

УДК 502.5.+614.7: 556.531

**О. О. Дмитрієва**, д-р економ. наук, с. н. с.;

**А. В. Кошель**, канд. техн. наук, доц.; **І. В. Колдоба**;

**Б. В. Лисов**; **О. А. Кошель**

(УкрНДІЕП)

## **ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ З ЕВТРОФОВАНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ЇХ СТАНОМ МЕТОДАМИ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

*У даній статті пропонується еколого-соціальна оцінка ступеня безпеки водокористування з евтрофованих поверхневих водних об'єктів. Запропоновано метод оперативного контролю за рівнем розвитку «цвітіння» шляхом використання дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ).*

**Ключові слова:** *поверхневі води, еколого-соціальний ризик, водна екосистема, евтрофування водних об'єктів, дистанційне зондування Землі, вегетаційний індекс.*

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Першочерговими задачами державної екологічної політики України є надання громадянам права «на безпечне для життя і здоров'я навколишнє середовище», «забезпечення екологічної безпеки та підтримка екологічної рівноваги на території» (ст. 50, 16) [1].

Виходячи з цього, згідно з чинним законодавством України в галузі природокористування, усі рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, повинні прийматися із здійсненням оцінки їх можливого впливу на здоров'я населення. Саме здоров'я населення визнано основним критерієм ефективності функціонування усіх без винятку сфер господарської діяльності, а забезпечення населення міст та інших населених пунктів питною водою в належній кількості та необхідної якості – основною задачею органів виконавчої влади.

У світі одним з найбільш вагомих факторів, який негативно впливає як на стан водних екосистем, так і на життєдіяльність мешканців населених пунктів, розташованих поблизу водних об'єктів, є антропогенне евтрофування вод. Велику небезпеку являє сезонний прояв

евтрофування – «цвітіння» вод. За даними світової статистики приблизно у 40–50 % випадків «цвітіння» у воді накопичуються значні концентрації сполук, які викликають захворювання людей та тварин. Останнім часом таке явище позначають терміном «шкідливе «цвітіння» водоростей» (ШЦВ) [2],

Негативними наслідками шкідливого «цвітіння» є: погіршення якості води за органолептичними, гідрохімічними та санітарно-мікробіологічними показниками, накопичення біологічно активних речовин – вітальних виділень водоростей і продуктів їх розкладу, у тому числі токсичних, алергенних і канцерогенних. Використання «квітучих» водних об'єктів у рекреаційних цілях та в якості джерел питного водопостачання призводить до збільшення ризику для здоров'я людини, в першу чергу, за рахунок негативного впливу значних концентрацій у воді токсинів та метаболітів водоростей (кон'юнктивіти, алергія, токсикози, ураження печінки й ін.); у результаті супутнього «цвітінню» біологічного забруднення вод – бактеріального, вірусного, грибового (холера, гастроентерити, лямбліози, енцефаліти й ін.), а також до підвищення ризику утворення шкідливих речовин у процесі обробки води за існуючими технологіями (наприклад, утворення діоксинів при хлоруванні води, забрудненої фенольними сполуками). Це свідчить про екологічну та соціальну значимість проблеми антропогенного евтрофування поверхневих вод [3, 4, 5].

У процесі еколого-медичних досліджень причин виникнення екзогенного алергічного альвеоліту у мешканців населеного пункту, розташованого на березі евтрофованої водойми, авторами була розроблена та апробована еколого-соціальна концепція водокористування населених пунктів України [6].

Особливо уразливою до токсичного впливу синьозелених водоростей є сенсibilізована група населення з підвищеним ризиком захворюваності. Для зменшення ризику виникнення спалахів захворюваності у таких групах необхідно мати інформаційне підґрунтя для оперативного ранжування і впровадження запобіжних заходів. Отже, актуальною проблемою є розроблення оцінки ризику водопостачання з поверхневих водних об'єктів у залежності від рівня їх евтрофування та здійснення оперативного моніторингу за рівнем розвитку «цвітіння» із застосуванням методів космічного моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На цей час в Україні успішно використовуються два найбільш поширені методи оцінки якості поверхневих вод.

Оцінка якості поверхневих вод – джерел господарсько-питного водопостачання в Україні виконується згідно з ДСТУ 4808:2007 [7]. Проте не зважаючи на значний набір показників, використовуваних для визначення якості води (органолептичні, загальносанітарні, гідробіологічні, мікробіологічні, паразитологічні, токсикологічні та радіаційні показники, загальною кількістю 80), із градацією по чотирьох класах якості води за гігієнічними та екологічними критеріями, він не дозволяє у повному обсязі врахувати шкідливий вплив ступеня розвитку евтрофування на стан здоров'я сенсibiliзованої групи мешканців населених пунктів, розташованих поблизу евтрофованих водойм. Крім того, використання в класифікації лише чотирьох градацій якості вод робить оцінку недостатньо чутливою.

