

УДК 556+528.88

**В. І. Зацерковний** — д-р. техн. наук, доц.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

orcid.org/0000-0003-2346-9496

e-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

**Оберемок Н. В.** — канд. техн. наук, доц.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

orcid.org/0000-0002-7230-8149

e-mail: oberemokn@gmail.com

**Тішаєв І. В.** — канд. фіз.-мат. наук, доц.,

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

orcid.org/0000-0002-3442-5301

e-mail: ivantishaev@gmail.com

**Казанюк Т. А.** — студентка, кафедра аерокосмічної геодезії

Національний авіаційний університет

orcid.org/0000-0002-5810-6639

e-mail: tanya.kazanyuk@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

### Вступ

Вода є основою існування живої матерії і людини, у тому числі і на Землі. Стале функціонування будь-якої країни, рівень життя, здоров'я і добробут її громадян тісно пов'язані зі станом водних ресурсів — надзвичайно важливого природного багатства, що забезпечує населення, промисловість та сільське господарство водою, дає можливість ведення виробництва.

Без води людина неспроможна прожити більше трьох діб, проте, розуміючи всю важливість ролі води, вона все одно продовжує жорстко експлуатувати водні об'єкти, безповоротно змінюючи їх природний режим скидами і відходами. Це згубно впливає на здоров'я населення, веде до загибелі риби, водоплавних птахів та інших тварин, і навіть загибелі рослинного світу водоймищ. Причиною цього є отруйні хімічні і нафтові забруднення, надлишок органічних і мінеральних речовин небезпечних для водних екосистем.

В Україні 75 % систем питного водопостачання розраховано на використання води з поверхневих джерел. При цьому, водокористування здійснюється переважно нераціонально, непродуктивні витрати води постійно зростають, а об'єм придатних до використання водних ресурсів унаслідок забруднення і виснаження зменшується. На сьогодні, практично всі поверхневі водні джерела і ґрунтові води забруднені.

За рівнем раціонального використання водних ресурсів та якості води Україна, за даними

ЮНЕСКО, серед 122 країн світу посідає 95 місце [1]. Серед усіх рік України найбільшу водозбірну площу має Дніпро — 504 км<sup>2</sup>. За цією характеристикою річка посідає третє місце в Європі. З усієї площі водозбору українська ділянка становить 292,7 тис. км<sup>2</sup>, білоруська — 118,4 тис. км<sup>2</sup>, російська — 92,9 тис. км<sup>2</sup>. Річка є основним джерелом водопостачання України, оскільки дніпровськими водами користується більше половини населення країни. Унаслідок виробничої, сільськогосподарської, побутової, рекреаційної та іншої діяльності в річку потрапляє й акумулюється значна кількість різноманітних речовин. Їх накопичення призводить до погіршення якості води практично за всіма гідрофізичними, гідохімічними, гідробіологічними і санітарно-гігієнічними показниками. Вода в Дніпрі — це «хвора» вода, яка загрожує екологічною катастрофою [1].

Оскільки стан Дніпра погіршується з кожним роком, то моніторинг його стану і вирішення екологічних проблем є нагальним завданням, адже від цього залежать здоров'я та якість життя його мешканців (за статистикою, близько 80 % хвороб в Україні є наслідком незадовільної питної води).

### Актуальність

Об'єктивна оцінка стану водних об'єктів може бути виконана на підставі актуальних і точних даних моніторингу. Важливими вимогами до якого є точність визначень, репрезентативність, достатня повторюваність вимірів. Актуальними задачами моніторингу є ефективне управління

водними ресурсами, раціональне водокористування, оперативна і неупереджена оцінка стану якості води. Поставлені задачі не є тривіальними, проте використання сучасних технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і геоінформаційних технологій (ГІТ), дозволяють систематично отримувати та інтерпретувати дані фотометричних параметрів окремих водних об'єктів, водозбірних територій у широкому спектральному діапазоні з необхідною розрізненністю і періодичністю актуалізації інформації, оцінювати їх санітарно-біологічні характеристики [2].

### Аналіз попередніх досліджень

Теоретико-методичні та прикладні проблеми економіки природокористування та оцінки і управління водними ресурсами у різних аспектах досить докладно вивчалися такими відомими вітчизняними і зарубіжними вченими, як А. Авакян, О. Балацький, М. Биченок, Л. Брагинський, Б. Буркинський, З. Бриндзя, Т. Галушкіна, З. Герасимчук, Б. Данилишин, С. Дорогунцов, В. Кравців, Г. Красовський, Ю. Лебединський, С. Левківський, В. Сахаєв, В. Шашук, В. Степанов, О. Теліженко, М. Хвесик, В. Хільчевський, Є. Яковлев, А. Яцик, Р. J. Cloke, Н. E. Daly, N. S. Grigg та ін. Зокрема, у їх працях пропонуються перспективні напрями реформування системи управління водними ресурсами та вдосконалення механізмів регулювання водокористування.

Проблеми застосування технологій ГІС і ДЗЗ для моніторингу якості водних ресурсів досліджували Є. Анпілова, В. Лялько, О. Томченко, О. Федоровський, О. Рябоконеко та ряд інших.

Визнаючи наукову і практичну цінність проведених досліджень названих авторів, треба відзначити, що проблема оцінки якості водних ресурсів за допомогою технологій ГІС і ДЗЗ ще далека від свого завершення і потребує подальшого розвитку теоретико-методичних підходів щодо комплексної, інтегральної оцінки водних ресурсів.

**Метою дослідження** є застосування технологій ГІС і ДЗЗ для оцінки якості водних ресурсів, аналізу отриманих цифрових карт температури, класифікації вегетативних індексів, альгоіндексу заростання водосховищ та побудова цифрової моделі місцевості (ЦММ).

