

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕВТРОФІКАЦІЇ ОЗЕР БІОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТУ «ШАЦЬКИЙ»

В.В. Коніщук<sup>1</sup>, М.В. Христецька<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)  
e-mail: konishchuk\_vasyl@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4115-5642

<sup>2</sup>Шацький національний природний парк (сmt Шацьк, Волинська обл., Україна)  
e-mail: shnpp.park@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2336-3889

*Природний процес евтрофікації гідроєкосистем зумовлений багатьма чинниками і переважно довготривалий, майже незворотний. У ХХ та ХХІ ст. відбулася прискорена антропогенна евтрофікація багатьох водойм, зокрема озер Шацької групи (Шацький національний природний парк, Волинська обл., Україна). Зміни водойм за рахунок їх збагачення біогенними речовинами, хімічними сполуками супроводжується підвищенням продуктивності рослинності й може бути результатом «природного старіння», антропогенного впливу, органічного забруднення. Одна з концепцій сукцесії озерних екосистем передбачає, що озера проходять послідовно різні стадії трофності (живлення), починаючи з оліготрофності або дистрофності. Остання стадія (клімакс) сукцесійного ряду — інтенсивна евтрофікація, під час якої озеро частково замищується болотом і, наприкінці, може стати суходолом, лучною, чагарниковою або лісовою рослинністю. Евтрофікація озерних екосистем простежується зміною прозорості, вмісту концентрату хлорофілу «а» та концентрації кисню. Встановлено активну фазу евтрофікації лімноекосистем біосферного резервату «Шацький». На території останнього знаходяться річки та струмки з постійним водотоком, завдовжки понад 114 км, а також включає 31 озеро. Викладено результати екологічних досліджень різних типів водних об'єктів Шацького поозер'я, які були здійснені в 2016–2020 рр. Виконано типізацію Шацьких озер за площею водного дзеркала, який зафіксував, що тут немає дуже великих озер, є три великих оз. (Світязь, Пулемецьке, Луки—Перемут). Аналіз природно-заповідної території Західного Полісся засвідчив, що особливою увагою має приділятися озерам невеликих та малих розмірів, а також середніх і малих за глибиною (Линовець, Соминець, затока Бужня й ін.), які не здатні до активної саморегуляції. Запропоновано оптимальний механізм моніторингу екологічного стану водойм (озер) за методикою дистанційного зондування.*

**Ключові слова:** екологія, трансформація гідроєкосистем, дистанційне зондування, національний природний парк.

### ВСТУП

Моніторинг екологічних показників озер і загалом гідроєкосистем є важливим та актуальним завданням оптимізації природокористування і збереження біорізноманіття. Проблема охорони водних ресурсів та аналіз їх якості зростає у зв'язку із трансформацією довкілля, глобальними змінами клімату тощо. Впродовж останніх десятиліть за впливу антропогенних, техногенних чинників спостерігаються і зміни стану гідрологічних та гідробіологічних параметрів водних об'єктів. Більш ґрунтовні системи та підходи до моніторингу в межах біосферного резервату (БР)

«Шацький» (Волинська обл., Україна), як правило, властиві для водних об'єктів, які представляють рекреаційний інтерес. Для озер постійний наземний моніторинг практично відсутній і у зв'язку з цим основним джерелом інформації щодо їх стану є дані дистанційного зондування Землі. Сучасний рівень вивчення водних об'єктів передбачає систематичні дослідження, що в частині проведення наземних вимірювань фізико-хімічних показників, які характеризують стан водних об'єктів, у межах території БР є доволі ресурсозатратним завданням.

З однієї сторони, просторове розташування об'єктів у межах Шацького біо-

сферного резервату вимагає відповідної матеріальної бази для здійснення досліджень, а з іншої, — доступ для великої частини водних об'єктів є обмеженим унаслідок природних умов та особливих обставин екологічного менеджменту. Однак, вивчення будь-яких об'єктів, у т. ч. й водних, важко уявити без структурованої бази даних про них. Тому, для вивчення стану гідроєкосистем як базовий інструмент у дослідженні використано геоінформаційну систему біосферного резервату «Шацький» [1].