Широко використовувана «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» передбачає обчислювання екологічного індексу якості вод на основі значень трьох індексів за відповідними групами (блоками) показників: сольового складу, трофо-сапробіологічних показників і вмісту речовин токсичної та радіаційної дії і рівня токсичності [8]. Але цей підхід не дозволяє оцінити якість вод з позицій водокористування, зокрема, господарсько-питного водопостачання.

Застосовувані в Україні методи оцінки якості поверхневих вод мають свої переваги та недоліки, але жоден з них не забезпечує оперативного прийняття рішення щодо безпечності водокористування евтрофованих водних об'єктів.

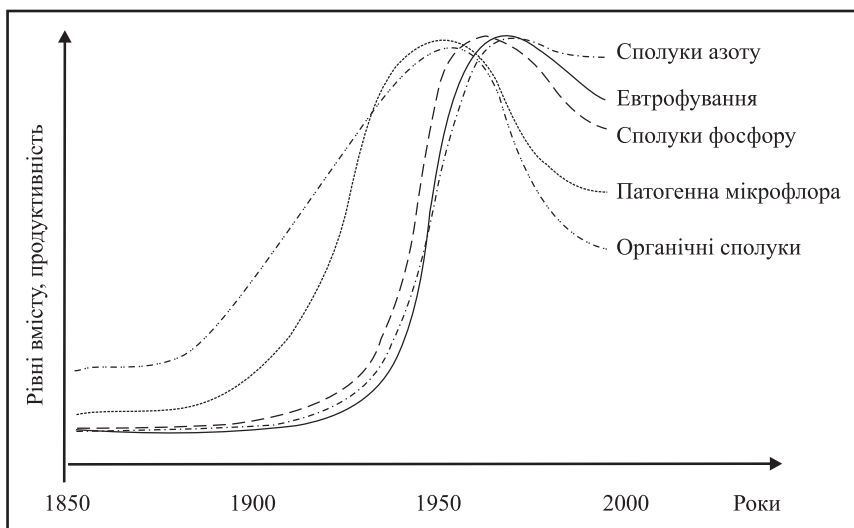
У системі управління водними ресурсами у більшості розвинених країн широко використовується концепція «припустимого ризику», де також екологічні та соціально-медичні оцінки не об'єднуються.

**Метою статті** є розроблення методу комплексного еколого-соціального оцінювання евтрофованих водойм, схильних до ШЦВ, та вдосконалення оперативного контролю їх стану шляхом впровадження методів космічного моніторингу. Такий підхід дозволить оцінити можливість використання поверхневих вод в якості джерел водопостачання не тільки у теперішній час, але й у перспективі, виявити зони екологічної небезпеки, а також визначити необхідні водоохоронні заходи.

## Викладення основного матеріалу досліджень

В Основній (рамковій) Директиві ЄС 2000/60/ЄС [9] райони питних водозаборів та водойми, що зазнають антропогенного евтрофування, віднесені до зон, які підлягають особливій охороні, з більшою суворістю регламентацією антропогенного навантаження. «Цвітіння» поверхневих вод є значним фактором ризику для благополуччя життєдіяльності населення.

Динаміку евтрофування та погіршення у зв'язку з цим екологічного стану водних об'єктів наведено на рис. 1. Загроза антропогенного евтрофування і погіршення умов водокористування набули глобального масштабу і стали актуальною світовою проблемою сучасності [10].



*Рис. 1. Взаємозв'язок евтрофування поверхневих вод і ступеня їх мікробіологічного та хімічного забруднення*

Зважаючи на викладене вище, а також враховуючи екологічну ситуацію, яка склалася в останні десятиріччя, в Україні потрібні нові екологічні підходи у галузі використання, охорони, відновлення водних ресурсів як на рівні практичної діяльності, так і для вироблення політичних рішень у напрямку впровадження стратегії сталого розвитку в галузі водокористування, що ускладнюється недосконалістю методологічної бази.

Раціональне та ефективне використання водних ресурсів, що перебувають у незадовільному екологічному стані, можливе за умов високого рівня їх вивченості як об'єктів зі складною структурою та розгалуженою системою природних і господарських зв'язків, наявності вірогідної інформації щодо їх екологічного стану, яка необхідна для своєчасного прийняття управлінських рішень, розроблення прогнозів і обґрунтування комплексу водоохоронних заходів.

