

<https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.2.194>

УДК 528.88:556.55(477.41/42)

Використання засобів дистанційного зондування Землі до оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону

В. О. Мартинюк^{1*}, О. В. Томченко²

¹ Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Ст. Бандери 12, Рівне 33028, Україна

² ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. О. Гончара 55 Б, Київ 01054, Україна

Обґрунтовується проблема трансформації озер Поліського регіону під впливом глобальних змін клімату, а також антропогенних чинників у басейнових системах (осушувальна меліорація, аграрне природокористування та хімізація ґрунтів водозборів, зростання селитебних земель, неконтрольований видобуток вод з підземних горизонтів, несанкціонований видобуток бурштину тощо), які призводять до зменшення площ водойм, пришвидшення процесів седиментації, евтрофікації і, як наслідок, перетворення в озерно-болотні комплекси. Розкрито основні етапи польових досліджень, особливості дешифрування озер за космічними знімками, сутність поняття “палеоозеро” та природно-аквальної комплексу (ПАК). Запропоновано алгоритм-схему дослідження природно-антропогенних трансформацій озер засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та технологій геоінформаційних систем (ГІС-технологій). За допомогою ресурсу Google Earth оцінено зміни параметрів площ модельних озер Волинського Полісся, а на прикладі оз. Більське проаналізовано зміни площі водойми від “палеоозера” до сучасних меж берегової лінії та акваторії. Проаналізовано гідролого-лімнологічні параметри оз. Більське. На основі аналізу космічних знімків (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat) високої просторової розрізненості в різних спектральних діапазонах оцінено екологічний стан озера за індексом вегетації (NDVI), проаналізовано динаміку термічного режиму поверхні озера й побудовано графік зміни температур водойми протягом 2017–2021 рр. Представлено цифрову ландшафтну карту оз. Більське з виокремленням аквальних фацій та оцінено ландшафтометричний ПАК. У процесі дослідження встановлено тенденцію до підвищення температур водойми. Пропонований підхід до оцінювання екологічного стану озер засобами ДЗЗ є дієвим у методичному та практичному плані. Поряд з інструментальними та лабораторними методами його доцільно використовувати для створення екологічних паспортів водойм, моніторингу озер заповідно-рекреаційних територій, довготермінового прогнозування розвитку аквальних комплексів в умовах природно-антропогенних трансформацій.

Ключові слова: озеро, природний аквальної комплекс, дистанційне зондування Землі, космічні знімки, екологічний стан озера, моніторинг озер.

© В. О. Мартинюк, О. В. Томченко 2021

Вступ

Важливе місце у структурі водойм уповільненого водообміну (ВУВ) України посідають озера. За оцінками дослідників (Ільїн, 2008, с. 166), в Україні налічується 8073 озер і лиманів. Волинське Полісся має велику кількість озер, які є стратегічним потенціалом прісної води, органіко-мінеральних, біотичних та рекреаційних ресурсів. Вони виконують важливу гідрологічну, мікрокліматичну, екологічну, біостаційну та ландшафтну функції в біосферних процесах.

Водночас глобальні зміни клімату суттєво впливають на функціонування озерних екосистем. Графік трендової моделі середньорічних температур суходолу та океану протягом 1880–2020 рр. (Рис. 1) є яскравим прикладом таких змін.

Згідно з даними Світової метеорологічної організації, період 2015–2019 рр. був найтеплішим за будь-який еквівалентний період у світовому вимірі, зі зростанням на 1,1 °C середньої глобальної температури за доіндустріальний рівень та зростанням на 0,2 °C порівняно з попереднім п'ятирічним періодом (The State of the Global Climate 2020). В Україні, за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, середня річна температура з початку ХХ ст. зросла більше ніж на 2 °C, зокрема на 1,2 °C – за останні 30 років (Зміна клімату..., 2020).

Внаслідок еволюційних процесів, зокрема й глобальних змін клімату, а також антропогенних чинників (осушувальна меліорація, неконтрольований видобуток вод з підземних горизонтів, несанкціонована розробка покладів бурштину тощо) десятки озер зникають, трансформуються у водно-болотні комплекси (Мартинюк, 2014). Навіть блакитна перлина України оз. Світязь у 2019–2020 рр. опинилося на межі катастрофи, його акваторія на 30–70 м відступила від сучасної берегової лінії.