Швидкість змін трофічного стану озер визначається флуктуаціями місцевих погодно-кліматичних чинників, посиленістю розвитку біоти, накопиченням донних відкладів, інтенсивністю проточності та загалом гідрорежимом. Тобто, загалом, порушення балансу поживних речовин водної екосистеми призводить до зміни її трофічного статусу [2; 3].

**Метою досліджень** було проведення оцінювання екологічного стану та тенденцій евтрофікації озер БР «Шацький» із використанням двох методик, які дають можливість дистанційно оцінити стан водних об'єктів і визначити необхідність подальших ґрунтовних наземних досліджень, практичних рекомендацій.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання вивчення процесів зміни екологічного стану озер України дуже актуальні й мають конкретні практичні вказівки їх вирішення. Процеси трансформації гідроєкосистем Волинської обл. досліджували Тутковський П.А., Танфільєв Г.І., Мольчак Я.О., Залеський І.І., Ільїн Л.В., Шевчук М.Й., Конішук В.В. та ін. [4–8].

Розроблено Концепцію і стратегію збалансованого розвитку ландшафтів водноболотних угідь і торфових екосистем України [9].

Також важливим аспектом вивчення екологічного стану водойм є обґрунтування основ фонового моніторингу, оцінювання якості, фізико-хімічних властивостей [10].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінювання евтрофікації озерних екосистем, як правило, використовують індекси Карлсона по прозорості, хлорофілу «а», фосфору, концентрації кисню, що залежать від короткотривалих метеорологічних та інших просторово-часових змін в озерних екосистемах, методик й умов їх вимірювання, а тому не завжди достовірно відображають трофічний стан.

Нами використано методику експрес-аналізу трофічного стану озер. Для останнього ще в 1991 р. у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України запропоновано параметр — коефіцієнт форми ( $\rho$ ) [11]. Вхідними даними для розрахунку цього коефіцієнта є морфометричні параметри водойми, як-от периметр («порізанисть» берегової лінії) ( $L$ ) та площа водного дзеркала ( $S$ ):

$$\rho = L/S. \quad (1)$$

Цей параметр — інтегральний, позбавлений впливу короткотривалих змін метеорологічних чи інших умов. Він, передусім, придатний для оцінювання відносного трофічного стану озер одного регіону, зумовленого інтенсивним утворенням первинної продукції в результаті фотосинтезу та залежністю від концентрації біогенних речовин, посиленістю надходження їх з берегової зони, обсягу водної маси, в якій вони розчинені, периметра водойми. Враховуючи обернену залежність концентрації біогенних речовин від об'єму водної маси і пряму залежність останньої від площі водного дзеркала, глибини перемішування, слід зауважити, що концентрація біогенних речовин обернено пропорційна площі водного дзеркала [12].

Однак, враховуючи, що коефіцієнт форми є величиною безрозмірною і отримані на його основі результати важко використати для порівняльного аналізу, було запропоновано ще один інтегральний показник для оцінки трофічного стану водойм — коефіцієнт заростання ( $\rho'$ ):

$$\rho' = 1 - \frac{S_{\text{в.дз.}}}{S}, \quad (2)$$

де  $S_{\text{в.дз.}}$  — площа водного дзеркала водойми;  $S$  — загальна площа водойми, визначена за береговою лінією,  $\rho'$  — коефіцієнт заростання (діапазон зміни від 0...1, тобто за повного заростання водойми  $\rho'=1$ , а за повної відсутності макрофітної рослинності на поверхні водойми  $\rho'=0$ ).

Морфометричні характеристики водойм, які є входними параметрами для розрахунку обох коефіцієнтів, отримані та розраховані за даними супутника Sentinel 2A.

Інтегральна оцінка, як правило, є доволі «грубою» і дає змогу одержувати результати в абсолютних значеннях. Однак, з огляду оцінки стану екологічної безпеки регіону, використання інтегральних показників має і низку переваг, зокрема: оперативність, легкість експрес-оцінювання та експрес-аналізу трофічного стану водойми на сучасному етапі розвитку технологій ДЗЗ, а також можливість охоплення великої кількості об'єктів одночасно й забезпечення або нівелювання подальших уточнень іншими методами.