Комплексне еколого-соціальне оцінювання поверхневих водних об'єктів (рис. 2), на відміну від існуючих підходів до отримання аналогічних оцінок, складається з двох програм: екологічного дослідження водних екосистем та еколого-соціального дослідження впливу водного фактора на життєдіяльність населення за допомогою суто медичних методів [6]. Це пояснюється тим, що з усіх компонент довкілля значимість водного фактора найвища, він являє собою первинний чинник життєзабезпечення людини та основу розвитку продуктивних сил країни.

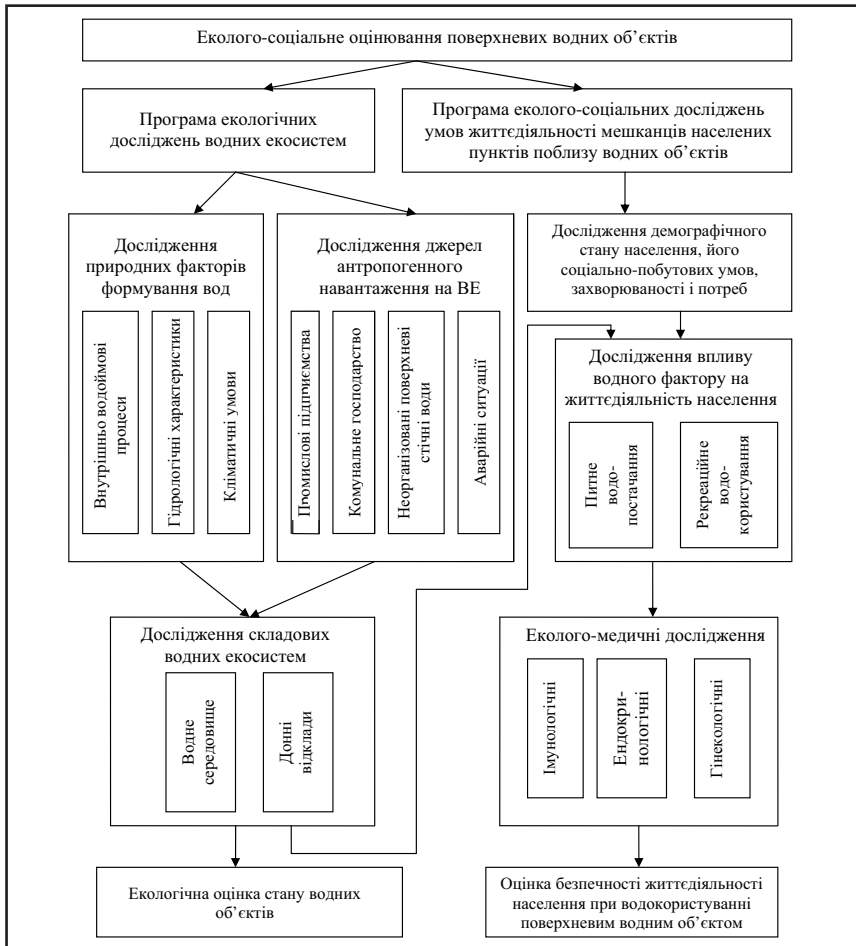
Комплексне еколого-соціальне оцінювання поверхневих водних об'єктів являє собою багаторівневий процес послідовних дій, який містить:

- розроблення програм екологічних досліджень водних екосистем та еколого-соціальних (медичних) досліджень умов життєдіяльності мешканців населених пунктів, розташованих на узбережжі водних об'єктів;
- дослідження основних факторів формування стану водних екосистем та умов життєдіяльності населення, які включають як умови існування їх сучасного стану, так і основні фактори впливу на екосистеми та життєдіяльність населення;
- одержання екологічної оцінки стану водних екосистем, яка передбачає оцінку стану водного середовища та донних відкладів;
- дослідження основних факторів впливу водного фактора на життєдіяльність населення, які включають характеристику демографічного стану населення, його соціально-побутові умови, захворюваність, а також результати дослідження екологічного стану водних об'єктів;
- проведення медичних досліджень впливу водного фактора на стан здоров'я населення та визначення потенційного ризи-

ку захворюваності населення внаслідок водокористування зазначеним водним об'єктом;

- розроблення комплексної еколого-соціальної оцінки безпечності життєдіяльності населення при водокористуванні, що розглядається (стосовно поверхневих водних об'єктів).

Запропоноване комплексне еколого-соціальне оцінювання (рис. 2) стосується всіх водних об'єктів. У цій статті розглянуто особливості



**Рис. 2. Концепція комплексного еколого-соціального оцінювання поверхневих водних об'єктів**

його застосування для евтрофованих водойм, схильних до шкідливого «цвітіння». В Україні переважна більшість водосховищ та ставів мають підвищений рівень евтрофування.

