

УДК 910; 911; 193

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.86>DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.87>

Висвітлено актуальні питання теорії та практики природничої географії, суспільної географії й картографії.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР	Запотоцький Сергій, д-р геогр. наук, проф. (Україна)
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	Беднар Павло, канд. геогр. наук (Чехія); Герасименко Наталія, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Даценко Людмила, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Карачоні Давід, канд. геогр. наук (Австралія); Короба Наталія, канд. геогр. наук (відп. ред.) (Україна); Мадленак Тібор, канд. природн. наук, доц. (Словаччина); Мезенцев Костянтин, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Ободовський Олександр, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Рейман Март, канд. геогр. наук (Естонія); Савчук Іван, канд. геогр. наук (Україна); Самойленко Віктор, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Сарменто Жоао, канд. геогр. наук, доц. (Португалія); Смекалова Ленка, канд. геогр. наук (Чехія); Сніжко Сергій, д-р геогр. наук, проф. (Україна); Суван-ашарія Чіннаасак, доц. (Тайланд); Шевченко Ольга, д-р геогр. наук, доц. (заст. гол. ред.) (Україна)
Адреса редколегії	географічний факультет просп. Академіка Глушкова, 2а, м. Київ, 03022 ☎ (38044) 521 32 70 e-mail: geovisnyk.knu@gmail.com web: http://visnyk-geo.univ.kiev.ua
Затверджено	вченою радою географічного факультету 30.06.23 (протокол № 13)
Зареєстровано	Міністерством юстиції України Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23967-13807 ПР від 11.05.19
Атестовано	Міністерством освіти і науки України (категорія Б) Наказ № 409 від 17.03.20
Індексування	Cross-Ref Database, Index Copernicus International, Google Scholar
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	ВПЦ "Київський університет" б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpс@knu.ua

BULLETIN

of Taras Shevchenko National University of Kyiv

ISSN 1728-2721 (Print), ISSN 2521-1935 (Online)

GEOGRAPHY

1/2(86/87)/2023

Foundation year 1958 roky

UDC 910; 911; 193

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.86>

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.87>

In this bulletin the actual problems of theory and practice of natural geography, public geography and cartography are lighted up.

For scientists, professors, PhD students and students.

RESPONSIBLE EDITOR	Zapototskyi Serhiy, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine)
EDITORIAL BOARD	Bednar Pavel, PhD (Geogr.) (Czech Republic); Gerasimenko Natalia, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Datsenko Liudmyla, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Karacsonyi David, PhD (Geogr.) (Australia); Koroma Nataliia, PhD (Geogr.) (executive editor) (Ukraine); Madleňák Tibor, PhD (natural) (Slovakia); Mezentsev Kostyantyn, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Obodovskiy Oleksandr, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Reimann Mart, PhD (Geogr.) (Estonia); Savchuk Ivan, PhD (Geogr.) (Ukraine); Samoilenko Victor, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Sarmento João, PhD (Geogr.), Assoc. Prof. (Portugal); Smekalova Lenka, PhD (Geogr.) (Czech Republic); Snizhko Serhii, DSc (Geogr.), Prof. (Ukraine); Suwan-achariya Chinnasak, Assoc. Prof. (Thailand); Shevchenko Olga, DSc (Geogr.), Assoc. Prof. (chief editor) (Ukraine)
Address	the Faculty of Geography 2, Glushkov ave., Kyiv, 03022 ☎ (38044) 521 32 70 e-mail: geovisnyk.knu@gmail.com web: http://visnyk-geo.univ.kiev.ua
Approved by	the Academic Council of the Faculty of Geography 30.06.23 (protocol № 13)
Registered by	the Ministry of Justice of Ukraine Certificate of state registration KB № 23967-13807 ПП dated 11.05.19
Certified by	the Ministry of Education and Science of Ukraine (category B) Order № 409 dated 17.03.20
Indexing	Cross-Ref Database, Index Copernicus International, Google Scholar
Founder, publishing and printing centre	Taras Shevchenko National University of Kyiv Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University" Certificate of entry into the State Register ДК № 1103 dated 31.10.02
Address of centre	PPC "Kyiv University" 14, Taras Shevchenka blvd., Kyiv, 01601 ☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28 e-mail: vpc@knu.ua

I. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- СНІЖКО Сергій, ЗАПОТОЦЬКИЙ Сергій, ШЕВЧЕНКО Ольга, ОЛЕКСІЄНКО Інна,
ДІДОВЕЦЬ Юлій, БРОНСТЕРТ Аксель**
Вплив руйнування Каховського водосховища на водні ресурси півдня України [укр.]..... 7

II. СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ХРЕБТИЦЕВА Ольга, ГНАТЮК Олексій**
Регенерація малого монофункціонального міста (на прикладі міста Жовті води) [англ.]..... 17
- ЗАПОТОЦЬКА Вікторія, ГОЛУБ Юлія**
Історико-географічні засади трансформацій планувальної структури міста Чернігова [англ.]..... 26

III. ГЕОГРАФІЯ РЕКРЕАЦІЇ ТА ТУРИЗМУ

- СМИРНОВ Ігор, ЛЮБИЦЕВА Ольга**
Козацьке бароко в сакральній архітектурі Києво-Подолу: геотуристичний потенціал [укр.]..... 33
- КОЛЛЕГАЄВ Михайло**
Ресурсні аспекти розвитку спортивного туризму в Україні у післявоєнний період [укр.]..... 42

CONTENTS

ISSUE 1(86)

I. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL INVESTIGATION

SNIZHKO Sergiy, ZAPOTOTSKYI Sergii, SHEVCHENKO Olga, OLEXIENKO Inna, DIDOVETS Iulii, BRONSTERT Axel Impact of the destruction of the Kakhovka reservoir on the water resources of Southern Ukraine [ukr.].....	7
---	---

II. SOCIO-GEOGRAPHIC INVESTIGATION

KHREBTISHCHEVA Olha, GNATIUK Oleksiy Regeneration of a small monofunctional city (a case of Zhovti Vody) [engl.].....	17
ZAPOTOTSKA Victoria, HOLUB Yulia historical and geographical basis of transformations of the planning structure of Chernihiv [engl.]	26

III. GEOGRAPHY OF RECREATION AND TOURISM

SMYRNOV Ihor, LUBITSEVA Olha Cossack baroque in the sacred architecture of Kyiv's Podil: geotourist potential [ukr.].....	33
KOLLEHAIEV Mykhailo Resource aspects of sports tourism development in Ukraine in the post-war period [ukr.].....	42

ЗМІСТ

ВИПУСК 2(87)

IV . ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ШЕВЧЕНКО Ольга, ЯЦЕНКО Юлія, КРИВОБОК Діана, СНІЖКО Сергій**
Вплив хвиль тепла на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва [англ.] 48
- ГЛУХОТА Віталій, ШЕВЧУК Сергій**
Дослідження процесу цвітіння води в Кам'янському водосховищі
з використанням методів ГІС і ДЗЗ [укр.]..... 56

V. КАРТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ПОМОРЦЕВА Олена, КОБЗАН Сергій, ГАМАЮН Інна**
Проектування геоінформаційних систем військового призначення.
Проблеми та шляхи їхнього розв'язання [укр.] 60

VI. МОЛОДІ НАУКОВЦІ

- НАГОРНИЙ Тимофій**
Топонімічна деколонізація міста Києва: просторово-орієнтаційний аспект [англ.] 65

CONTENTS

ISSUE 2(87)

IV . NATURAL-GEOGRAPHIC INVESTIGATION

- SHEVCHENKO Olga, YATSENKO Yuliia, KRYVOBOK Diana, SNIZHKO Sergiy**
The impact of heat waves on the level of air pollution in Kyiv [engl.] 48
- GLUHOTA Vitaly, SHEVCHUK Serhii**
Investigation of water bloom in Kamyanske reservoir using gis
and remote sensing methods [ukr.]..... 56

V . CARTOGRAPHIC INVESTIGATION

- POMORTSEVA Olena, KOBZAN Sergiy, GAMAYUN Inna**
Design of military geoinformation systems. Problems and their solutions [engl.]..... 60

VI. YOUNG SCIENTISTS

- NAHORNYI Tymofiy**
Toponymic decolonizing in city of Kyiv: a spatial wayfinding approach [engl.]..... 65

УДК 556.155.012:582.26/.27](477)
DOI: 10.17721/1728-2721.2023.87.2

Віталій ГЛУХОТА, асп.
ORCID ID: 0000-0001-8152-9712
e-mail: vitaliy9565@ukr.net

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, Полтава, Україна

Сергій ШЕВЧУК, д-р геогр. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-8155-8326
e-mail: serhii.shevchuk@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЦВІТІННЯ ВОДИ В КАМ'ЯНСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ГІС І ДЗЗ