Також застосовано класичну методику оцінки вмісту хлорофілу «a» у поверхневому шарі водойми. Хлорофіл «a» — основний пігмент зелених рослин, у т. ч. одноклітинних водоростей (фітопланктону). З десятих різних пігментів, які містяться у фотосинтетичному апараті водоростей, хлорофіл «a» відіграє найважливішу роль у процесі фотосинтезу. Інформація щодо концентрації цього показника у водному об'єкті є критерієм для оцінювання запасів біомаси фітопланктону і його продукції, а також індикатором біотичного забруднення водойми.

Процедуру обробки супутникових даних для розв'язання поставленого завдання можна умовно поділити на кілька етапів: атмосферна корекція, розрахунок концентрації вмісту хлорофілу «a» у поверхневому шарі водойми, експорт отриманих даних в ArcMap, перетворення вхідних растрових даних у векторний формат та розрахунок статистичних показників для обраних водних об'єктів у межах біосферного резервату «Шацький».

Для реалізації вищенаведених етапів використано програмний пакет ACOLITE, призначений для обробки даних Landsat (5/7/8) та Sentinel — 2 (A/B). Програмний комплекс дає змогу здійснювати атмосферну корекцію за алгоритмом «Dark spectrum fitting», а також містить набір алгоритмів для визначення вмісту концентрації хлорофілу «a» у поверхневому шарі водних об'єктів [13]. Загалом, ACOLITE може працювати і у вигляді набору бібліотек алгоритмів, що дає можливість вносити необхідні корективи під час розрахунку запропонованих у ньому коефіцієнтів.

Модуль «chl\_re\_mishra» використано для розрахунку концентрації хлорофілу «a», який базується на алгоритмі розрахунку «Normalized Difference Chlorophyll Index» запропонованого Mishra and Mishra (2012) [14].

Щодо розрахунків вищенаведених коефіцієнтів — використані зображення з супутника Sentinel-2A (літо, осінь за 2016, 2018 та 2020 рр.).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Біосферний резерват «Шацький» — природно-заповідна, охоронювана територія Західного Полісся (Волинська обл.) міжнародного значення, яка з 2012 р. є українською частиною Транскордонного біосферного резервату «Західне Полісся» (Польща—Україна—Білорусь), також ця територія включена у перелік Рамсарських водноболотних угідь міжнародного значення.

Площа Шацького біосферного резервату сягає 75 000 га, 48 977 га якої займає територія Шацького національного природного парку, створеного у 1983 р., як територію для охорони рідкісних природних комплексів цього унікального, екосозологічно цінного регіону (рис. 1).

Вищенаведена територія БР відіграє важливу кліматоутворювальну роль для значної частини Європейського континенту внаслідок унікального поєднання на ній озерних, лісових та болотних екосистем. У 1995 р. водно-болотні угіддя Шацького парку, в рамках Рамсарської конвенції,



**Рис. 1.** Територія Шацького національного природного парку в складі БР «Шацький» і Транскордонного біосферного резервату «Західне Полісся»

віднесено до водно-болотних угідь території ІВА (Important Bird Area), що мають, переважно, міжнародне значення як середовище існування водоплавних птахів. У межах акваторії зосереджено найбільшу кількість регіонально рідкісних видів гідробіонтів [15].

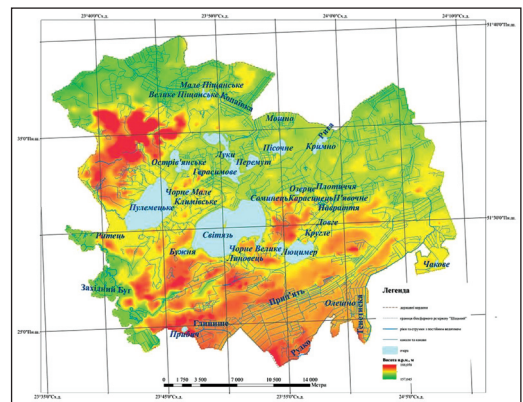
На території біосферного резервату «Шацький» знаходяться річки та струмки з постійним водотоком, завдовжки понад 114 км. Доволі потужною є мережа меліоративних каналів. Створена у 60–80-х рр. ХХ ст. мережа каналів-збирачів та каналів-осушувачів вже давно не виконує своїх функцій, однак є одним з основних фрагментаторів природно-заповідної території (рис. 2).