**Об'єктом дослідження** даної роботи є оцінка стану водних ресурсів Каховського водосховища.

### Постановка завдання

Завданням даної роботи є розробка методики дослідження водних об'єктів за допомогою технологій ГІС та ДЗЗ на прикладі Каховського водосховища, яка базується на використанні аерокосмічної, картографічної та інженерно-геодезичної інформації.

### Виклад основного матеріалу

Водні ресурси України складаються з поверхневих, підземних та морських вод. Поверхневі водні об'єкти вкривають 24,1 тис. км<sup>2</sup>, або 4 % загальної території України. До таких об'єктів належать річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо. Найважливішими водними об'єктами є річки. В Україні налічується 63119 річок, у тому числі великих (площа водозбору більше ніж 50 тис. км<sup>2</sup>) — 9, середніх (від 2 до 50 тис. км<sup>2</sup>) — 87 і 63029 малих річок (менше ніж 2 тис. км<sup>2</sup>). До великих річок за довжиною в межах України належать Дніпро, Південний Буг, Дністер, Сіверський Донець, Десна, Західний Буг, Тиса, Прип'ять, Дунай (рис. 1) [3].



Рис. 1. Карта гідрографічного районування України побудована за даними [3]

Поряд з водними ресурсами річок велике господарське значення мають запаси води в природних і штучних водосховищах. Для забезпечення господарської діяльності країни водою на річках збудовано 1103 водосховища, загальний об'єм — 55 км<sup>3</sup> води (на Дніпрі — 6 великих водосховищ із загальним об'ємом — 43,8 км<sup>3</sup> води). Усі водосховища мають комплексне призначення, використовуються для водозабезпечення населених пунктів, промисловості, комунального і сільського господарства, гідроенергетики та інших цілей.

Крім великих водойм, в Україні нараховується 7 тис. озер, що займають 0,3 % території, об'єм яких сягає 2,3 км<sup>3</sup> води; 28 тис. ставків площею 160 тис. га і об'ємом води 2,5 км<sup>3</sup>, вода з яких іде на водозабезпечення сільських населених пунктів, тваринницьких ферм і комплексів, розвиток рибного господарства, розведення водоплаваючої птиці тощо.

Залягання й поширення підземних вод пов'язане з геологічною будовою території. За запасами підземних вод на території України вирізняються декілька великих артезіанських басейнів. Найбільшим із них є Дніпровсько-Донецький. У всій товщі мезо- і кайнозойських порід наявні прісні води, водоносні горизонти з ними залягають до глибин 400 м. Водоносні горизонти у

породах від палеозойських до кайнозойських виявлені в межах Волино-Подільського артезіанського басейну. На півдні України знаходиться Причорноморський артезіанський басейн з основними водоносними горизонтами в неогенових породах. Україна належить до найменш водозабезпечених власними водними ресурсами держав Європи (табл. 1), і є одним із регіонів зі значним антропогенним навантаженням на водні джерела [3]. Країна вважається незабезпеченою водою,

якщо має водні ресурси менше 1,5 тис. м<sup>3</sup>/рік на 1 людину. Прогнозні ресурси підземних вод становлять 22,5 км<sup>3</sup>/рік, з яких 26 % складають розвідані експлуатаційні запаси підземних вод (близько 5,7 км<sup>3</sup>/рік). Ресурси поверхневих вод розподілені по території України дуже нерівномірно (табл. 2).

А за водоспоживанням на 1 людину, л/добу наша країна набагато перевищує країни західної Європи (табл. 3).

Таблиця 1

## Водозабезпечення деяких країн Європи

Країна	Забезпеченість водними ресурсами, тис. м <sup>3</sup> /рік на 1 людину	Кратність перевищення порівняно з Україною
Норвегія	96,9	57
Швеція	24,1	14,2
Фінляндія	22,5	13,24
Австрія	7,7	4,5
Швейцарія	7,28	4,3
Франція	4,57	2,7
Італія	3,38	2,0
Велика Британія	2,73	1,6
Україна	1,7	–
Польща	1,7	–
Німеччина	1,3	0,76
Угорщина	0,8	0,47

Таблиця 2

## Водозабезпечення регіонів України

Адміністративна одиниця	Забезпеченість річковим стоком, тис. м <sup>3</sup>							
	у середній за водністю рік				у маловодний рік (95 % забезпеченості)			
	на 1 км <sup>2</sup>		на 1 людину		на 1 км <sup>2</sup>		на 1 людину	
<b>Україна</b>	<b>86,8</b>	<b>144,3</b>	<b>1,14</b>	<b>1,9</b>	<b>49,2</b>	<b>92,6</b>	<b>0,65</b>	<b>1,22</b>
АР Крим	33,7	33,7	0,39	0,39	15,92	15,92	0,19	0,19
Вінницька	93,2	415,1	1,51	6,7	43,8	224,9	0,71	3,63
Волинська	107,9	200,5	2,1	3,91	46,5	94,6	0,91	1,84
Дніпропетровська	27,3	1661,4	0,26	15,88	4,38	1018,8	0,04	9,74
Донецька	38,5	166	0,23	0,99	9,05	64,2	0,05	0,38
Житомирська	105,4	124,1	2,46	2,9	35,1	42,8	0,82	1
Закарпатська	618,7	1039,1	6,35	10,67	349,2	569,3	3,58	5,85
Запорізька	22,8	1948,5	0,34	29,43	4,78	1216,9	0,07	18,38
Івано-Франківська	330,2	676,3	3,33	6,81	156,1	343,2	1,57	3,46
Київська	70,6	1605,5	0,45	10,27	26,3	996,5	0,17	6,38
Кіровоградська	38,6	2040,6	0,94	49,7	10,97	1272,4	0,28	30,99
Луганська	54,7	190,6	0,64	2,22	16,9	74,9	0,2	0,87
Львівська	225,7	254,6	1,93	2,18	122	137,6	1,05	1,18
Миколаївська	23,2	162,6	0,48	3,38	6,5	69,5	0,14	1,45
Одеська	10,5	387,4	0,15	5,4	2,28	222,5	0,03	3,1
Полтавська	67,4	1788,2	1,3	34,61	26,4	1097,2	0,51	21,2
Рівненська	115,9	348,3	2,02	6,07	63,2	177,1	1,1	3,09
Сумська	102,9	243,3	2,11	4,98	48,3	113,9	0,99	2,33
Тернопільська	131,2	526,1	1,67	6,7	76,1	297,1	0,97	3,78
Харківська	52,9	108,6	0,6	1,24	22,6	47,8	0,28	0,54
Херсонська	4,91	1908,8	0,13	50	0,7	1122,8	0,02	29,41
Хмельницька	103,9	476,7	1,61	7,4	51,5	258,3	0,8	4,01
Черкаська	48,3	2267,9	0,79	36,89	19,6	1392,3	0,32	22,65
Чернівецька	151,8	1246,9	1,36	11,17	60,5	691,4	0,54	6,19
Чернігівська	108,2	927	3,14	26,93	61,1	608,8	1,78	17,68