Досліджено стан вивчення явища евтрофікації та зазначено, що це є актуальною проблемою для більшості водойм нашої держави. Установлено, що активне водокористування, спорудження на водозборах об'єктів виробничої й соціальної інфраструктури та скидання великої кількості стічних вод у річки, озера й водосховища перевищує самоочисну здатність водних екосистем і призводить до їх ресурсної деградації. Зазначено, що виявом такої деградації водойми є явище цвітіння води, яке посилює процес евтрофікації, унаслідок чого порушуються або взагалі припиняються процеси саморегуляції, самоочищення, погіршується стан усієї системи, що може призвести до утворення токсичних водоростей, забруднення води й загрози зникнення мешканців водойм і здоров'ю людей. Здійснено аналіз поняття евтрофікація та зазначено, що це природний процес "харчування" водойми. Проаналізовано причини надмірної евтрофікації, зокрема її природні й антропогенні чинники. Охарактеризовано особливості методів ГІС і ДЗЗ для моніторингу, вивчення та прогнозування явища цвітіння водойм. Визначено гідрохімічні й гідрографічні параметри Кам'янського водосховища як найменшого серед каскаду дніпровських водосховищ, але із характерним виявом цвітіння води, що є загрозою для цього водосховища. За допомогою даних супутників Landsat-8 і Sentinel-2 показано особливості цвітіння води в Кам'янському водосховищі за 2021 р. Установлено кореляційний взаємозв'язок між температурою води у водосховищі та її цвітінням. Виявлено, що саме прогрівання акваторії Кам'янського водосховища є причиною його надмірного цвітіння. За допомогою методів ГІС і ДЗЗ досліджено наслідки цвітіння води для Кам'янського водосховища, зокрема визначено площі заростань акваторії водосховища. Обґрунтовано основні геоєкологічні підходи до розв'язання проблеми цвітіння води для Кам'янського водосховища.

Ключові слова: евтрофікація, цвітіння води, Кам'янське водосховище, Landsat-8, Sentinel-2, нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), нормалізований індекс каламутності (NDTI), нормалізований відносний альгоіндекс (NDAI), EO Browser, QGIS.

Вступ

Загроза надмірної евтрофікації водойм стала усвідомлюватися людством лише з другої половини ХХ ст. як наслідок масового використання фосфатовмісних мийних засобів і мінеральних добрив на розораних землях, які потім потрапляють у річки. За даними екологів, 1 г фосфатної сполуки викликає зростання від 5 до 10 кг синьо-зелених водоростей. Тисячі тонн цих водних організмів, які при розкладанні отруюють воду, заповнили українські річки, озера, водосховища (Кірман, 2014). Особливо актуальною проблема цвітіння води є для каскаду дніпровських водосховищ. Хоча цьому і присвячено велику кількість наукових праць, просторово-часові проблеми залишаються недостатньо дослідженими.

Одним із сучасних й ефективних методів вивчення, моніторингу та прогнозування цвітіння водних об'єктів є використання геоінформаційних систем і методів дистанційного зондування Землі. Відсутність наукових розвідок щодо цвітіння води в Кам'янському водосховищі з використанням ГІС і ДЗЗ за останні декілька років обумовлюють актуальність і важливість подібних досліджень.

Сучасні дослідження з евтрофікації водойм в Україні представлені роботами В. Кірмана (Кірман, 2014), М. Ласточкіної (Ласточкіна, 2014), які теоретично проаналізували процес евтрофування та причини утворення явища "цвітіння води", як перебіг надмірної евтрофікації. У дослідженнях В. Вишневського, І. Шевченко та С. Шевчука охарактеризовано евтрофікацію на водосховищах Дніпра (Шевчук, Вишневський, Шевченко, 2014). Н. Янко, В. Станкевич та Н. Коваль подібні дослідження проводили на прикладі антропогенної евтрофікації Шацьких озер (Янко, Станкевич, Коваль 2014). О. Федоровським (Федоровський, 2013), С. Шевчуком (Шевчук, 2014), В. Вишневським (Вишневський, 2018), О. Томченко (Томченко, 2014) та

іншими виконані дослідження з вивчення евтрофікації та "цвітіння" водойм з використанням засобів ГІС і ДЗЗ. Саме застосування космічних знімків та їхнє дешифрування дозволяє об'єктивно оцінити й проаналізувати просторово-часові особливості виникнення та поширення цього процесу, спрогнозувати наслідки цвітіння водойми для навколишнього середовища тощо.

Мета дослідження – проаналізувати особливості цвітіння води в Кам'янському водосховищі з використанням методів ГІС і ДЗЗ.