Озерний комплекс території БР «Шацький» включає 31 озеро, переважно карстового, флювіогляціального генезису (походження), загальною площею близько 5928 га (див. рис. 2).

Для зручності проведення аналізу отриманих результатів, озера біосферного резервату «Шацький» поділені на групи за

площею: 1) великі (> 500 га); 2) середні (100–500); 3) невеликі (10–100); 4) малі (<10 га).

Варто відмітити, що малі озера біосферного резервату, внаслідок процесів евтрофікації різного походження, практично перетворились у болота. Крім того, нині, процеси заростання властиві не тільки ма-



**Рис. 2.** Гідрологічна мережа БР «Шацький»

Таблиця 1. Критерії групування за кількісними показниками коефіцієнта заростання ( $\rho'$ )

Група $\rho'$	I	II	III	IV	V
Коефіцієнт заростання (евтрофікації)	$0 < \rho < 0,20$	$0,21 < \rho < 0,40$	$0,41 < \rho < 0,60$	$0,61 < \rho < 0,80$	$0,81 < \rho < 1$

лим озерам, але й деяким озерам середніх та невеликих розмірів.

Критерії групування за кількісними показниками коефіцієнта заростання зазначено у *табл. 1*.

Середньорічні розрахункові значення  $\rho'$  для груп озер біосферного резервату «Шацький» наведено у *табл. 2*.

Найменших змін за коефіцієнтом заростання впродовж 2016–2020 рр. зазнали озера з найбільшими середніми глибинами та об'ємами води і здатними до активнішої саморегуляції своїх екосистем, зокрема оз. Світязь, Пулемецьке, Пісочне й Люцимер (див. *табл. 2; рис. 3*).

Серед групи невеликих озер найменші зміни спостерігаються для оз. Соминець та Велике Чорне, що зумовлено їх оптимальним гідрорежимом. Однак, порівняно з вищенаведеними великими і середніми озерами, за значеннями  $\rho'$  ці озера наближені до II групи (див. *табл. 1*). Також до останньої, відповідно до отриманих результатів, відносяться такі озера, як Луки–Перемут,

Острів'янське, Велике Піщанське та Линовець. Затока Бужня, єдина водойма, яка впродовж усього періоду досліджень належить до III групи за коефіцієнтом заростання, що зумовлено її малими розмірами і глибиною водойми та невеликим водообміном (див. *рис. 3*).

Отже, для більшості невеликих, середніх та малих озер БР «Шацький», меліоративні роботи, що здійснювались на території Західного Полісся, стоки з сільськогосподарських угідь, колишніх колгоспних ферм і складів мінеральних добрив упродовж багатьох років, стали основними чинниками інтенсифікації їх заростання.

Окрім того, ще однією проблемою для функціонування озер біосферного резервату є утворення потужних шарів сапропелю (оз. Линовець, Соминець, Острів'янське тощо). Посилення впливу природно-антропогенних чинників, погіршення водообміну в улоговинах унаслідок зменшеного водопостачання інтенсифікували розвиток вищої водної рослинності на цих озерах.

Таблиця 2. Середньорічні значення коефіцієнта заростання ( $\rho'$ ) для груп озер БР «Шацький»

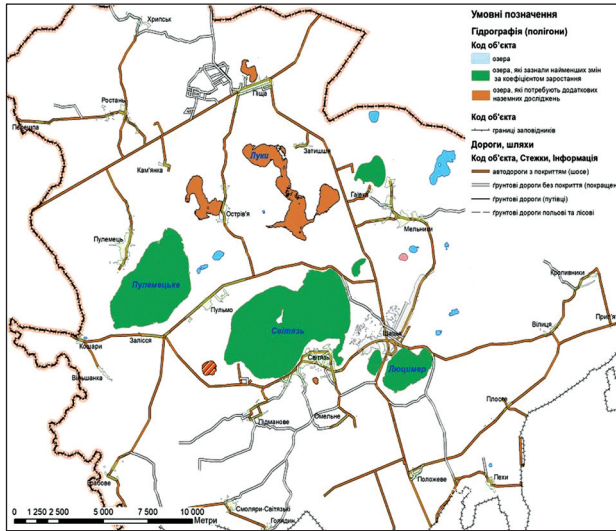
Тип озера	Назва озер	Роки		
		2016	2018	2020
Великі	Світязь	0,06	0,06	0,07
	Пулемецьке	0,12	0,11	0,11
	Луки–Перемут	0,28	0,28	0,26
Середні	Острів'янське	0,36	0,42	0,35
	Пісочне	0,01	0,01	0,03
	Люцимер	0,10	0,11	0,10
	Кримне	0,25	0,25	0,20
Невеликі	Бужня	0,57	0,60	0,53
	Соминець	0,20	0,22	0,16
	Чорне Велике	0,18	0,18	0,17
	Велике Піщанське	0,28	0,29	0,28
	Линовець	0,33	0,38	0,11