Таблиця 3

## Водоспоживання на 1 людину, л/добу щодо країн західної Європи

Країна	Середня норма водоспоживання на 1 людину, л/добу	Кратність перевищення порівняно з країнами Європи
Бельгія	112	3,1
Німеччина	129	2,7
Франція	139	2,5
Велика Британія	153	2,3
Данія	159	2,2
Швеція	164	2,1
Греція	175	2,0
Іспанія	200	1,8
Італія	213	1,6
Фінляндія	213	1,6
Швейцарія	252	1,4
<b>Україна</b>	<b>350</b>	–

На Дніпрі розташовані потужні гідроелектро-станції України (Київська ГЕС і ГАЕС) — у Київській області, Канівська ГЕС — у Черкаській, Кременчуцька — у Полтавській, Середньодніпровська — у Дніпропетровській, Каховська — у Херсонській області та Дніпрогес — у Запорізькій області.

Дніпровська вода постачається на чотири атомні електростанції: Запорізьку, Південноукраїнську, Рівненську, Хмельницьку, її безпосередньо використовують чотири теплові електростанції: Київська-5, Трипільська, Придніпровська, Запорізька.

Дніпро став надійним джерелом питної, технічної і поливної води для прилеглих до водосховищ територій та більш віддалених районів, зокрема, Криворіжжя, Криму, Донбасу і Харківщини. Річка важлива для транспорту і економіки України: всі його водосховища обладнані великими шлюзами, що дозволяють рухатися судам розмірами до 270×18 м, це створює прекрасний транспортний коридор. Дніпро також використовується пасажирськими судами: круїзи по Дніпру приносять немалі доходи в останні десятиліття.

Дніпровська вода за допомогою каналів і трубопроводів постачається до 2,2 тис. сільських населених пунктів, 50 великих міст, 10 тис. промислових підприємств, 1000 комунальних господарств, її п'ють 22 млн жителів України. Водними ресурсами річки забезпечується близько 60 % потреб держави у прісній воді.

До дніпровського джерела води підключено 1,8 млн га зрошувальних систем (за необхідності цю площу можна подвоїти). Сумарний щорічний об'єм водокористування сягає 15–20 км<sup>3</sup>, тобто майже третину стоку річки, який становить близько 54 км<sup>3</sup>.

За рахунок дніпровських водних ресурсів вирішуються проблеми водопостачання і зрошення ряду регіонів півдня та сходу України.

*Канал Дніпро — Донбас:* штучний водотік, що сполучає найбільші річки України Дніпро і Сіверський Донець. Почав функціонувати у квітні 1982 р. Канал виходить із Дніпродзержинського водосховища, дюкером проходить під річкою Оріль, йде по Дніпропетровській області, потім входить в Харківську область, де з'єднується з Орільським і Краснопавлівським водосховищами, які були побудовані для забезпечення безперебійної роботи каналу в разі аварії. Загальна довжина цієї ділянки каналу 194 км.

*Орільський канал:* щоб уникнути затоплення гирла р. Оріль при утворенні Кам'янського водосховища її русло було штучно продовжене на кілька десятків кілометрів нижче і гирло виявилося в районі м. Дніпра;

*Канал Дніпро — Кривий Ріг:* канал у Дніпропетровській області України, споруджений для водопостачання промислових районів Криворіжжя;

*Каховський магістральний канал* (південний схід Херсонської області): штучний 130-кілометровий канал, споруджений у 1979 р. для зрошення сільськогосподарських угідь та водопостачання сільських населених пунктів Херсонської і Запорізької областей. Свій початок бере з Каховського водосховища.

*Краснознам'янська зрошувальна система:* розташована на півдні Херсонської області (Скадовський і Голопристанський райони) і умовно поділяється на дві частини: з самопливним зрошенням (побудований в 1956–1966 рр.) та з механічним підйомом води (побудована в 1976 р.). Водозабір самопливної частини системи здійснюється з Північнокримського каналу на 61-му кілометрі. Північнокримський канал — дозволив значною мірою вирішити водну проблему півострова (на той час).

З русла Дніпра, яке тече територією України, в природному стані збереглося лише 100 км.

Решта річки зарегульована каскадом дніпровських водосховищ загальною площею водного дзеркала 6979 км<sup>2</sup>, повним об'ємом — 43,8 км<sup>3</sup> води, що відповідно становить 94,7 і 90,8 % до загальної кількості всіх великих водосховищ України.

