

ГІДРОЛОГІЯ – ЕКОЛОГІЯ

УДК 556.5:528.6

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОСХОВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

С.А. ШЕВЧУК, І.А. ШЕВЧЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Наведено сучасні підходи до використання даних дистанційного зондування Землі для визначення екологічного стану Каховського водосховища. Висвітлено питання практичного застосування даних мультиспектральної зйомки супутників Landsat (TM, ETM+) для моніторингу стану водних об'єктів.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, Каховське водосховище, екологічний стан, «цвітіння води», мультиспектральні знімки Landsat

Стан проблеми. Створення на Дніпрі каскаду водосховищ зумовило виникнення багатьох екологічних проблем, зокрема підтоплення прилеглих до водосховищ земель, абразії берегів, «цвітіння води» тощо. Зміни водного режиму негативно позначилися на кисневому режимі водосховищ, що досить часто призводить до заморів риби. В цілому умови життєдіяльності гідробіонтів докорінно змінилися [1–6].

Хоча існування цих проблем є очевидним, їхнє вивчення викликає певні труднощі, зокрема існує складність проведення відповідних досліджень у польових умовах. Традиційні методи вивчення стану водосховищ не дають змоги отримати просторову картину явищ і процесів, що в них відбуваються. Іншим недоліком традиційних методів є їхня велика вартість. Далеко не завжди знаходяться кошти

© С.А. Шевчук, І.А. Шевченко, 2013

Меліорація і водне господарство. 2013. Вип. 100

для з'ясування стану дамб, розмиву берегів. Те саме стосується виявлення зон з надмірним «цвітінням» води та ін.

У цьому разі певну роль можуть відіграти сучасні методи досліджень, зокрема ті, що спираються на дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Водночас ДЗЗ має певні особливості, які слід враховувати при вивченні різноманітних явищ та об'єктів. Велике значення має правильний вибір об'єкта, часу виконання космічних знімків та ін. [7–9].

Достатньо обґрунтовані відомості про стан водних об'єктів, зокрема великих водосховищ, дають змогу підвищити ефективність управлінських рішень щодо контролю та поліпшення екологічного стану водосховищ. Для цього необхідно мати достовірну, своєчасну і повну інформацію про основні морфометричні характеристики, параметри навколишнього природного середовища і, власне, стан досліджуваної водойми. Більшість з цих даних, зокрема температуру водної поверхні водосховища, площу водного дзеркала, можна отримати, застосовуючи матеріали ДЗЗ. Використання цих методів дає змогу оперативно і з великою достовірністю отримати об'єктивну інформацію про екологічний стан досліджуваних водойм і впливати на них, зокрема шляхом регулювання водообміну. В сукупності з технологіями геоінформаційних систем (ГІС) методи ДЗЗ дають змогу швидко і комплексно інтерпретувати інформацію екологічного змісту та оперативно її використовувати в експлуатаційній діяльності.

Метою цієї роботи є адаптування аерокосмічних методів дистанційного зондування та їхнього практичного застосування при вивченні стану водних об'єктів, зокрема штучно створених. Найбільшу увагу приділено дніпровським водосховищам, а саме Каховському, яке найбільше використовується в меліорації та водному господарстві [10–12].

Об'єктом дослідження роботи є Каховське водосховище, яке було утворено у 1955–1956 рр. Відповідно до Правил експлуатації [3] за нормального підпірного рівня (16,0 м) площа водосховища становить 2150 км², об'єм – 18,2 км³. Зазначене водосховище за об'ємом є найбільшим у Дніпровському каскаді. Водночас воно характеризується найменшим водообміном [1, 5].

Каховське водосховище виділяє також найбільший безповоротний забір для господарських потреб: тут беруть початок Північно-Кримський та Каховський канали, канал Дніпро–Кривий Ріг. Звідси також забирається вода для питних потреб м. Нікополь, Марганець,

Орджонікідзе та ін. З використанням води водосховища працює найпотужніша в Європі Запорізька АЕС.