При оцінюванні безпеки водокористування з евтрофованих водних об'єктів використано методологію ризику для оцінки вірогідності виникнення несприятливих наслідків у залежності від ступеня розвитку шкідливого «цвітіння».

Запропонований спосіб (табл. 1) передбачає обчислення послідовно трофо-сапробного індексу  $I_{tc}$  [8] та трофічного індексу Карлсона (Trophic State Index – TSI), який є функцією, що залежить від концентрації вмісту хлорофілу-А (Chl) та визначається за формулою [11]:

$$I_t = TSI(Chl) = 10 \cdot \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln(Chl)}{\ln 2} \right). \quad (1)$$

Мінімальне значення трофічного індексу Карлсона дорівнює 1, максимальне – 100.

Наступним розраховується гігієнічний індекс  $I_r$  – аналогічно трофо-сапробному, з використанням удосконаленої гігієнічної класифікації [12].

Оцінка рівня ризику евтрофування поверхневих вод визначається на основі значень інтегрального показника рівня шкідливого «цвітіння» відповідно до табл. 1, розробленої на основі аналізу статистичних даних екологічного та гігієнічного моніторингу поверхневих вод України та експертних оцінок.

Інтегральний показник рівня «цвітіння»  $P_{ц}$  обчислюється за формулою:

$$P_{ц} = \frac{B_{\phi} + B_{\phi r} + I_{tc} + I_t + I_r}{N}, \quad (2)$$

де  $B_{\phi}$  – значення показника біомаси фітопланктону (у балах);  $B_{\phi r}$  – значення частини біомаси токсичних водоростей від загальної біомаси (у балах),  $N$  – кількість використаних характеристик.

Градаціям величини  $P_{ц}$  відповідає певний рівень еколого-соціального ризику водокористування.

Проведення спостережень стану поверхневих вод на водосховищах з суттєвим просторовим різноманіттям з урахуванням динаміки рівня

евтрофування лише контактними методами викликає істотні фінансові та організаційні труднощі. Найбільш доцільним є спільне використання при обстеженнях методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та методів наземного контролю, що є не тільки більш дешевим, але й сприятиме підвищенню точності та оперативності спостережень, а отже, і підвищенню ефективності оперативних управлінських рішень у галузі природокористування, що приймаються на їх основі.

Для оперативного моніторингу евтрофованих водойм у сезон масового розвитку фітопланктону для визначення ступеня трофності водного об'єкта доцільно використовувати методи ДЗЗ [13, 14]. Сучасна апаратура дистанційного зондування вже має можливості для вимірювань продуктивності вод на коротких часових інтервалах [15–17]. Одним з таких приладів є спектрорадіометр MODIS, встановлений на супутнику TERRA (завдяки наявності великої кількості вузьких спектральних каналів, що охоплюють широкий діапазон спектра). Важливим аргументом на користь використання MODIS є можливість своєчасного і регулярного одержання даних.

Дослідження динамічних характеристик внутрішніх водойм можливе тільки завдяки регулярному прийому та обробці супутникових даних. Оскільки супутникова інформація надходить на станцію в необробленому вигляді (рівень 0 даних MODIS), постає задача обробки та зберігання даних. Спочатку надходять дані, які обробляються на супутниковій станції до рівня 1B, у форматі HDF; потім дані передаються у лабораторію, де із застосуванням операційної системи Linux обробляються до рівня MOD 09. Інформація на рівні обробки MOD 09 містить багатоспектральні дані про відбиття випромінювання від поверхні суші. Процес обробки даних для цього рівня включає застосування хмарної маски і атмосферної корекції. У цих даних міститься інформація, у тому числі, і про внутрішні водойми. Наступним етапом, відсутнім при стандартній обробці даних MODIS, є визначення концентрації хлорофілу «а» для внутрішніх водойм.