Сучасний розвиток долини р. Дніпро і рік її басейну значною мірою зумовлений впливом техногенних факторів. На багатьох ділянках відбуваються процеси переробки берегів, активізувались зсуви, обвали та інші явища, зумовлені дією гравітації. Вони супроводжуються денудацією і замулюванням водосховищ. Найбільш масштабні прояви переробки берегів спостерігаються на крупних водосховищах, на водній поверхні яких вітер утворює високі хвилі.

Водосховища, що побудовані у ХХ ст., спричинили низку серйозних змін екосистем:

**1. Виникнення мілководь.** Через розвиток каскадів значно збільшились зони мілководдя, що можуть займати від 5 до 39 % площі водосховищ. Ці зони характеризуються уповільненими течіями, зниженням турбулентного перемішування, більшим прогріванням. Все це спричиняє інтенсивне відкладення на дно органічної маси відмерлих рослин, замулення, зменшення глибини, що може призвести до переходу цих ділянок у болото.

**2. Руйнування берегів.** Берегова лінія Дніпровських водосховищ — це абразійно-ерозійні береги, що потребують закріплення. Внаслідок руйнування берегів вже втрачено 617 га землі. За останні 35 років у водосховища надійшло більше ніж 337 м<sup>3</sup> продуктів руйнування берегів.

При створенні водосховищ порушується динамічна рівновага й починається переформування берегів — розмив, оповзання або акумуляція відкладень.

Загалом, у міру збільшення віку водосховищ, переформування берегів зменшується, утворюється стійкий профіль берега. Однак зміна водогосподарських функцій і режиму водосховища може знову викликати переформування берегів. Створення в межах України шести крупних водосховищ на річці Дніпро спричинило підняття базису ерозії на 10 м.

**3. Підтоплення земель.** При створенні водосховищ змінюється режим, а іноді й загальний напрямок руху підземних вод, виникають нові водоносні горизонти, які до підпору були сухими. У зонах водосховищ відбуваються процеси підтоплення та затоплення земель. На незахищених масивах у зонах впливу водосховищ Дніпра площі підтоплених земель становлять 90 тис. га, а на незахищеному мілководді — близько 133 тис. га.

З цими процесами пов'язані такі явища як трансформація земель, деградація рослинного і тваринного світу, замулення та заболочення, ефтрофікація водойм.

Підтоплення починається із моменту заповнення водосховища при підйомі ґрунтових вод до 1–1,5 м й вище від поверхні. Коли ґрунтові води досягають шару, у якому знаходяться корені рослин, у ньому створюється додаткове зволоження, що погіршує аерацію. Як наслідок, найчастіше територія заболочується.

**4. Забруднення.** Водосховища Дніпра зазнають значного техногенного навантаження. Вони акумулюють не лише запаси води, але й усі забруднення, які надходять із площі водозабору. При їх каскадному розташуванні чинники, які раніше визначали природний режим, тепер впливають лише на верхнє — Київське водосховище.

Найбільше забруднені водосховища Дніпровського каскаду біогенними, органічними і поверхнево-активними речовинами, нафтопродуктами, фенолами, пестицидами, важкими металами тощо. За одночасного вмісту у воді великої кількості органічних речовин та амонійного азоту утворюються сильнодіючі токсичні речовини.

Одним із основних забруднювачів водних об'єктів є нафтопродукти. З тієї їх кількості, що потрапляє у воду близько 40 % залишається у воді у вигляді емульсії і стільки ж осідає на дно, а 20 % утворюють на поверхні води плівку, яка погіршує аерацію води. Окрім цього адсорбовані донними відкладеннями нафтопродукти віокремлюють фауну і флору дна від іншої частини водосховищ і стають причиною вторинного забруднення води.

Так, у Каховському водосховищі вміст нафтопродуктів іноді перевищує ГДК для питної води у 3–4 рази, а найбільша їх кількість — у нижньому б'єфі Київського, середній та нижній частині Дніпродзержинського водосховищ (4–6 ГДК). Нафтопродукти, особливо ароматичні вуглеводні, є токсичними для організму людини, негативно впливають на серцево-судинну і нервову системи.

Велику небезпеку становлять й пестициди. Найбільше їх міститься у донних відкладеннях Дніпровського та Каховського водосховищ.

Важкі метали (Fe, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Mn, Cr та ін.) — одна з основних груп хімічного забруднення водосховищ. На відміну від органічних речовин, які певною мірою піддаються деструкції, важкі метали лише перерозподіляються між окремими ланками водних екосистем (вода, донні відклади, біота).

Водосховища Дніпра затопили придатні для сільського господарства землі, при цьому звіль-

нені від води землі залишилися непридатними для сільськогосподарського використання. Через водосховища, Дніпро втратив свої колишні пороги і швидкість течії, також на сьогодні у річку скидаються стічні води, зокрема синтетичні мийучі засоби, що зумовлює діяльність синьо-зелених водоростей і призводить до цвітіння води.

Через гідротехнічне будівництво (врегулювання річного стоку при будівництві гребель, направлення русел річок, поглиблення дна), скид у водні об'єкти підігрітих та забруднених вод, забруднення водних екосистем суттєво змінюються фізико-хімічні та біологічні процеси.

Значним трансформаціям піддаються господарсько-освоєні водозбірні території, що істотно змінило характер формування стоку і водний режим багатьох водних об'єктів. Незадовільне становище систем водовідведення та відсутність у багатьох населених пунктах централізованого водовідведення є однією з причин забруднення водних ресурсів в Україні, що вимагає їх ремонту, реконструкції, модернізації та впровадження.

Одним з найбільш шкідливих проявів антропогенного впливу на водні екосистеми, зокрема на водосховища та гідросферу в цілому є токсичне забруднення, яке може призводити до отруєння водного середовища та його живого населення. Це призводить до різкого погіршення стану екосистеми та втрати її природної стійкості, до зниження якості води й біологічної продуктивності водойм. Якість води у Дніпрі і його водосховищах наближається до критичного.