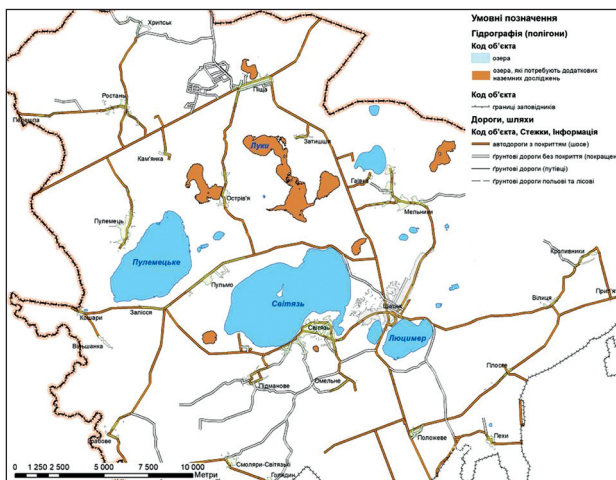
Відмираючи, вона випадає на дно і формує шар сапропелю — органічного добрива, яке сприяє подальшому розвитку цих рослин. Наразі, деякі озера внаслідок значних відкладів сапропелю (наприклад, оз. Линовець) не здатні до активної саморегуляції і не зможуть відновитись без стороннього втручання.

Аналіз результатів досліджень засвідчив, що практично для всіх водойм, восени,

значення концентрації хлорофілу «а» є вищим, а ніж у літній період. Так, найменші значення, не залежно від сезону і впродовж усього періоду досліджень, спостерігаються для таких оз., як Світязь, Пулемецьке, Пісочне, Люцимер і Чорне Велике. А найбільші значення концентрації хлорофілу «а» характерні для таких оз., як Велике Піщанське, Линовець, затока Бужня та Соминець (табл. 3; рис. 4).



**Рис. 3.** Група озер БР «Шацький», яка за значеннями коефіцієнта заростання потребує додаткових досліджень



**Рис. 4.** Група озер БР «Шацький», яка за концентрацією вмісту хлорофілу «а» потребує додаткових досліджень

Таблиця 3. Середньорічні значення концентрації хлорофілу «а» для груп озер біосферного резервату «Шацький» (за даними Sentinel 2A)

Групи озер	Назва озер	Роки		
		2016	2018	2020
Великі	Світязь	14,73	13,81	15,17
	Пулемицьке	13,47	16,02	15,20
	Луки–Перемут	28,30	28,55	21,85
Середні	Острів'янське	29,78	25,40	22,80
	Пісочне	18,77	18,36	18,84
	Люцимер	22,09	21,42	21,71
	Кримне	31,44	25,33	25,26
Невеликі	Бужня	41,93	30,60	25,49
	Соминець	38,14	33,29	26,42
	Чорне Велике	21,55	22,40	19,07
	Велике Піщанське	40,90	40,22	30,23
	Линовець	42,46	33,68	26,82

Слід додати, що точність оцінювання концентрації хлорофілу «а» у поверхневому шарі залежить від атмосферних процесів, погодних умов, алгоритмів обробки даних та часу супутникових вимірювань. Тому, для верифікації отриманих дистанційних даних, варто провести додаткові наземні, лабораторні вимірювання цього показника.

