е. и др. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1989.—231 с.
- Федоровский А. Д., Сиренко Л. А., Звенигородский Э. Л. и др. Оценка экологического состояния водоемов с использованием космической информации // Космична наука і технологія.—1996.—2, № 5—6.—С. 1—4.
- Феоктистов А. А., Молчанова А. Ф., Злобин Е. А. и др. Дистанционное зондирование акватории и береговой зоны Иваньковского водохранилища // Исслед. Земли из космоса.—1994.—№ 4.—С. 93—94.
- Bukata R. P., Jerome J. H., Bruton J. E. et al. Water quality model of like Ontario. I. Determination of the optical cross section of organic and inorganic particulates in like Ontario // Appl. Opt.—1981.—10, N 9.—P. 1696—1703.
- Bukata R. P., Jerome J. H., Kondrtyev K. Y., Hjzdykov D. V. Optic properties and remote sens. Of inland and coastal waters. — N. Y.: CRC press, 1995.—365 p.
- Lathorp R. G., Lillesand T. M., Vandell B. S. Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms of monitoring turbid inland waters // Jnt. J. Rem. Sens.—1991.—12, N 10.—P. 2045—2063.
-
- USING THE SPACE INFORMATION FOR SOLVING THE PROBLEMS OF WATER MANAGEMENT AND WATER GUARD**
- V. I. Lial'ko, O. D. Fedorov'skii, L. Ya. Sirenko,
O. D. Riabokonenko, Yu. V. Kostiuchenko, and V. H. Yakymchuk
- We review some examples of the use of space information for solving various problems in water management and water preservation. Spectral information features which can be used for a remote estimation of water environment condition are considered. The basic principles of decoding space images are illustrated by the example of water objects of Ukraine.