Для розв'язання актуальних завдань раціонального та екологічно обґрунтованого водокористування, екологічного моніторингу необхідно використовувати сучасні засоби отримання оперативної інформації про стан водних ресурсів. Систематичне одержання такої інформації традиційними методами вимагає значних витрат, а іноді взагалі неможливе. Досвід експлуатації природо-ресурсних штучних супутників Землі свідчить про перспективність та ефективність застосування методів ДЗЗ. Застосування аерокосмічних знімків значно розширює можливості проведення гідроекологічних, природоохоронних і водогосподарських робіт.

За допомогою даних ДЗЗ і програмних комплексів по їх обробці можна розв'язувати багато важливих завдань:

- інвентаризацію водосховищ й інших водних об'єктів;
- постійного спостереження за станом дамб й інших водозахисних і гідротехнічних споруд;
- оцінку екологічного стану водних об'єктів, у тому числі виявлення забруднених у результаті

аварійних скидів і розливів шкідливих речовин ділянок водойм, виявлення джерел забруднення;

— вивчення руслових процесів і картографування мікрорельєфу дна на мілководді;

— прогнозування і оперативний моніторинг повеней, моделювання процесів затоплення території в результаті повеней;

— моніторинг стану водоохоронних зон, несанкціонованого будівництва в їх межах промислових і житлових об'єктів;

— вирішення судових суперечок, пов'язаних з водокористуванням і порушеннями Водного кодексу України;

— визначення біологічної продуктивності водойм, виявлення водних біоресурсів, розв'язок рибницьких задач тощо.

Для розв'язку цих та ряду інших завдань, у більшості випадків необхідно отримувати регулярні дані з космосу із заданим періодом спостережень.

Водна поверхня є природним джерелом інформації для визначення як стану водойми в цілому, так і виявлення низки процесів, що відбуваються у товщі води.

Вважається, що найкращих результатів можна досягти при комплексному, синхронному використанні космічних та наземних досліджень, коли дані наземних вимірювань екстраполюються на картосхеми, одержані на основі космічних знімків і навпаки, аномалії, що виявлені на космічних зображеннях стають необхідною базовою інформацією для проведення наземних досліджень.

Уся ця інформація є основою побудови алгоритмів цифрової обробки і дешифрування космічних знімків.

Сьогодні функціонує досить велика кількість супутників ДЗЗ, на яких встановлені прилади, що забезпечують спостереження Землі в оптичному та інфрачервоному (ІЧ) діапазонах.

Програма Landsat (рис. 2) є однією з найстаріших по створенню та експлуатації космічних систем ДЗЗ та містить найтриваліший часовий ряд архівних космічних знімків (КЗ).

Безкоштовні дані Landsat-5,7 та 8 поширюються через Інтернет-архів USGS (<http://glovis.usgs.gov/>). Саме тому КЗ Landsat стали базовими для цього дослідження.

Далі буде наведено декілька прикладів практичного використання космічної зйомки та інформації ДЗЗ для моніторингу за станом водних об'єктів на прикладі Каховського водосховища.

При проведенні моніторингу Каховського водосховища використовувався комплексний підхід збору інформації, збирання та актуалізація великої кількості різноманітної інформації про водні об'єкти.

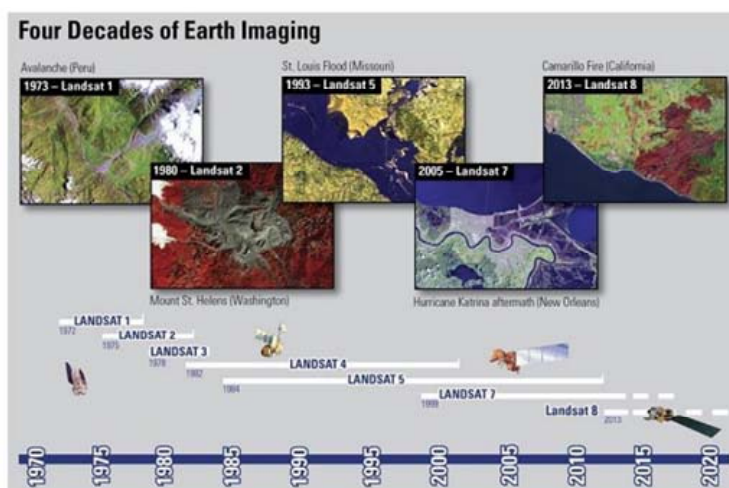


Рис. 2. Програма Landsat

У процесі роботи було використано дані супутника Landsat-8, який був запущений 11 лютого 2013 р. Він відрізняється від своїх попередників тим, що в ньому використовується не сканувальне дзеркало, а схема Push broom scanner з лінійними сенсорами. За 1 добу знімається 400 сцен (його попередник Landsat-7 приблизно 250 сцен). Супутник Landsat 8 отримує дані використовуючи два набори інструментів: Operational Land Imager (OLI) і Thermal InfraRed Sensor (TIRS). OLI працює в 9 спектральних діапазонах (табл. 4), TIRS в 2 діапазонах — 10 та 11 (табл. 5).

Сучасні супутники Landsat-8 дозволяють отримувати мультиспектральні знімки з просторовим розрізненням 15–60 м і періодичністю знімання 16–18 діб. Результати зйомки цих супутників є відносно відкритими і вже тривалий час широко використовуються у наукових дослідженнях.

Першим кроком дослідження стало завантаження космічних знімків із сайту Геологічної служби США (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

З декількох знімків було вибрано той, який було створено за сприятливих метеорологічних умов, а саме 7 серпня 2015 р. та для порівняння більш давній знімок 27 квітня 2013 р.

При опрацюванні космічних знімків важливим є поєднання каналів, яке дає можливість отримати вищий показник інформативності. Отже, для кожного компонента зображення (червоного, зеленого і синього) можна встановити різні канали, це дає змогу виділити на зображенні різні об'єкти місцевості (рослинність, гідрографію, будівлі тощо).