### ВИСНОВКИ

З огляду на екологічну безпеку та забезпечення сталого розвитку території біосферного резервату «Шацький», здійснення постійного моніторингу стану водних ресурсів є одним із важливих природоохоронних завдань. Попередня оцінка, отримана за допомогою методик експрес-аналізу трофічного стану озер та оцінювання вмісту хлорофілу «а» у поверхневому шарі водойм, свідчить про можливість використання цих інструментів під час до-

сліджень екологічного стану інших водних об'єктів. Особливо це стосується територій, де озера мають великий просторовий розкид і доступ до них може бути обмежений. Використання даних ДЗЗ та засобів ГС дають змогу підвищити ефективність виділення водних об'єктів, екологічний стан яких є незадовільним і вимагає більш детальних наземних досліджень. За результатами проведеної оцінки на території БР «Шацький», особлива увага має приділятися озерам невеликих та малих розмірів, а також середніх і малих за глибиною (Линовець, Соминець, затока Бужня та ін.), які не здатні до активної саморегуляції. Отримані результати дають змогу розробити додаткові оптимальні заходи для сповільнення та/або уникнення незадовільних трансформаційних процесів у межах гідроекосистем, а також для ефективних природоохоронних робіт.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кошовий В.В., Альохіна О.В., Івченко Д.В. та ін. База даних «База геоданих цифрової моделі місцевості біосферного резервату «Шацький» («БГД ЦММ БР «Шацький»). А.с. № 103760; 05.04.2021 р.
2. Ільїн Л.В. Лімнокомплекси Українського Полісся. Т. 2. Регіональні особливості та оптимізація. Луцьк: Вежа, 2008. 400 с.
3. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 3 (58). С. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9>.
4. Танфильев Г.И. Геоботаническое описание Полесья: моногр. Киев, 1899. 114 с.

5. Мисковець І.Я., Мольчак Я.О. Формування якості поверхневих вод у межах Луцька. *Modern Technology and Innovative Technologies: the International Scientific Periodical Journal*. Karlsruhe. January, 2023. Iss. 25. Part 2. P. 77–83. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-25-02-025>.
6. Fesyuk V.O., Ilyin L.V., Moroz I.A. and Ilyina O.V. Environmental assessment of water quality in various lakes of the Volyn Region, which is intensively used in recreation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Geology. Geography. Ecology*. 2020. № 52. P. 236–250. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-17>.
7. Шевчук М.Й., Сергушко О.Г. Етрофікація озер турійського району волинської області — незворотні зміни або черговий етап генезису. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 1. С. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.174166/>.
8. Бондар О.І., Конішук В.В. Екологія гідроєкосистем: навч. посіб. Херсон: Олді-плюс, 2013. 316 с.
9. Конішук В.В. Концепція і стратегія збалансованого розвитку ландшафтів водно-болотних угідь і торфових екосистем України. Київ: ДІА, 2015. 52 с.
10. Shumygai I.V., Mudrak O.V., Konishchuk V.V., Mudrak H.V. and Khrystetska M.V. Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (2). P. 434–440. DOI: [https://doi.org/10.15421/20\\_21\\_133](https://doi.org/10.15421/20_21_133).
11. Кошовий В.В., Цихан О.І., Бухало О.П., Романішин І.М. До оцінки трофічного стану озер на основі морфометричних параметрів. *Доповіді НАН України*. 2001. № 11. С. 198–201.
12. Цветков В.Я., Домнишкая Э.В. Геоданные как основа цифрового моделирования. *Современные наукоемкие технологии*. 2008. № 4. С. 100–101.
13. ACOLITE. URL: <http://www.odnature.natural-sciences.be>.
14. Mishra S. and Mishra D. Normalized Difference Chlorophyll Index: A Novel Model for Remote Estimation of Chlorophyll — A Concentration in Turbid Productive Waters. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 117. P. 394–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>.
15. Конішук В.В., Андрієнко Т.Л., Царенко П.М. та ін. Червона книга Волинської обл. *Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Сер.: Біологічні науки*. 2010. № 12. С. 154–175.