Завданням дослідження є підтвердження можливості застосування методів ДЗЗ для встановлення екологічного стану Каховського водосховища, визначення чинників, які впливають на нього, уточнення морфометричних параметрів водосховища та ін.

Методика дослідження насамперед ґрунтується на способах обробки мультиспектральних знімків супутників серії «Landsat 5» і «Landsat 7» Національної геологічної служби США. Обробку знімків здійснювали за допомогою відповідних комп'ютерних програм, зокрема IDRISI Taiga, ArcMap. Для виділення водних об'єктів було проведено ідентифікацію земної поверхні з використанням даних дистанційного зондування землі за допомогою розрахункових індексів NWI, NDVI і теплового інфрачервоного каналу зазначених супутників.

З метою класифікації водних об'єктів за температурою водної маси і подальшого визначення глибин та рівнів води проведено розрахунок температури поверхневого шару води у тепловому інфрачервоному каналі (діапазон 10,40–12,50 мкм). Для конвертування інфрачервоного термального каналу, отриманого із супутника Landsat, у температуру в градусах Цельсія здійснено перерахунок за відповідними формулами [8]. Середня розподільна здатність цих знімків – 60–120 м/пікс [9].

Оцінювання точності методів виконується шляхом порівняння результатів, отриманих з використанням ДЗЗ, і фактичних даних спостережень на діючих гідрологічних постах. Крім того, було зібрано та проаналізовано перебіг метеорологічних характеристик (температура повітря і ґрунту, швидкість та напрям вітру) у прибережній смузі за даними метеорологічних станцій.

Основну увагу приділено термічному режиму Каховського водосховища, зокрема літнього періоду 2010 р., коли в районі його розташування спостерігалася аномально висока температура повітря. На прилеглих метеорологічних станціях вона сягала 40,0°C. У свою чергу, найбільша увага до температури води пояснюється тим, що цей чинник істотно впливає на перебіг фізико-хімічних і гідробіологічних процесів у водосховищах.

Було створено базу даних за кліматичними показниками, температурою води, розвитком синьозелених водоростей, зокрема в різних

частинах водосховища. Основну увагу приділено впливу метеорологічних чинників на поширення зон з різним розвитком «цвітіння».

Виклад основного матеріалу. Отримані дані як фактичних вимірів температури води на гідрологічних постах, так і з використанням ДЗЗ показують, що термічний режим Каховського водосховища має певні особливості. В цілому існує відповідна залежність температури води від температури повітря. Протягом року найвища температура води спостерігається майже одночасно з максимальною температурою повітря. Влітку 2010 р. найвища температура повітря спостерігалася на півдні України 8–11 серпня, при цьому на деяких метеостанціях зафіксовано історичні максимуми. Так, у Запоріжжі максимум сягнув 40,2°C (11.08), у Херсоні – 40,7°C (08.07). Водночас у Нікополі максимум досяг 39,2°C (8 і 11 серпня). Найвищу температуру води в Нікополі (31,9°C) зафіксовано 18 липня о 20-й год, у Новій Каховці (30,1°C) – 4 серпня о 20-й год. До 30,1°C підвищилася температура в Нікополі 1 серпня.

Отже, температура 30°C у Каховському водосховищі – це реальність. У 2010 р. на багатьох гідрологічних постах, розташованих на Дніпровському каскаді, зафіксовано максимальні температури, які досі не спостерігалися [1, 12]. У деяких випадках попередні максимуми виявилися вищими на 1–2°C (рис. 1).

Дещо вища температура води в Нікополі порівняно з Новою Каховкою пояснюється тим, що місце вимірів розташоване у річковому порту і захищене молом.

Характеризуючи термічний режим Каховського водосховища, потрібно відзначити, що температура води на гідрологічних постах вимірюється лише двічі на добу – о 8-й і 20-й год. Характерно, що влітку температура води ввечері звичайно на 2–3°C вища, ніж уранці.