Методологія розвідки базується на зборі й аналізі інформації про цвітіння води в Кам'янському водосховищі та наслідків цього процесу для екосистеми водойми.

У дослідженні використано дані Геологічної служби США (USGS) та супутникові знімки Landsat-8 і Sentinel-2 за 23 серпня 2021 р. Здійснено кореляційний аналіз між температурою води в Кам'янському водосховищі та її цвітінням. За допомогою скрипту Scene classification map показано наслідки надмірного цвітіння води в акваторії Кам'янського водосховища.

Результати

Цвітіння водойми – це комплексне геоєкологічне явище, що супроводжується зміною забарвлення води внаслідок масового розмноження або спалаху фітопланктону. Це спостерігається у всіх типах водойм, природних і штучних, морських та континентальних. Концентрації таких біогенних елементів у водоймі, як азот і фосфор, вуглець, кремній та деяких інших елементів, характеризують трофність або кормність водойми, але перевищення їхньої кількості призводить до "цвітіння" водного об'єкта. Уважається, що "цвітіння" розпочинається за вмісту у воді азоту кількістю від 0,2–0,3 мг/л, а фосфору – від 0,01–0,02 мг/л і більше. Уміст цих сполук у водоймах може збільшуватись унаслідок природних

процесів – розклад органічних речовин, азотфіксація та перехід у воду біогенних елементів, захоронених у донних відкладеннях або антропогенних процесів – вимивання з полів, надходження стічних вод сільськогосподарських комплексів, комунально-побутових і промислових стічних вод, які містять значну кількість азоту й фосфору (Ласточкіна, 2014, с. 44).

Ефективним методом вивчення особливостей цвітіння води є дистанційне зондування Землі. Найкращу візуалізацію цвітіння можна отримати шляхом опрацювання даних супутника Landsat-8 та розрахунку індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) у середовищі EO Browser. Це дозволяє отримати умовне зображення, на якому показано різну концентрацію хлорофілу. Оскільки вміст хлорофілу у водному середовищі істотно менший, ніж у широколистяних лісах і на багатьох сільськогосподарських угіддях, для кращої візуалізації доцільно звузити діапазон індексу, який загалом перебуває в межах від -1 до +1. Зрештою, це дає змогу візуалізувати "цвітіння" води не лише на певну дату, а й час доби, оскільки на поширення плям "цвітіння" істотно впливає вітер.

Для комплексної оцінки стану водойми в період цвітіння необхідно також знати її температурні показники. Сучасні методи дистанційного зондування Землі дозволяють установлювати температуру земної та водної поверхонь великої території з точністю до 0,1° С. Найпростішим шляхом отримання відомостей про температуру поверхневого шару води є знімки супутників серії Landsat, а саме зображень у тепловому інфрачервоному каналі (діапазон 10,40–12,50 мкм). Отримані знімки на певну дату опрацьовуються в програмному середовищі QGIS, що дозволяє одержати відповідний картографічний матеріал з детальністю температури до 0,1 °С (Вишневський, Шевчук, 2018, с. 44).

Для вивчення наслідків цвітіння водойми, зокрема темпів її заростання, можна використати датовані знімки з ресурсу Google Earth. Але більш детальний процес заростання можна побачити, використовуючи дані супутника Sentinel-2 та один із його скриптів – Scene classification map. Цей скрипт розроблений для розрізнення хмарних пікселів, прозорих пікселів і пікселів води в даних Sentinel-2 і є результатом алгоритму класифікації сцен ESA. У підсумку надається 12 різних класифікацій, включаючи класи хмар, рослинності, ґрунту/пустелі, води та снігу. Результати не є класифікаційною картою ґрунтового покриття, але дозволяють порівняти дані з топографічними картами, використовуючи програмне середовище QGIS. Аби точність результатів дослідження була вищою, з великої кількості знімків бажано вибирати ті, що датовані якимось одним місяцем, коли умови розвитку рослинності є близькими. Найдоцільніше використовувати знімки, що зроблені у серпні, коли "цвітіння" є найбільшим, але обрані знімки не мають бути сильно зашарені (Вишневський, Шевчук, 2018, с. 47–49).

Для вивчення особливостей цвітіння води обрано Кам'янське водосховище – одне з шістьох великих водоймищ у каскаді на Дніпрі. Розташоване частково у Кіровоградській, Полтавській і Дніпропетровській областях. Утворене в 1963–1964 рр. унаслідок спорудження Середньодніпровської ГЕС.