В якості об'єкта для дослідження було обрано Кременчуцьке водосховище. Цей вибір обумовлений високим рівнем біомаси фітопланктону, наявністю низки натурних досліджень водосховища і доступністю архіву супутникових знімків даного району [18, 19, 14]. Отримана інформація про продуктивність Кременчуцького водосховища



1. Шкала визначення зон еколого-соціальної небезпеки за рівнем «цвітіння» поверхневих вод – джерел питного водопостачання

Якість поверхневих вод (рівні «цвітіння» води)	Оцінки трофності вод					Оцінка ризику очікуваних ефектів «цвітіння» вод	
	екологічні			гігієнічні		з екологічних позицій	з соціальних позицій
	Біомаса фітопланктону, мг/дм <sup>3</sup>	Біомаса токсичних видів водоростей, %	It	Тс	Чисельність фітопланктону, тис. кл/дм <sup>3</sup>		
<b>Чиста</b> (I початкове)	<2,0	<5,0	<40	<3,0	≤ 1,0	1-1.4	Відсутність будь-яких проявів негативного впливу
<b>Слабко забруднена</b> (II слабе)	2,1 – 5,0	5-10	41-53	3,0 – 4,4	≥ 1,0 < 50	1.5-2.09	Поява плівок на поверхні води, пригніблення функціонування особливо чутливих організмів
<b>Помірно забруднена</b> (III помірне)	5,1 – 10,0	11-25	54-63	4,5 – 5,4	≥ 50 < 100	2.1-3.0	Поява шару спливаючих водоростей, погіршення якості води, порушення збалансованості продукції і деструкції, зміна видової і популяційної розмаїтості, уповільнення самоочищення

Закінчення табл. 1.

Якість поверхневих вод (рівні «цвітіння» води)	Оцінки трофності вод					Оцінка ризику очікуваних ефектів «цвітіння» вод	
	екологічні			гігієнічні		з екологічних позицій	з соціальних позицій
	Біомаса фітопланктону, мг/дм <sup>3</sup>	Біомаса токсичних видів водоростей, %	ІІ	ІІІ	І		
<b>Брудна</b> (IV сильне)	10,1 – 50,0	25-50	64-71	5.5 – 6.4	≥ 100 < 500	Утворення плям «цвітіння» і нагонних мас водоростей, різке погіршення якості води, пригноблення функціонування багатьох гідробіонтів, аж до заморів; мікробіальне забруднення вод	Забивання фільтрів, обростання устаткування, поява запахів і присмаків, алыготоксинів; погіршення стану здоров'я найбільш чутливих груп населення
<b>Дуже брудна</b> (V дуже сильне «гіперцвітіння»)	>50,0	> 50	≥72	>6.5	>500	Товщина шару скучення водоростей досягає декількох сантиметрів, відбувається інтенсивне забруднення вод, збільшується їх токсичність, спостерігаються замори безребетних і риб, відбувається деградація екосистеми	Водний об'єкт не може бути використаний як джерело питного водопостачання

зберігається з метою подальшого аналізу динаміки даного параметра і розробки прогнозних моделей у подальшому.

Основою для визначення зон «цвітіння» обрано визначення вегетаційного індексу при зйомці водних об'єктів. Відомо, що в ближній інфрачервоній (БІЧ) області світло майже не проникає вглиб водної товщі, проте концентрації фітопланктону на Кременчуцькому водосховищі, особливо в періоди «цвітіння» [20], надзвичайно високі і велика кількість біомаси зосереджена у верхньому шарі [17, 19]. У звичайних умовах при зйомці водних поверхонь величина вегетаційного індексу набуває від'ємних значень, але під час «цвітіння» вона може ставати додатною. Тому за основу індикації прийнята величина добре відомого вегетаційного індексу, яка в даному випадку має сенс нормалізованого індексу кольору в червоній області спектра. Мірою слугує ступінь «додатності» цього індексу кольору.

Для верифікації даного методу були використані результати натурних вимірювань біомаси фітопланктону та хлорофілу «а» на Кременчуцькому водосховищі за кілька попередніх років. За джерело супутникової інформації були взяті дані NOAA/AVHRR.

Щодо дистанційних методів, то вміст хлорофілу «а» в технічному відношенні є найзручнішим для вимірювання показником трофності, тому його визначення при одночасному проведенні наземних й дистанційних спостережень є найбільш перспективним [21].

За даними наземних спостережень на обраному водному об'єкті будується матриця одержаних результатів. У цій матриці наведена концентрація хлорофілу «а» у вибраних пунктах спостережень.

Паралельно із наземними спостереженнями проводиться одержання і обробка даних ДЗЗ. У результаті цієї обробки одержується інформація про коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ) пікселів зображення, за якими будується матриця даних ДЗЗ ( $Y_{it}$ ), яка потім узгоджується з матрицею даних наземних спостережень ( $X_{it}$ ). Яскравісні характеристики точок поверхні водосховища аналізуються як у зеленій (0,51–0,55 мкм), так і у червоній області спектра (0,6–0,7 мкм), де лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом водоростей, а в інфрачервоній області (0,7–1,0 мкм) перебуває область максимального відбиття для водоростей.