Наявні дані свідчать про те, що на температуру води впливає глибина водойми: на мілководних ділянках добові коливання більші, ніж на глибоких. Можна припустити, що певні особливості існують і на відкритій акваторії, проте вивчити їх за допомогою даних вимірів на гідрологічних постах немає змоги. У цьому разі єдиним джерелом даних можуть бути результати мультиспектральної зйомки, які дають змогу одночасно визначити температуру в межах усього водосховища.

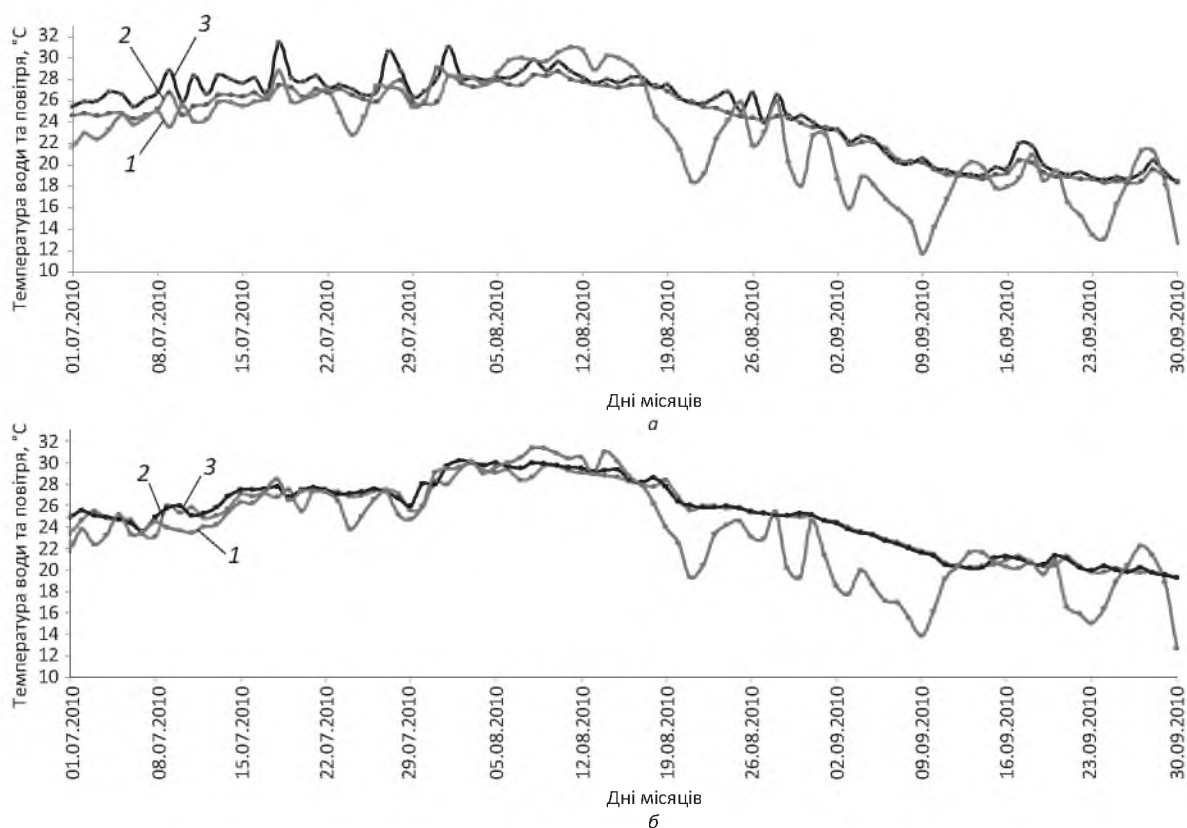


Рис. 1. Коливання температури повітря і води на постах Нікополь (а) і Нова Каховка (б) у липні–вересні 2010 р.: 1 – середньодобова температура повітря; 2 – температура води о 8-й год; 3 – температура води о 20-й год