Характерна особливість Кам'янського водосховища – його порівняно невеликі розміри, що значною мірою зумовлені особливостями рельєфу. Площа водосховища – 567 км², об'єм води – близько 2,45 км³. Довжина – 114 км, ширина – не більше 8 км, максимальна глибина – 16 м. Довжина берегової лінії – 360 км. Правий берег

високий (10–25 м), крутий, подекуди урвистий, розчленований ярами та балками. Русло Дніпра в цьому місці кам'янисте, зі скельними виступами Українського кристалічного щита. Лівий берег низький (2–5 м), пологий, до нього прилягають мілководні ділянки водосховища, які активно заростають очеретом і осокою (Вишневський, 2019, с. 20). Прозорість води коливається в межах 0,6–1,7 м, істотно знижується у період літнього "цвітіння". Мінералізація води перебуває в межах 187–425 мг/л. Підвищеною мінералізацією відрізняються райони впадіння у водосховище річки Ворскла. За показниками вмісту біогенних елементів водоймище може бути віднесене до евтрофних (із сильною евтрофікацією) водойм. Уміст кисню коливається в межах 6,3–12,9 мг/л, ступінь насичення – 54 %. Дефіцит кисню спостерігається локально в місцях викиду стічних вод і у придонних шарах замулених заток осокою (Вишневський, 2019, с. 21).

Для вивчення явища цвітіння води в Кам'янському водосховищі використано знімки супутників Landsat-8 та Sentinel-2 за 2021 р. Аналізуючи дані із супутника Landsat-8 за 4–23 серпня 2021 р., візуально вдалося побачити стан цвітіння водосховища. Переважно площа цвітіння води більша в нижній течії водосховища, а також біля правого берега. Застосовуючи комбінацію каналів (B05-B04/B05+B04) для супутника Landsat-8 та (B8-B4)/(B8+B4) для супутника Sentinel-2 в середовищі EO Browser, ми отримали NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс), що є ефективним показником для кількісної оцінки зеленої біомаси. Діапазон значень індексу становить від -1 до 1. Від'ємні значення NDVI (значення, що наближаються до -1) означають наближення до води. Значення, близькі до нуля (від -0,1 до 0,1), означають розташування на оголених ділянках скель, піску або снігу. Низькі додатні значення характерні для чагарників і лук (приблизно від 0,2 до 0,4), тоді як високі значення типові для рослинності помірних і тропічних лісів.

Установлюючи зв'язок між температурою води у водосховищі й інтенсивністю її "цвітіння", проведено кореляційний аналіз залежності температури та цвітіння води Кам'янського водосховища. Для цього із сайту USGS Earth Explorer НАСА (Геологічна служба США) було завантажено необроблені "сирі" дані Landsat-8 за 23 серпня 2021 р. Використавши програму QGIS і плагін RS&GIS, з комбінацією каналів B10 і B11, супутника Landsat-8, отримано карту температур води в Кам'янському водосховищі та карту індексу вегетації (NDVI) за 23 серпня 2021 р. Установлюючи взаємозв'язок між температурою води та "цвітінням", у програмному середовищі QGIS виконано розрахунки для отримання альгоіндексу й індексу каламутності. Нормалізований відносний альгоіндекс (NDAI) допомагає виявити наявність процесу заростання водойми водоростями. Формулою для альгоіндексу, за даними супутника Landsat-8, є комбінація каналів B2, B3, B4, B5:
$$(((B3+(2*B5)-B2-B4))/((B3+(2*B5)+B2+B4))) * 0,5.$$

Нормалізований індекс каламутності (NDTI) відображає каламутність води, яка переважно спричинена зваженими наносами у поверхневих водах і характером життєдіяльності організмів, а неоднорідний розподіл концентрації зважених речовин є важливим екологічним параметром, який використовують у процесі визначення якості води. Формулою нормалізованого індексу каламутності (NDTI), за даними супутника Landsat-8, є комбінація каналів B3, B4:
$$(B4-B3)/(B4+B3).$$

Таблиця 1

Кореляційний звіт за 23 серпня 2021 р. для Кам'янського водосховища

	X1 – B10	X2 – B11	X3 – NDVI	X4 – NDAI	X5 – NDTI
X1 – B10	1				
X2 – B11	0,956	1			
X3 – NDVI	0,612	0,589	1		
X4 – NDAI	0,501	0,491	0,901	1	
X5 – NDTI	0,384	0,381	0,536	0,596	1

Згідно з коефіцієнтами кореляції, значний зв'язок відслідковується між температурою та індексом вегетації (NDVI), значний і помірний зв'язок існує між температурою й альгоіндексом (NDAI) та індексом каламутності (NDTI). Це означає, що надмірне прогрівання водойми є однією із причин виникнення цвітіння води.