Результатом об'єднання знімків, отриманих в різних каналах (5–6–2) з Landsat-8 є зображення (рис. 3), на якому досліджуваний елемент місцевості — гідрографія виділяється значно краще. Здорова рослинність при такому об'єднанні відображається в червоних, коричневих, зелених і помаранчевих відтінках. Чиста, глибока вода буде виглядати темно синьою (майже чорною), більш світлими блакитними відтінками буде зображуватися мілководдя та водойма в якій знаходиться значна кількість суспензії (рис. 4).

Таблиця 4

Діапазони Operational Land Imager (OLI)

Спектральний канал	Довжина хвилі	Розрізненість (розмір 1 пікселя), м
Канал 1-Аерозолі	0.433 – 0.453 мкм	30
Канал 2-Синій	0.450 – 0.515 мкм	30
Канал 3-Зелений	0.525 – 0.600 мкм	30
Канал 4-Красний	0.630 – 0.680 мкм	30
Канал 5-Ближній ІК	0.845 – 0.885 мкм	30
Канал 6- Ближній ІК	1.560 – 1.660 мкм	30
Канал 7- Ближній ІК	2.100 – 2.300 мкм	30
Канал 8-Панхроматичний	0.500 – 0.680 мкм	30
Канал 9-Перисті хмари	1.360 – 1.390 мкм	30

Таблиця 5

Діапазони Thermal InfraRed Sensor (TIRS)

Спектральний канал	Довжина хвилі	Розрізненість( розмір 1 пікселя), м
Канал 10	10.30 — 11.30 мкм	100
Канал 11	11.50 — 12.50 мкм	100



Рис. 3. Комбінація каналів 5–6–2 Landsat-8 за знімком від 7 серпня 2015 р.: результат комбінації для Каховського водосховища

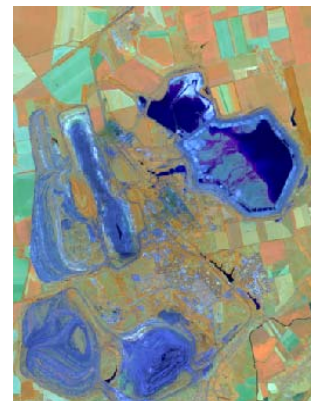


Рис. 4. Відображення мілководдя

Щодо вегетаційних індексів (VI), то їх використовують для отримання нових зображень, які дають змогу на підставі зміненого спектрального образу більш ефективно інтерпретувати об’єкти земної поверхні. Вегетаційні індекси розраховують у результаті комбінації пікселів різних спектральних діапазонів.

Індекси широко застосовують для картографування рослинності, оцінювання показників біопродуктивності сільськогосподарських культур, вмісту хлорофілу в морській воді. Вегетаційні індекси дозволяють виявити ті особливості зображень, які не вдається інтерпретувати навіть на спектральному знімку.

Найчастіше використовують нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який розраховується за формулою [4]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

де NIR — це значення яскравості в ближній інфрачервоній зоні, а RED — значення яскравості в червоній зоні. Значення індексу змінюється в межах від -1 до +1, для водних об’єктів значення NDVI становить — 0,25.

Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (незалежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відбиття рослин. У червоній зоні спектра (0,6–0,7 мкм), лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом рослин, а в інфрачервоній зоні (0,7–1,0 мкм) перебуває зона максимального відбиття клітинних структур. Тобто висока фотосинтетична ак-

тивність веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого — в інфрачервоній і кількість хлорофілу з цієї причини впливає на значення NDVI. Результат визначення вегетаційного індексу NDVI представлений на рис. 5

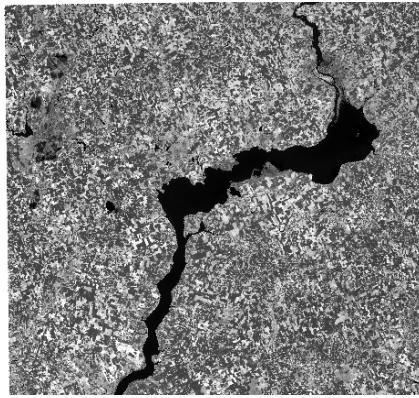
Індексні зображення створюють і на основі інших зональних співвідношень. Наприклад, концентрацію мінеральних частинок визначають за відмінностями в червоних та синіх кольорах.

Важливим питанням моніторингу є цвітіння води. Як відомо на цвітіння впливає скид біогенних речовин та забрудненої води з підприємств. Провівши розрахунок нормалізованого вегетаційного індексу, який є індикатором вмісту хлорофілу в рослинах і кількості зеленої біомаси було виявлено, що синьо-зелені водорості досягли значного розвитку. Це вказує на те, що в Каховському водосховищі відбувається бурхливе цвітіння води (рис. 6).

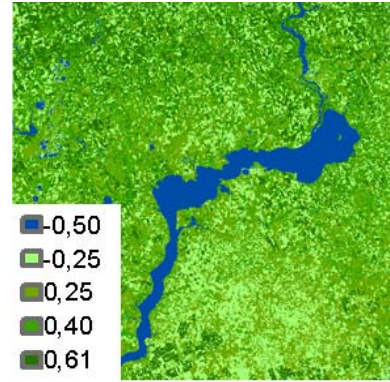
Синьо-зелені водорості своїм цвітінням на водосховищі наповнюють повітря задушливим смородом, а на воді — призводять до значної загибелі рибних ресурсів. Однак, цвітіння синьо-зелених водоростей — менше зло в порівнянні з їхньою відсутністю взагалі. Наприклад, у липні 2001 р. в Кременчуцькому водосховищі вода набула темно-червоного кольору, а його береги були рясно завалені дохлою рибою. Проведений тоді аналіз води засвідчив значний вміст у ній амонійного азоту, фенолів тощо. А кисню, навпаки, виявилось катастрофічно мало.