Водночас застосування космічних знімків має спиратися на те, що супутникові дані відповідають фактичній температурі. Для того аби оцінити достовірність цих даних, їх порівнювали з фактичною температурою води, виміряній на гідрологічних постах (таблиця). У цьому разі важливим виявився той факт, що проліт супутників Landsat над Каховським водосховищем відбувається о 8-й год 21 хв, тобто одночасно з уранішнім вимірюванням температури води на гідрологічних постах. Порівняння значень температури, отриманої різними методами, показало, що в цілому відхилення щонайбільше становлять 1,0–1,5°C. Причому немає переваги відхилення в якийсь бік: завищення температури чи її зниження за даними супутників.

Порівняння значень температури води Каховського водосховища за даними гідрологічних постів м.м. Нікополь і Нова Каховка та космознімків (серпень–вересень)

Місце розташування гідрологічного поста, координати	09.08.2010		25.08.2010		10.09.2010		26.09.2010	
	Г	К	Г	К	Г	К	Г	К
	08:00	08:21	08:00	08:21	08:00	08:21	08:00	08:21
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
20:00	–	20:00	–	20:00	–	20:00	–	
Каховське вдсх, м. Нікополь	28,3	28,9	24,5	26,3	19,6	18,9	18,3	18,4
Н 47°33'17"/	28,8	–	25	–	19,7	–	18,7	–
Е 34°22'30"								
Каховське вдсх, м. Нова Каховка	29,6	28,0	25,3	25,1	21,4	18,9	19,9	17,5
Н 46°46'54,38"/	29,8	–	25,4	–	21,3	–	19,8	–
Е 33°22'10,00"								
Каховське вдсх, min–max t°C	23,8 – 29,0		22,4 – 28,9		14,2 – 19,3		15,6 – 18,9	
Каховське вдсх, серед. t°C	25,2 – 25,6		23,8 – 24,5		16,1–16,9		16,6–17,0	

Примітка. Г – дані температури води по гідрологічних постах; К – дані температури води по космознімку (за координатами метеостанції).

Можна припустити, що відповідність була би ще вищою в разі точного знання точки вимірювань температури спостережниками. Супутникові дані показали, що зміщення цієї точки у прибережній зоні навіть на 30 м – насамперед у бік більших чи менших глибин – супроводжується помітними змінами температури води.

Після з'ясування факту достовірності даних космічних знімків, з'явилася можливість вивчення температури води в Каховському водосховищі по всій його акваторії. Виявилось, що фактичний діапазон температури води у водосховищі може сягати 5–6°C і навіть більше. Так, 9 серпня 2010 р., коли температури повітря і води були близькими до найвищих, діапазон температури становив 23,8–29,0°C. За два тижні – 25 серпня 2010 р., коли відбулося невелике охолодження води, діапазон становив 22,4–28,9°C.

Найбільші градієнти температури води спостерігаються у прибережній смузі. У теплий період року температура води біля берега істотно вища, ніж на великих глибинах. Зрозуміло, що за цих об-

ставин інтерполяція температури, виміряної біля берега, зумовлює завищені дані для всього водосховища.

Космічні знімки дають змогу не лише характеризувати температуру води Каховського водосховища, а й знаходити причини просторово-часових змін. Наведені на рис. 2 дані показують, що існують досить значні відмінності термічного режиму водосховища в його мілководній північно-східній ділянці і більш глибокій південно-західній. Так, зниження температури повітря зумовлює швидку зміну температури води в мілководній ділянці – вода тут стає істотно холоднішою за температуру води на більш глибокій ділянці. Особливо чітко це видно на знімках 2б і 2в. На знімку 2б добре простежуються відмінності температури води біля різних берегів. Північний та північно-західний вітер, що спостерігався над водосховищем 21–23 серпня, зігнав теплу воду до південного та південно-східного (лівого) берега водосховища. Потребує уваги також знімок рис. 2г, виконаний 26.09.2010 р. У цьому разі на більшій частині водосховища температура води виявилася майже однорідною. Причиною цього став північно-східний вітер 24–26 вересня, що майже збігався з напрямком найбільшої довжини водосховища. Цей вітер зігнав прохолодну воду з розширеної мілководної частини водосховища у напрямку Каховки, а це й визначило близькість температури на більшій частині акваторії.