Зауважимо, що індекс вегетації (NDVI), альгоіндекс (NDAI) та індекс каламутності (NDTI) мають дуже сильний, значний і помірний зв'язок, але їх не коректно порівнювати між собою, оскільки ці показники схожі між собою, тому порівнювати слід температуру та ці індекси

Одним із наслідків надмірного цвітіння водосховища є процес його поступового заростання. Для аналізу площ заростання Кам'янського водосховища в програмному середовищі QGIS було зіставлено топографічну карту й космічні знімки Sentinel-2 за 23 серпня 2021 р. з використанням скрипту Scene classification map. Аналіз отриманих даних показав, що станом на 23 серпня 2021 р. маємо значні площі заростань, зокрема в північній частині водосховища спостерігалися окремі ділянки площею до 11 км², у південній частині окремі ділянки становили 0,9 та 2,3 км².

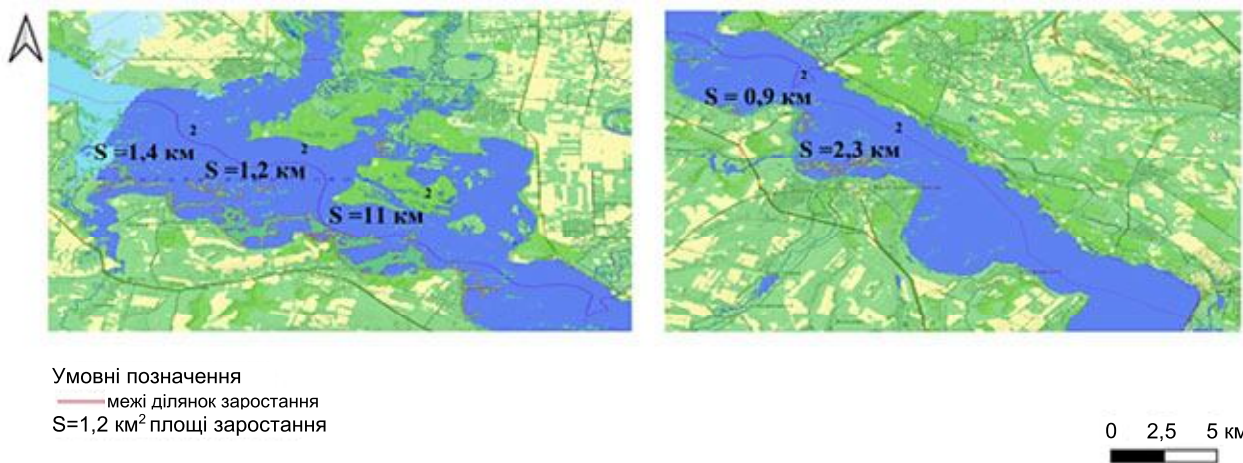


Рис. 1. Топографічна карта й космічні знімки Sentinel-2 за 23 серпня 2021 р. з використанням скрипту Scene classification map

Геоекологічний аналіз засвідчив, що існує декілька підходів у боротьбі із цвітінням водойм. Перший спосіб – використання хімічних речовин (сульфату міді, озону), що доволі успішно реалізується у США. Інший – використання природних речовин (глина, ячмінна солома), який практикується у США та державах Східної Азії. Цікавим методом боротьби із цвітінням є використання ультразвуку, який не дає ціанобактеріям рости й розвиватися до стадії "цвітіння". Таку технологію застосовують у державах ЄС. Також окремі країни Європи обмежили, а деякі й заборонили виробництво та використання фосфорних мийних засобів (Кірман, 2014, с. 55).

Дискусія і висновки

Процеси евтрофікації можуть призводити до появи явища цвітіння води. Це відбувається тоді, коли кількість таких біогенних речовин, як азот, фосфор, вуглець, кремній перевищує допустимі концентрації. Причиною цього є як природні фактори – опади, температура, швидкість течії, водна рослинність, так і антропогенні – використання мінеральних добрив на основі фосфору чи мийних засобів, скидання неочищених стоків у водойми тощо.