Виявилось, що органічні речовини розкладалися без участі кисню, що набагато небезпечніше, аніж зазвичай коли вода стає зеленою.





а



б

Рис. 5. Результат визначення вегетаційного індексу NDVI за знімком Landsat-8 від 7 серпня 2015 р.:

а — зображення в неперервній шкалі значень від -1 до +1; б — зображення квантоване на 5 ступенів

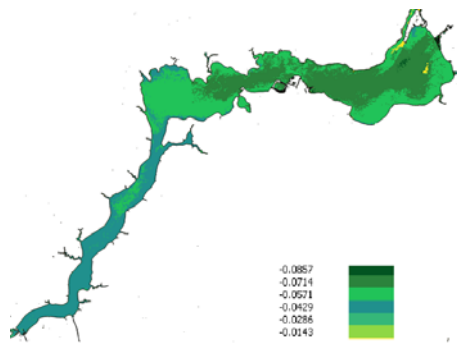


Рис. 6. Карта зон поширення «цвітіння» води за даними Landsat-8 від 7 серпня 2015 р.

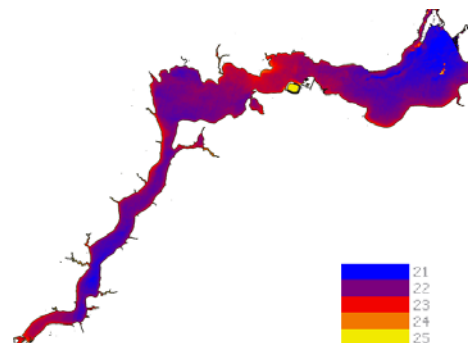


Рис. 7. Розрахунок значень температурного режиму водосховища в °С за даними Landsat-8 від 7 серпня 2015 р.

Температура води — це один із найголовніших показників, що має відношення до якості води і на неї істотно впливає. Сучасні методи ДЗЗ дозволяють встановлювати температуру земної та водної поверхонь великої території з точністю до 0,1 С. У свою чергу, це дозволяє з'ясувати не лише просторову картину температури, а й факторів, які на неї впливають.

Найпростішим шляхом отримання відомостей про температуру поверхневого шару води є знімки супутників серії Landsat-8, а саме знімків у тепловому інфрачервоному каналі (діапазон 10,40–12,50 мкм). Отримані знімки на певну дату опрацьовуються за формулою [5, 6]:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $K_1$  — калібрувальна константа 1;  $K_2$  — калібрувальна константа 2;  $L_\lambda$  — спектральна радіація, що прийшла на сенсор супутника.

Результати розрахунку температури поверхневого шару для Каховського водосховища показані на рис. 7.

З рис. 7 видно, що найбільший градієнт температури спостерігається в прибережній смузі.

Температура води біля берега істотно зростає у теплий період року, що зумовлює завищені дані для всього водосховища.

Наведені на рис. 6 дані показують значні відмінності термічного режиму водосховища в північно-східній та південно-західній ділянці.

Північно-східна ділянка водосховища — це мілководдя, яке є холоднішим на відміну від більш глибоких південно-західних ділянок. Таку ситуацію можна пояснити тим, що коли температура повітря стає більш холоднішою то температура води на мілководді змінюється швидше ніж на глибині [8–10].

На даному знімку температура вийшла практично однорідною 22–23 °С однак є місця зі значно вищою температурою.

Також на знімку добре видно смугу теплої води, що скидається з Каховської гідроелектростанції та Запорізької атомної електростанції (АЕС).

За даними зйомки максимальна температура сягає 25 °С, однак якщо збільшити кількість клавіш то знайдуться місце, де температура має вищі значення.

Наприклад таким об'єктом може бути Запорізька АЕС (рис. 8).

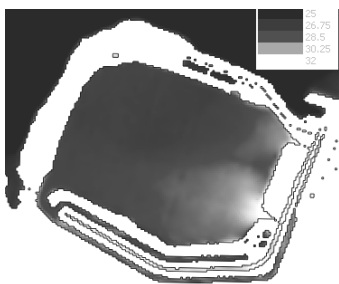


Рис. 8. Відображення температурного режиму Каховського водосховища біля Запорізької АЕС в °С за даними знімку Landsat-8 від 7 серпня 2015 р.

Зі знімку видно, що збільшивши кількість класів ранжирування температури, можна більш точно визначити температуру (синій колір — значення 25 °С).

### Висновки

Приклади наведені в даній роботі, ще раз підкреслюють беззаперечну перспективу використання можливостей технологій ГІС та ДДЗ для моніторингу водних об'єктів та для управління водними ресурсами. В цій роботі встановлено інтерпретаційну перевагу зображень за вегетаційним індексом NDVI, отримано нові зображення та проведено їх аналіз. Було розраховано розподіл температури води Каховського водосховища на основі знімку отриманого супутником Landsat-8. Досліджено, що у мілководних і глибоких частинах водосховища температура води різна. Окрім температури води, методи ДДЗ дають можливість виявляти динаміку «цвітіння» — явища, яке істотно впливає на якість води. Прояв «цвітіння» відбувається через зміну забарвлення води внаслідок масового розмноження мікроскопічних водоростей. Саме тому методи обробки космічних знімків для виявлення ділянок «цвітіння» води зазвичай базуються на аналізі варіацій коефіцієнту дифузного відбивання світла поверхневими і підповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. Такий підхід при використанні інтегральних інформативних показників відкриває нові можливості для виявлення загальних тенденцій змін, що відбуваються у екосистемах, може скласти основу комплексного моніторингу водойм та їх водозборів на якісно новому рівні і слугувати базою розробки екологічно дружніх та нових методів дослідження.