Додамо, що такий вітер спричиняє сильні хвилі та сприяє вирівнюванню температури по глибині. На цьому знімку також добре видно вузьку смугу теплої води, яка скидалася з Дніпровського водосховища. У цій смузі температура води на 4–5°C вища за температуру в прилеглий частині водосховища. Існування смуги теплої води видно і на знімку 2в.

Ця особливість температури визначається великою глибиною Дніпровського водосховища (до 50–60 м), а також морфометричними особливостями верхів'я Каховського – затоплене русло Дніпра відокремлено тут від розширеної частини водосховища довгою косою.

Майже на всіх знімках видно, що певні особливості має термічний режим Білозерського лиману, який відокремлений від водосховища дамбою. Через свою мілководність температура води в ньому влітку найвища і може досягати 30°C. Так, за даними зйомки 09.08.2010 р. максимальна температура тут сягала 27,2°C. При зниженні температури повітря лиман охолоджується чи не найшвидше, це пов'язано із вклинюванням холодних ґрунтових вод.

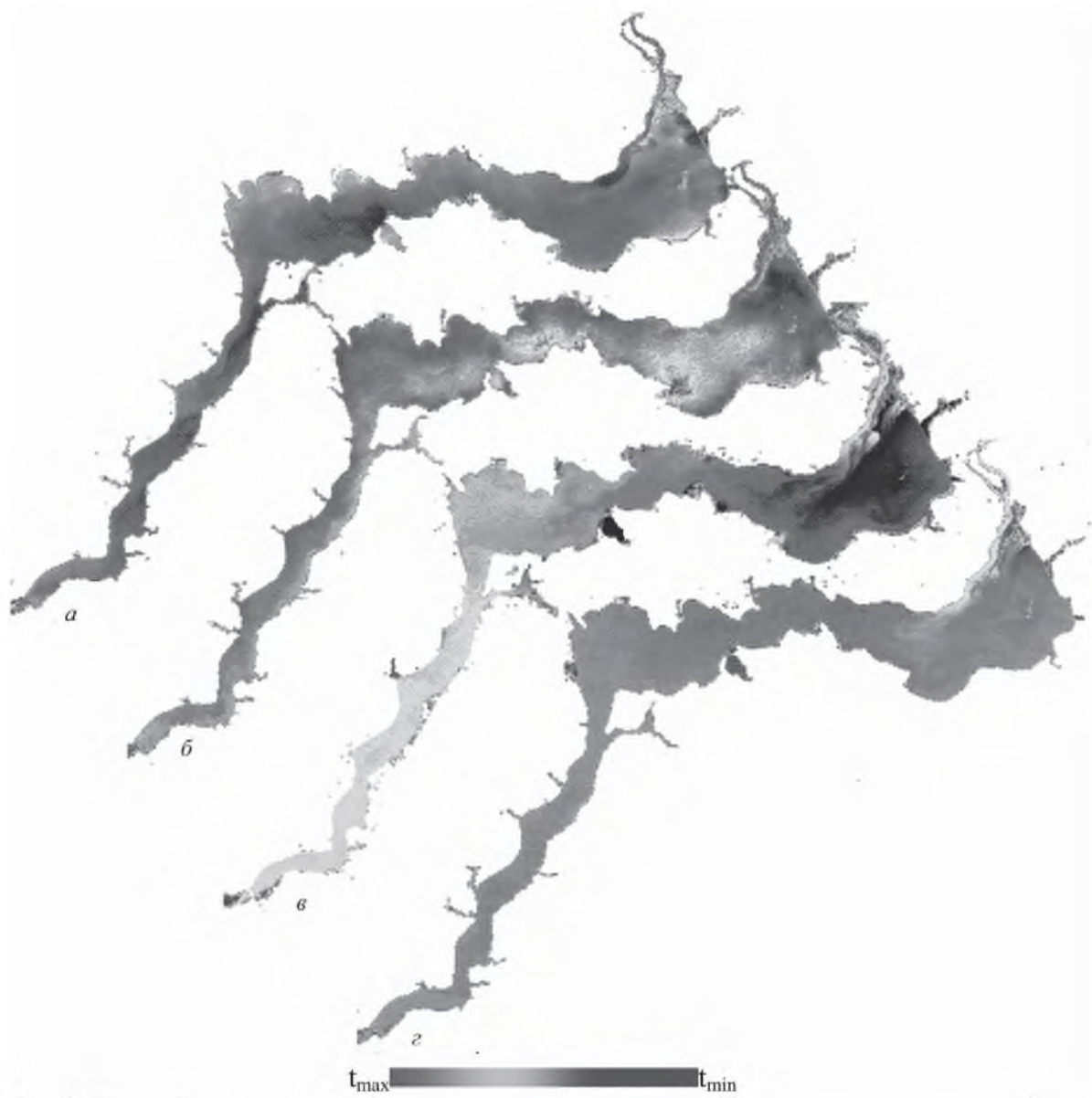


Рис. 2. Розподіл температури поверхневого шару води у Каховському водосховищі та прилеглий території за мультиспектральними знімками 09.08.2010 р. (а), 25.08.2010 р. (б), 10.09.2010 р. (в) та 26.09.2010 р. (г)

Окремо можна зупинитися на впливі Запорізької ТЕС і Запорізької АЕС. Він справді існує, але простежується лише на відстані 2,5 км від скидів.

Наступним питанням, яке має велике значення і якому приділено увагу, є «цвітіння» води у водосховищі. Добре відомо, що це явище характерне для більшості водосховищ Дніпровського каскаду і, зокрема, Каховського. Відомо також, що на «цвітіння» води впливає

температура повітря, наявність у воді біогенних речовин. Негативно впливають гумусові речовини. Улітку доміантними у водосховищах є синьозелені водорості [1, 2, 5].

Аналіз мультиспектральних знімків показав, що не лише температура води впливає на «цвітіння», а й «цвітіння» впливає на температуру води (рис. 3). Останнє пояснюється тим, що вода з більшою концентрацією водоростей краще поглинає сонячне випромінювання, іншими словами, має менше альbedo.