Застосування методів ГІС і ДЗЗ для вивчення цвітіння води дозволяє побачити концентрацію хлорофілу у водоймі, а завдяки спектральним даним та розрахунку індексу NDVI з комбінацією каналів B10 та B11 здійснити

кореляційний аналіз залежності температури води у водосховищі та процесами цвітіння.

Аналіз просторово-часових особливостей цвітіння води в Кам'янському водосховищі за 23 серпня 2021 р. підтвердив масовий характер цього процесу й поширенню найбільше в нижній течії та біля правих берегів. Кореляційний аналіз залежності між цвітінням води у водосховищі та його температурою за 23 серпня 2021 р. установив значний і помірний кореляційний зв'язок між температурою води й індексом вегетації (NDVI), альгоіндексом (NDAI) та індексом каламутності (NDTI). Зіставлення топографічної карти та скрипту Scene classification map супутника Sentinel-2 у програмі QGIS показало значні ділянки заростання за 23 серпня 2021 р. і становлять від 0,9 до 17 км².

Щодо Кам'янського водосховища, то серед основних заходів боротьби із цвітінням води слід виділити проведення інформаційних кампаній стосовно використання пральних і мийних засобів, проведення фіто- та біомеліорації, механічне видалення водоростей, обмеження на забруднення водойм через очищення стічних вод тощо.

Внесок авторів. Віталій Глухота – концептуалізація, програмне забезпечення, збір емпіричних даних та їх валідація. Сергій Шевчук – методологія, емпіричне дослідження, аналіз джерел, підготовка огляду літератури або теоретичних засад дослідження.

Подяки, джерела фінансування. Цю роботу виконано у межах науково-дослідної роботи кафедри геоматики, землеустрою та планування територій Полтавського державного аграрного університету "Агроландшафтне планування землекористування сільських територій Полтавської області" [номер державної реєстрації 0122U000529].

Список використаних джерел

- Вишневецький В. І. (2019). Просторово-часова мінливість "цвітіння" води у дніпровських водосховищах. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. № 20. С. 18–27.
- Вишневецький В. І., Шевчук С. А. (2018). Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об'єктів України. Інтерпрес ЛТД.
- Вишневецький В. І., Москвіна І. М. (2020). "Цвітіння" води в Кам'янському водосховищі. *Меліорація і водне господарство*. Вип. 2. С. 16–22.
- Зуб Л. М., Томітьцева А. І., Томченко О. В. (2016). Оцінка стану водохоронних територій із використанням методів дистанційного зондування Землі (на прикладі Дністровського комплексу ГЕС і ГАЕС). *Гідроенергетика України*. № 3–4. С. 51–56.
- Кірман В. В. (2014). *Цвітіння води та його причини. Засоби боротьби: наук. посіб.* ОНЕУ.
- Ласточкіна М. А. (2014). *Особливості процесу евтрофування*. ХНУ.
- Томченко О. В. (2014). Використання космічної інформації дистанційного зондування Землі для моніторингу стану крупного водосховища *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. НТЦ ПАС НАН України. № 11. С. 135–143.
- Томченко О. В., Підгородецька Л. В., Федоровський О. Д. (2013). Комплексна оцінка екологічного стану водойм на основі космічної інформації дистанційного зондування Землі (на прикладі оз. Світязь та верхів'я Київського водосховища). *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. № 10. С. 111–117.
- Шевченко І. А. (2013). Визначення екологічного стану водосховищ України з використанням дистанційних методів моніторингу. *Праці ЦГГО*. Вип. 9 (23). С. 52–55.
- Шевчук С. А., Вишневецький В. І., Шевченко І. А. (2014). Використання даних ДЗЗ для встановлення екологічного стану дніпровських водосховищ. *Праці Центральної геофізичної обсерваторії*. Центральна геофізична лабораторія. Вип. 10 (24). С. 72–78.
- Янко Н. В., Станкевич В. В., Коваль Н. М. (2014). Антропогенна евтрофікація Шацьких озер. *Довкілля та здоров'я*. № 3. С. 51–55.