Проте сьогодні визначення якості води методами ДДЗ залишається досить проблематичним. Існує можливість лише візуальної оцінки якісного стану водойм, зокрема таких показників як кольоровість, каламутність, прозорість тощо. Так, за даними ДДЗ досить легко розрізнити водойми за їх трофічністю, до поняття якої належить поширення синьо-зелених водоростей. Останнім часом з'являються результати наукових досліджень, в яких показана можливість встановлення концентрацій певних хімічних елементів та фізичних показників.

Сучасні методи ДДЗ дають змогу розв'язувати достатньо багато прикладних завдань, які стосуються розмірів водойм та процесів, що в них відбуваються. Так, за допомогою методів ДДЗ встановлено, що площа Каховського водосховища, порівняно з проектною, трохи зменшилася. Інший процес, який можна дослідити, це заростання та замулення водосховищ.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **A joint report by the twenty-three UN agencies concerned with fresh water.** p. 140 [http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001297/129726\\_e.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001297/129726_e.pdf)
2. **Зацерковний В. І.,** Тішаєв І. В., Віршило І. В., Демидов В. К. Геоінформаційні системи в науках про Землю // Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. — 510 с.
3. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідрографічне\\_районування\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідрографічне_районування_України).
4. **NDVI** — теория и практика (<http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>).
5. **Конвертация** данных Landsat TM/ETM + в значения температуры — Теория (<http://gis-lab.info/qa/dn2temperature.html>).
6. **Грищенко Е. В.** Использование данных спутника LANDSAT-8 для оценки экологического состояния Каховского водохранилища // ГБУЗ «Национальный горный университет», 2012.
7. **Дистанционное геотермическое картографирование** <http://gis-lab.info/qa/thermal.html>.
8. **Обработка** и интерпретация данных Landsat-8 (OLI) средствами GRASS GIS (<http://gis-lab.info/qa/grass7-landsat8>).
9. **Космический мониторинг** состояния водных объектов / Режим доступа: — [http://www.ntsomz.ru/projects/eco/econews\\_271108\\_beta](http://www.ntsomz.ru/projects/eco/econews_271108_beta).

Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Тішаєв І. В., Казанюк Т. А.

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Об'єктивна оцінка стану водних об'єктів може бути виконана на підставі актуальних і точних даних моніторингу. Важливими вимогами моніторингу є точність визначень, репрезентативність, достатня повторюваність вимірів. Актуальними завданнями моніторингу є ефективне управління водними ресурсами, раціональне водокористування, оперативна і неупереджена оцінка стану якості води. Поставлені завдання не є тривіальними проте використання сучасних технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і геоінформаційних технологій (ГИТ) дозволяють систематично отримувати та інтерпретувати дані фотометричних параметрів окремих водних об'єктів, водозбірних територій в широкому спектральному діапазоні з необхідною розрізненістю і періодичністю актуалізації інформації, оцінювати їх санітарно-біологічні характеристики.*

*Розглянуті сучасні підходи до використання даних дистанційного зондування Землі для визначення екологічного стану водних об'єктів. Розглянуто питання практичного застосування даних мульти-спектральної зйомки супутників Landsat-8 для моніторингу водних об'єктів.*

**Ключові слова:** моніторинг, дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи, цифрова модель місцевості, вегетаційний індекс, Каховське водосховище.

Zatserkovnyi V., Oberemok N., Tishaiev I., Kazanyuk T.

## USING OF GIS TECHNOLOGIES AND REMOTE SENSING TOOLS FOR MONITORING OF WATER OBJECTS

*An objective assessment of the state of water bodies can be made based on timely and accurate monitoring data. Important requirements of the monitoring is the accuracy of definitions, representativeness, and sufficient repeatability. Relevant monitoring tasks are effective water management, water management, operational and objective assessment of the state of water quality. The tasks is not trivial, however, the use of modern technologies of remote sensing (RS) and Geographic Information Technologies (GIT) allows systematically receive and interpret data photometric parameters of individual water bodies, catchment areas in a wide spectral range with the necessary separation and periodic updating of information, to assess their sanitary — biological characteristics.*

*Modern approaches to the use of remote sensing data to determine the ecological state of water bodies. The issues of practical application of data capture multispectral satellites Landsat-8 for monitoring of water bodies.*

**Key words:** monitoring, remote sensing, geographic information systems, digital terrain model, vegetation index, Kakhovka reservoir.

Зацерковный В. И., Оберемок Н. В., Тишаев И. В., Казанюк Т. А.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГИС И СРЕДСТВ ДЗЗ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Объективная оценка состояния водных объектов может быть выполнена на основании актуальных и точных данных мониторинга. Важными требованиями мониторинга является точность определений, репрезентативность, достаточная повторяемость измерений. Актуальными задачами мониторинга являются эффективное управление водными ресурсами, рациональное водопользование, оперативная и объективная оценка состояния качества воды. Поставленные задачи не являются тривиальными однако использование современных технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий (ГИТ) позволяют систематически получать и интерпретировать данные фотометрических параметров отдельных водных объектов, водосборных территорий в широком спектральном диапазоне с необходимой разрозненностью и периодичностью актуализации информации, оценивать их санитарно-биологические характеристики.*

*Рассмотрены современные подходы к использованию данных дистанционного зондирования Земли для определения экологического состояния водных объектов. Рассмотрены вопросы практического применения данных мультиспектральных съемки спутников Landsat-8 для мониторинга водных объектов.*

**Ключевые слова:** мониторинг, дистанционное зондирование Земли, геоинформационные системы, цифровая модель местности, вегетационный индекс, Каховское водохранилище.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2017 р.  
Прийнято до друку 28.02.2017 р.  
Рецензент — д-р техн. наук, проф. О. М. Карпенко