## REFERENCES

1. Koshovyi, V.V., Alokhina, O.V., Ivchenko, D.V. et al. (2021). Baza danykh «Baza heodanykh tsyfrovoy modeli mistsevoosti biosfernoho rezervatu «Shatskyi» («BHD TsMM BR «Shatskyi»): avtrs'ke svідotstvo [Database «Geodatabase of the digital model of mineral resources in the biosphere reserve «Shatskyi» («BGD TsMM BR «Shatskyi»): author's certificate]. № 103760 [in Ukrainian].
2. Ilyin, L.V. (2008). *Limnokompleksy Ukrainskoho Polissia. T. 2. Rehionalni osoblyvosti ta optymizatsiia [Limnocomplexes of Ukrainian Polissia. T. 2. Regional features and optimization]* [in Ukrainian].
3. Khilchevskiy, V.K. & Zabokrytska, M.R. (2020). Osnovni aspekty morfometriyi ta hidrokhimiyi Shats'kykh ozer [Main aspects of morphometry and hydrochemistry of Shatsky lakes]. *Hidrolohiya, hidrokhi-miya i hidroekolojiya — Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3 (58), 92–100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9> [in Ukrainian].
4. Tanfilyev, G.I. (1899). *Heobotanycheskoe opysanye Poles'ya: monohrafiya [Geobotanical description of Polesia: monograph]*. Kyiv [in Russian].
5. Myskovets, I.Ya. & Molchak, Y.O. (2023). Formuvannya yakosti poverkhnevyykh vod u mezhakh Luts'ka [Formation of the quality of surface water within Luts'k]. *Modern Technology and Innovative Technologies: the International Scientific Periodical Journal*, 25/2, 77–83. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-25-02-025> [in Ukrainian].
6. Fesyuk, V.O., Ilyin L.V., Moroz, I.A. & Ilyina, O.V. (2020). Environmental assessment of water quality in various lakes of the Volyn Region, which is intensively used in recreation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Geology. Geography. Ecology*, 52, 236–250. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-17> [in English].
7. Shevchuk, M.Y. & Sergushko, O.G. (2017). Etrofikatsiya ozer turiys'koho rayonu volyns'koyi oblasti — nezvorotni zminy abo chervohyuy etap henezysu [The eutrophication of the lakes of the Turiya district of the Volyn region is irreversible changes or another stage of genesis]. *Ahroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 16–20. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.174166> [in Ukrainian].
8. Bondar, O.I. & Konishchuk, V.V. (2013). *Ekolojiya hidroekosystem: navchal'nyy posibnyk [Ecology of hydroeccosystems: a study guide]*. Kherson [in Ukrainian].
9. Konishchuk, V.V. (2015). *Kontseptsiya i stratehiya zbalansovanoho rozvytku landshaftiv vodno-bolotnykh uhid' i torfovykh ekosystem [Concept and strategy of balanced development of landscapes of wetlands and peat ecosystems of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Shumygai, I.V., Mudrak, O.V., Konishchuk, V.V., Mudrak, H.V. & Khrystetska, M.V. (2021). Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (2), 434–440. DOI: [https://doi.org/10.15421/20\\_21\\_133](https://doi.org/10.15421/20_21_133) [in English].
11. Koshovyi, V.V., Tsykhan, O.I., Bukhalo, O.P. & Romanyshyn, I.M. (2001). Do otsinky trofichnoho stanu ozer na osnovi morfometrychnykh parametriv [To estimate the trophic state of lakes based on morphometric parameters]. *Dopovidi NAN Ukrainy — Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 198–201 [in Ukrainian].
12. Tsvetkov, V.Ya. & Domnitskaya E.V. (2008). Geodannyye kak osnova tsifrovogo modelirovaniya [Geodata



- as a basis for digital modeling]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii — Modern high technologies*, 4, 100–101 [in Russian].
13. ACOLITE. URL: <http://www.odnature.natural-sciences.be> [in English].
  14. Mishra, S. & Mishra, D. (2012). Normalized Difference Chlorophyll Index: A Novel Model for Remote Estimation of Chlorophyll — A Concentration in Turbid Productive Waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016> [in English].
  15. Konishchuk, V.V., Andriienko T.L., Tsarenko, P.M. et al. (2010). Chervona knyha Volynskoi oblasti [Red book of the Volyn region]. *Naukovyi visnyk Volynskoho natsionalnoho universytetu im. Lesi Ukrainky. Seria: Biologichni nauky — Scientific Bulletin of the Volyn National University named after Lesya Ukrainka. Series: Biological Sciences*, 12, 154–175 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 30.06.2023

---