References

- Kirman V. (2014). *Blooming water and its causes. Means of struggle: sciences. Manual*. ONEU, 92 p. [in Ukrainian]
- Lastochkina M. (2014). *Peculiarities of the process of eutrophication*. HNU [in Ukrainian]
- Shevchenko I. (2013). Determining the ecological state of reservoirs of Ukraine using remote monitoring methods. *Proceedings of the Central Geophysical Observatory*. Vol. 9 (23). P. 52–55 [in Ukrainian]
- Shevchuk S., Vishnevsky V., Shevchenko I. (2014). The use of DZZ data to establish the ecological status of the Dnieper reservoirs. *Proceedings of the Central Geophysical Observatory*. Central Geophysical Observatory. Vol. 10 (24). P. 72–78. [in Ukrainian]
- Tomchenko O. (2014). Using space information of remote sensing of the Earth to monitor the state of a large reservoir *Hydroacoustic journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean)*. National Research Center of the National Academy of Sciences of Ukraine, Vol. 11. P. 135–143 [in Ukrainian]
- Tomchenko O., Pidgorodetska L., Fedorovskiy O. (2013). Comprehensive assessment of the ecological state of water bodies based on space information of remote sensing of the Earth (using the example of Lake Svityaz and the headwaters of the Kyiv Reservoir) *Hydroacoustic journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean)*. National Research Center of the National Academy of Sciences of Ukraine, Vol. 10. P. 111–117 [in Ukrainian]
- Vishnevsky V. (2019). Spatial-temporal variability of water "blooming" in Dnieper reservoirs. *Ukrainian Journal of Earth Remote Sensing*. Vol. 20. P. 18–27 [in Ukrainian]
- Vishnevsky V., Moskvina I. (2020). "Blooming" of water in the Kamian Reservoir. *Reclamation and water management*. Vol. 2. P. 16–22 [in Ukrainian]
- Vishnevsky V. I., Shevchuk S. A. (2018). *Use of Earth remote sensing data in studies of water bodies of Ukraine*. Interpress LTD [in Ukrainian]
- Yanko N. V., Stankevich V. V., Koval N. M. (2014). Anthropogenic eutrophication of Shatsky lakes. *Environment and health*. Vol. 3. P. 51–55 [in Ukrainian]
- Zub L. M., Tomiltseva A. I., Tomchenko O. V. (2016). Assessment of the state of water protection areas using methods of remote sensing of the Earth (on the example of the Dniester complex of hydroelectric power plants and hydroelectric power plants). *Hydropower of Ukraine*. Vol. 3–4. P. 51–56 [in Ukrainian]

Отримано редакцією журналу / Received: 07.06.23

Прорецензовано / Revised: 21.06.23

Схвалено до друку / Accepted: 30.06.23

Vitaly GLUHOTA, PhD Student
ORCID ID: 0000-0001-8152-9712
e-mail: vitaliy9565@ukr.net
Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University, Poltava, Ukraine

Serhii SHEVCHUK, DSc (Geogr.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-8155-8326
e-mail: serhii.shevchuk@pdau.edu.ua
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

INVESTIGATION OF WATER BLOOM IN KAMYANSKE RESERVOIR USING GIS AND REMOTE SENSING METHODS

The issue of studying the phenomenon of eutrophication and its emergence, which is an urgent problem for the provision of water in our country, has been investigated. It has been established that active water use, the construction of industrial and social infrastructure objects at water intakes, and the discharge of a large amount of wastewater into rivers, lakes, and reservoirs exceed the self-purification capacity of aquatic ecosystems and lead to their resource degradation. It is noted that a manifestation of such water body degradation is the phenomenon of water bloom, which intensifies the eutrophication process, disrupting or completely stopping self-regulation and self-purification processes, deteriorating the overall system, potentially leading to the formation of toxic algae, water pollution, and posing a threat to the inhabitants of water bodies and human health. An analysis of the concept of eutrophication has been conducted, noting that it is a natural process of "feeding" water bodies. The causes of excessive eutrophication have been analyzed, including its natural and anthropogenic factors. The features of GIS and RS methods for monitoring, studying, and forecasting the phenomenon of water bloom have been characterized. The hydrochemical and hydrographic parameters of the Kamianske Reservoir, the smallest in the Dnieper cascade of reservoirs but with a characteristic manifestation of water bloom, have been determined. Using Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data, the peculiarities of water bloom in the Kamianske Reservoir for 2021 have been shown. A correlation has been established between the water temperature in the reservoir and its blooming, revealing that the warming of the Kamianske Reservoir's water is the cause of its excessive blooming. The consequences of water bloom for the Kamianske Reservoir have been investigated using GIS and RS methods, including the determination of the areas of water body overgrowth. The main geoeological approaches to solving the water bloom issue for the Kamianske Reservoir have been substantiated.

Keywords: eutrophication, water bloom, Kamyanske reservoir, Landsat-8, Sentinel-2, normalized difference vegetation index (NDVI), normalized difference turbidity index (NDTI), normalized relative algal index (NDAI), EO Browser, QGI

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.