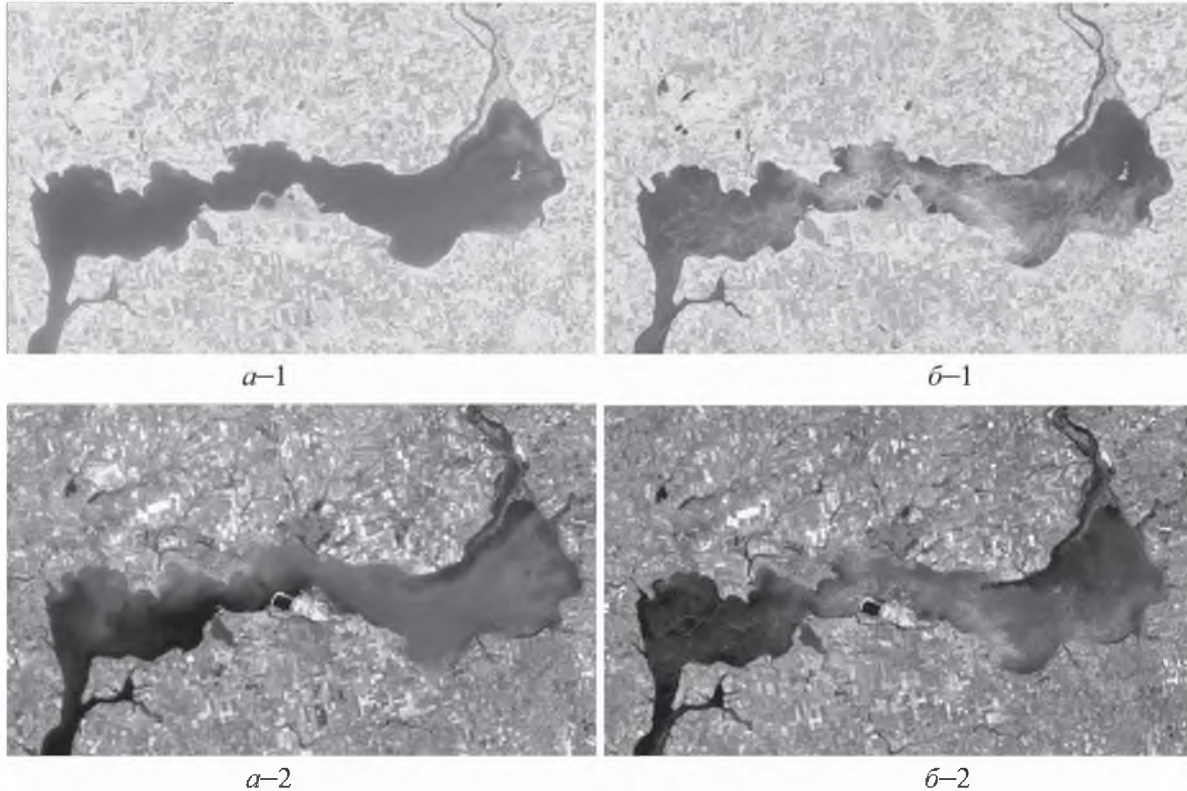


Рис. 3. Інтенсивність поширення синьозелених водоростей у Каховському водосховищі станом на 09.08.2010 р. (а) та 25.08.2010 р. (б): вгорі – розраховані за допомогою індексу NDVI (1), внизу – у натуральних кольорах мультиспектрального знімка (2)

Для кращої візуалізації «цвітіння» води було проведено розрахунок нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI), що є індикатором вмісту хлорофілу в рослинах і кількості зеленої біомаси. Для встановлення початку «цвітіння» використано знімки в натуральних кольорах (рис. 3).

На наведеному мультиспектральному знімку, приведеному до натуральних кольорів, видно, що 9 серпня 2010 р. «цвітіння» перебуває у початковій стадії. За 16 днів – 25 серпня – синьозелені водорості

досягли дуже значного розвитку. Це свідчить про те, що розвиток синьозелених водоростей може відбуватися дуже швидко.

Однак залишається відкритим питання про те, що викликало таке бурхливе «цвітіння». Можна припустити, що причиною став скид забрудненої води одного з комунальних підприємств, розташованих біля водосховища. Надходження біогенних речовин є важливішим чинником цвітіння (принаймні, у літній період), ніж температура води.

У подальших дослідженнях особливу увагу буде приділено розрахунку випаровування з водної поверхні з метою його врахування при встановленні режимів роботи дніпровських водосховищ. Цей показник тим вищий, чим менша вологість повітря і більший дефіцит вологості та більша швидкість вітру. В степовій зоні він може становити 650–1000 мм, що суттєво впливає на водний баланс водосховищ. Використання карт зі встановленим сезонним розподілом температури поверхні води у водосховищах дає змогу проводити більш точні розрахунки дефіциту вологості повітря для кожного періоду року.