За одержаним масивом даних методом найменших квадратів визначено залежність величини КСЯ від вмісту хлорофілу, яка має загальний вигляд:

$$X = \frac{1}{\beta} (\ln a - \ln(d - Y)), \quad (3)$$

де  $Y$  – значення результатів космічних вимірювань;  $X$  – вміст хлорофілу «а» у заданій області водного об'єкта;  $a$ ,  $\beta$ ,  $d$  – коефіцієнти, які визначають за даними масивів  $X$  та  $Y$  методом найменших квадратів.

Отримавши значення КСЯ у визначених областях спектра, переходять до розрахунків більш інформативних і незалежних від зовнішніх чинників показників стану водних об'єктів – так званих індексів.

Нормалізований різницевий індекс рослинності NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – простий кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси, зазвичай званий вегетаційним індексом. Це один з найбільш поширених індексів для розв'язання задач, що використовують кількісні оцінки рослинного покриву (зокрема, водоростей у слабо проточних водоймах). Індекс обчислюється за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (4)$$

де NIR – коефіцієнт відбиття в ближній інфрачервоній області спектра; RED – коефіцієнт відбиття в червоній області спектра.

Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках спектральної кривої відбиття рослин. У червоній області спектра (0,6–0,7 мкм), лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом рослин, а в інфрачервоній області (0,7–1,0 мкм) перебуває область максимального відбиття клітинних структур. Тобто висока фотосинтетична активність веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого – в інфрачервоній, і кількість хлорофілу з цієї причини впливає на значення NDVI.

Співставлення цих показників один до одного дозволяє чітко аналізувати й відокремлювати рослинні об'єкти від інших природних об'єктів. Використання ж не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття збільшує точність вимірювання, дозволяє зменшити вплив таких явищ, як відмінності

в освітленості знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою та ін. Для води з незначною кількістю водоростей індекси NDVI набувають від'ємних значень, а чим більше зеленої фітомаси, тим вони вищі і стають додатними. Індекс NDVI може набувати значення від  $-1$  до  $+1$ . Він може бути розрахований (як різниця значень відбиття в ближній інфрачервоній і червоній областях спектра, поділена на їх суму) на основі будь-яких знімків високого, середнього або низького розділення, якщо КА мають спектральні канали в червоному ( $0,55-0,75$  мкм) і інфрачервоному діапазоні ( $0,75-1,0$  мкм). Алгоритм розрахунку NDVI вбудований практично в усі поширені пакети програмного забезпечення, пов'язані з обробкою даних дистанційного зондування (ArcView Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView та ін.).

Для зеленої рослинності відбиття в червоній області завжди менше, ніж в ближній інфрачервоній області за рахунок поглинання світла хлорофілом (табл. 2).

У ході аналітичних досліджень для кожного пікселя зображення розраховується значення індексу NDVI та виконується прив'язка отриманих значень до точок на водосховищі (точок контролю якості води контактними методами). На основі спільного аналізу результатів наземних спостережень щодо вмісту хлорофілу «а» у Кременчуцькому водосховищі та даних космічних спостережень у цьому регіоні із визначенням коефіцієнта спектральної яскравості та NDVI методом експертних оцінок одержано оцінку рівня «цвітіння» поверхневих водних об'єктів (табл. 3). Визначення ризику водокористування у залежності від рівня евтрофованості водних об'єктів проводиться відповідно до запропонованої шкали (табл. 2).

Використання методу ДЗЗ із визначенням космічних показників дозволяє одержати оперативну оцінку ступеня безпеки водокористування в залежності від рівня розвитку евтрофування поверхневих водних об'єктів.

Визначення концентрації хлорофілу «а» шляхом дистанційного зондування водної поверхні дозволяє характеризувати розподіл водоростей по акваторії за тих чи інших гідрометеорологічних умов і дає чітку інформацію щодо еколого-санітарної ситуації, що формується в місцях питних і технічних водозаборів, зон рекреації та на інших

## 2. Вегетаційний індекс для різних об'єктів

Тип об'єкта	Коефіцієнт відбиття у червоній області спектра	Коефіцієнт відбиття у ближній інфрачервоній області спектра	NDVI
Густа рослинність	0,1	0,5	0,7
Розріджена рослинність, водорості	0,1	0,3	до 0,5
Відкритий ґрунт	0,25	0,3	0,025
Хмари	0,25	0,25	0
Сніг і лід	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

## 3. Шкала визначення рівня «цвітіння» поверхневих водних об'єктів із використанням методів ДЗЗ

Якість поверхневих вод (рівні «цвітіння» води)	КСЯ	NDVI	Вміст хлорофілу «а», мкг/дм <sup>3</sup>
<b>Чиста</b> (I початкове)	≤ 4	≤0,05	< 1
<b>Слабо забруднена</b> (II слабке)	4–19	0,05–0,2	1–10
<b>Помірно забруднена</b> (III помірне)	20–33	0,2–0,3	11–50
<b>Брудна</b> (IV сильне)	34–40	0,3–0,4	51–100
<b>Дуже брудна</b> (V дуже сильне «гіперцвітіння»)	>40	>0,4	>100

ділянках водосховищ. Основні інформаційні ознаки градацій «цвітіння» охоплюють як просторові частотні характеристики зон «цвітіння» вод, так і спектрально-яскравісні ознаки, пов'язані з особливостями поглинання і відбиття світлового потоку хлорофілом «а», концентрація якого відображає біомасу фітопланктону. Це дозволить оперативно приймати необхідні адекватні управлінські рішення щодо зменшення негативних еколого-соціальних наслідків водокористування з евтрофованих водних об'єктів.

Ефективність методу оцінки ступеня безпеки водокористування з поверхневих водних об'єктів у залежності від рівня їх евтрофування за даними космічного моніторингу було перевірено на практиці в процесі визначення оцінки ступеня безпеки водокористування для потреб населення у зоні, що прилягає до дамби Кременчуцького водосховища.

Запропонований підхід може бути використаний для орієнтовної оцінки еколого-соціального ступеня безпеки водокористування для інших водосховищ Дніпровського каскаду. Для одержання уточненої оцінки щодо будь-якого водного об'єкта необхідно провести комплекс спеціальних наземних та космічних спостережень із визначенням величин вмісту хлорофілу «а» у водному середовищі та значень КСЯ і нормалізованого різницевого вегетаційного індексу з визначенням значень коефіцієнтів для конкретного водного об'єкта. Це дозволить у подальшому за формулою (3) скорегувати значення КСЯ і NDVI у табл. 3 і одержувати покращену оцінку ступеня безпеки водокористування з досліджуваного водного об'єкта.

## **Висновки**

Запропонований у статті методичний підхід апробовано при проведенні екологічних та медичних досліджень причин виникнення спалахів екогенного алергічного альвеоліту в одному з придніпровських міст.

Для вирішення задач безпеки водокористування з евтрофних водних об'єктів, особливо для сенсibilізованої групи мешканців, необхідно оцінювати ступінь розвитку «цвітіння» не тільки з еколого-гігієнічних (як зазначено у ДСТУ 4808:2007), але й з еколого-соціальних (спеціальних медичних) позицій. При цьому еколого-соціальні дослідження умов життєдіяльності сенсibilізованої групи мешканців знаходяться у площині соціальної медицини, яка вивчає стан здоров'я населення та чинники, що його формують.

Запропоноване комплексне еколого-соціальне оцінювання є базою для вживання еколого-соціальних заходів держави у напрямку збереження здоров'я населення та оздоровлення евтрофованих водних екосистем.

Прийняття оперативних управлінських рішень потребує оперативного визначення ступеня безпеки водокористування, для чого доцільно використовувати дані ДЗЗ. Наземні методи спостережень потребують значної кількості часу, наявності кваліфікованих спеціалістів,

специфічного устаткування, отже вони є точними, але достатньо витратними і займають багато часу. Методи космічних спостережень є значно дешевшими і дозволяють охоплювати значні території. Для оперативного визначення ступеня безпеки водокористування можна використовувати дані ДЗЗ, за якими визначається величина КСЯ і NDVI та відповідні певним градаціям цих космічних показників ступені еколого-соціального ризику водокористування. Якщо при використанні дистанційних методів контролю одержано величини КСЯ і NDVI в межах II–III класів якості вод за рівнем «цвітіння» (10–25), згідно з яким еколого-соціальний ризик водокористування є істотним, то в даному регіоні бажано проведення детальних наземних спостережень. Такий підхід дозволить одержувати оперативну достовірну інформацію щодо еколого-соціального ризику водокористування в залежності від ступеня розвитку евтрофування у водних об'єктах.

Отримані результати показали, що для оцінки розвитку фітопланктону можна використовувати видимий і БІЧ частини спектра. Описаний підхід дозволяє використовувати для визначення ступеня розвитку фітопланктону як дані супутників NOAA/AVHRR, так і дані 1-го і 2-го каналів TERRA/MODIS.