Висновки. Ефективним засобом моніторингу стану водойм і, зокрема, Каховського водосховища є дистанційне зондування Землі, а також відповідна обробка, отриманих космічних знімків. Ці методи дають змогу встановлювати розподіл температури води на всій акваторії та виявляти причини певних особливостей. Виконані дослідження показали, що в літній період температура води, що вимірюється на гідрологічних постах біля берега, порівняно з температурою всього водосховища істотно завищена. На температуру води на акваторії водосховища, окрім температури повітря, істотно впливає вітер, під впливом якого температура в поверхневому шарі води може змінюватися до 7°C. Інший важливий чинник – морфометрія. У мілководних і глибоких частинах водосховища температура води звичайно різна. Зокрема, вона стає істотно різною у перехідні сезони, коли відбувається нагрівання води чи її охолодження.

Окрім температури води, методи ДЗЗ дають можливість виявляти динаміку «цвітіння» – явища, яке істотно впливає на якість води. Доведено, що не лише температура води впливає на «цвітіння», а й навпаки. Останнє пояснюється залежністю поглинання сонячної енергії водою від розвитку водоростей. Масове цвітіння води влітку може відбуватися дуже швидко і навіть за умов зниження температури води, що пояснюється наявністю великої кількості забруднювальних речовин, а саме фосфатів і ортофосфатів.

1. *Вишневецький В.І.* Ріка Дніпро / Вишневецький В.І. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2011. – 384 с.
2. *Бабенко Т.М.* Розвиток фіто- і зоопланктону в дніпровських водосховищах на початку ХХІ ст. / Т.М. Бабенко, В.І. Вишневецький // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. – 2011. – Вип. 7 (21). – С. 63–68.
3. *Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду* / [А.В. Яцик, А.І. Томільцева та ін.]. – К.: Генеза, 2003. – 176 с.
4. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ* / [Л.А. Сиренко, И.Л. Корелякова, Л.Е. Михайленко и др.]. – К.: Наук. думка, 1989. – 232 с.
5. *Екологічні вимоги до правил експлуатації дніпровських водосховищ (наукові засади та проблеми)* / [В.М. Тімченко, О.П. Оксіюк, В.Д. Романенко та ін.]. – К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2002. – 36 с.
6. *Бакшеев Е.А.* Днепровские водохранилища и их народнохозяйственный эффект / Бакшеев Е.А. – К.: Довіра, 2008. – 159 с.
7. *Лурье И.К.* Теория и практика цифровой обработки изображений / И.К. Лурье, А.Г. Косиков. – М.: Научный мир, 2003. – 167 с.
8. *Коберниченко В.Г.* Методы синтеза изображений на основе данных дистанционного зондирования Земли различного разрешения / В.Г. Коберниченко, В.А. Тренихин // Успехи электроники. – 2007. – № 4. – С. 22–31.
9. *Лялько В.И.* Экологический мониторинг окружающей среды по многозональным космическим снимкам / В.И. Лялько, А.И. Сахацкий, А.Я. Ходоровский // Космічна наука і технологія. – К.: НАН України, 1999. – Т. 5, № 4. – С. 1–3.
10. *Буторин Н.В.* Особенности гидрологических процессов в мелководных зонах равнинных водохранилищ / Буторин Н.В. // Вод. ресурсы. – 1986. – №2 – С. 3–10.
11. *Авакян А.Б.* Комплексное использование и охрана водных ресурсов / А.Б. Авакян, В.М. Широков. – Минск: Изд-во «Университетское», 1990. – 240 с.
12. *Вишневецький В.* Спекотне літо 2010 р. / Вишневецький В. // Водне господарство України. – 2010. – № 5. – С. 41–43.

Представлены современные подходы к использованию данных дистанционного зондирования Земли для реализации методов определения экологического состояния Каховского водохранилища. Освещены вопросы практического применения данных мультиспектральных снимков спутников Landsat (TM, ETM+) к решению задач мониторинга и оценки состояния водных экосистем.

There were represented the modern approaches to the application of remote sensing techniques for the determination of ecological status of Kakhovka reservoir. There were shown the questions of practical application of multispectral satellites Landsat (TM, ETM +) data to solve the problems of monitoring and assessment of aquatic ecosystems status.