1. Конституція України. – К. : Преса України, 1997. — 80 с.
2. Toxic Cyanobacteria in Water. By I. Chorus and J. Bartram. – London and New York, 1999. – P. 114-140.
3. *Дмитрієва Е. А.* Социально-экологические проблемы качества воды водоемов – источников питьевого водоснабжения / *Дмитрієва Е. А., Игнатенко Л. Г., Колдоба И. В.* // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка. – 2004. – Вып. 55. – С. 50-59.
4. *Коляда Т. И.* О роли цианобактерий и их симбионтов в возникновении вспышек острых легочных аллергозов / *Коляда Т. И., Дмитриева Е. А., Калиновский С. В.* // Аллергия, иммунология и глобальная сеть: взгляд в новое тысячелетие : Мат-лы VII Междунар. конгресса по иммунореабилитации (Нью-Йорк, США, 14-17 апреля 2001 г.). – International Journal on Immunorehabilitation: 2001. – V.3/№1. – ISSN 1562-3629.
5. Влияние биологически активных веществ синезеленых водорослей на содержание некоторых гормонов в сыворотке крови крыс-самок и новорожденных крысят линии Вистар / *Дмитрієва Е. А., Горбач Т. В., Тихая И. А., Яковцова И. И., Денисенко С. А.* // Вісник проблем біології і медицини. – Полтава. – 2005. – № 2.



6. *Дмитрієва О. О.* Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України. – К. : Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України, 2008. – 459 с.
7. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – К: ДССУ, 2007. – 42 с.
8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / *Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П.* та ін. – К.: Символ-Т, 1998. – 26 с.
9. Directive 2000/60/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy //Official Journal of the hing a framework for Community.– L327, 22.12.2000.– 72 p.
10. Toxic Cyanobacteria in Water/ A guide to their public health consequences? Monitoring and management. Edited by Ingrid Chorus and jamse. Bartram. London and New Eork, 1999. – 416 p.
11. *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnol. Oceanogr.* V. 22, 1977, pp. 361-369.
12. *Дмитрієва О. О., Верніченко-Цвєтков Д. Ю., Верніченко Г. А.* Спосіб оцінки ризику антропогенного евтрофування поверхневих вод. Деклараційний патент на корисну модель № 11702 U 2005 04583 МКП G01 № 33/18.
13. *Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W.* (1973) «Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS,» \_Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp.309-317.
14. *Wayne e. Esaias.* Algorithm Theoretical basis document for MODIS product, mod-2
15. *Richardson, A. J. and Everitt, J. H.* (1992) «Using spectra vegetation indices to estimate rangeland productivity, Geocarto International, vol. 1, pp. 63-69.
16. *Qi, J., Kerr, Y., and Chehbouni, A.* (1994) «External Factor Consideration in Vegetation Index Development,» in Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 723-730.
17. *Pinty, B. and Verstraete, M. M.* (1991) «GEMI: A Non-Linear Index to Monitor Global Vegetation from Satellites,» *Vegetation*, vol. 101, 15-20.
18. *Leprieur, C., Verstraete, M.M., Pinty, B., Chehbouni, A.* (1994) «NOAA/ AVHRR Vegetation Indices: Suitability for Monitoring Fractional Vegetation Cover of the Terrestrial Biosphere,» in Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 1103-1110.

19. Kaufman, Y. J., Tanre, D. (1992) «Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, in Proc. IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. '92\_, IEEE, New York, 261-270.
20. Хлорофилл как природный индикатор для вычленения зон неоднородностей водоемов при их районировании / Сиренко Л.А и др. // Водные ресурсы, 1986. – № 4. – С. 128-36.
21. Красовський Г. Я. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст / Красовський Г. Я., Петросов В. А. – К. : Наукова думка, 2003. – 200 с.

**Дмитриева Е. А., Кошель А. В., Колдоба И. В., Лысов Б. В., Кошель А. А. ОЦЕНИВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗ ЭВТРОФИРОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ИХ СОСТОЯНИЯ МЕТОДАМИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*В данной статье предлагается эколого-социальная оценка степени безопасности водопользования из эвтрофированных поверхностных водных объектов. Предложен метод оперативного контроля уровня развития «цветения» путем использования дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ).*

**Ключевые слова:** *поверхностные воды, эколого-социальный риск, водная экосистема, эвтрофирование водных объектов, дистанционное зондирование Земли, вегетационный индекс.*

**Dmitrieva E. A., Koshel A. V., Koldoba I. V., Lysov B. V., Koshel O. A. WATER SAFETY ASSESSMENT WITH EVTROFICAL WATER BODIES AND OPERATIONAL CONTROL OVER THEIR CONDITION BY SPACE MONITORING**

*In this article the environmental and social evaluation of the safety of water eutrofical surface water bodies. The method of operational control over the level of «bloom» through the use of remote sensing from space.*

**Keywords:** *surface water, environmental and social risk, aquatic ecosystem, eutrophication of water bodies, remote sensing, vegetation index.*