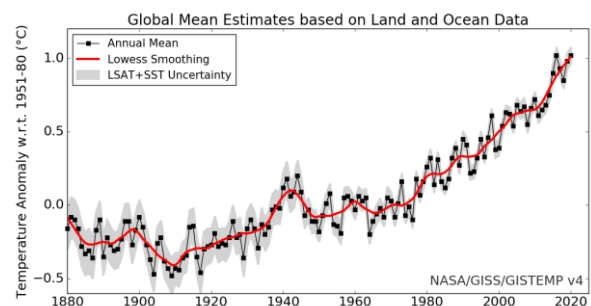


Рис. 1. Зміни глобальної середньої температури над суходолом та океаном за період 1880–2020 рр. відносно середньої температури за 1951–1980 рр.

Умовні позначення: Чорна лінія – середньорічна температура, а червона ковзна – середня за 5 років. Сіре затінення – загальна річна невизначеність (LSAT+SST) на 95 % довірчому інтервалі. Джерело: GISS Surface Temperature Analysis (2021)

E-mail: vitalii.martyniuk@rshu.edu.ua

Окрім згаданих процесів, помітний вплив на ландшафтно-гідроекологічне функціонування озер має сільськогосподарське природокористування, хімізація ґрунтів водозборів, зростання селянських земель, будівництво сучасних тваринницьких, птахівничих комплексів, автозаправних станцій тощо в межах басейнових систем водойм, які призводять до забруднення озер, прискорюють процеси седиментації та евтрофікації.

У світлі вищезначеного постає завдання кадастрового обліку озер та екологічного оцінювання їх природно-антропогенних трансформацій за допомогою сучасних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та технологій геоінформаційних систем (ГІС-технологій) і наукових рекомендацій раціонального використання й охорони.

Дослідження озер за методами ДЗЗ останнім часом спрямовані на оцінювання морфометричних параметрів водойм. Н. Бриксін та ін. (2013) аналізують площі озер Західного Сибіру за матеріалами супутників Landsat і ERS-2. Вони наголошують, що для озер з площею 10 га і більше похибка вимірювання площі на космічних знімках (КЗ) Landsat не перевищує 3,5 %, а на радіолокаційних знімках ERS-2 за допомогою фільтрації – 3,0 %. Ю. Полішук зі співавторами (2018) використовують КЗ надвисокої та середньої просторової розрізненості для цього ж регіону, зокрема зі знімальних апаратів “Ресурс-П” (0,7 м), QuickBird і GeoEye-1 (0,6 м) у поєднанні зі знімками Landsat-8 (30,0 м), що насамкінець дало змогу розподілити озера за 23-ма градаціями площі з інтервалом параметрів від 5 до 20 га. Важливо, що у градації площі 0,0005–0,001 га ці автори подають 1722467 шт. озер, а в градації 10000–20000 га лише 9. У сучасних гідрографічних оцінках озер у світлі глобальних змін клімату така детальна градація площ є своєчасною і потрібною. На прикладі фізико-географічного регіону Феноскандії Н. Корнесенкова та ін. (2019), за результатами обробки архівів (2000–2012 рр.) багатоспектральних КЗ із просторовою розрізненістю 30 м та за програмним пакетом Quantum GIS, дешифровано в автоматичному режимі близько 7400 водойм з понад 1 км² із сумарною площею 63000 км². М. Птак та ін. (2020) розкривають можливості застосування бортового лазерного LIDAR-сканування акваторії озер та їх берегових ліній. Ідентифікація 14 озер Поморського поозер’я Польщі показала, що площа їхньої акваторії зменшилася на 161,5 га порівняно з береговою лінією водойм.

На початку ХХІ ст. розширився спектр методів пізнання геоекологічного стану озер та їхніх басейнів, що ґрунтуються на застосуванні ГІС/ДЗЗ-технологій (Красовський та ін., 2003; Лялько та ін., 2006; Байрак та ін., 2010; Основи дистанційного..., 2019; Романов та ін., 2019). Поєднання польових інструментальних ландшафтно-лімнологічних пошуків, лабораторної діагностики природно-акваторних комплексів (ПАК) озер та методів ГІС/ДЗЗ-технологій має стати основою сучасної системи геоекологічного моніторингу водойм, яка відповідатиме ключовим засадам екологічної політики Європейського Союзу та збалансованого природокористування локальних територій.

Мета дослідження – розкрити підходи щодо використання засобів ДЗЗ до оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер (на прикладі озера Більське, Волинське Полісся).

Район дослідження

Фізико-географічна область (ФГО) Волинського Полісся розташована у межиріччі Західного Бугу та Случі. Вона характеризується розгалуженою гідрографічною мережею, високим показником заозереності, заболоченості

та залісненості. На формування ландшафтів Волинського Полісся, а відтак і генезису самих озер, значно впливали серія покривних зледенінь у плейстоцені, зокрема ранньонеоплейстоценового окського (500–410 тис. років) та середньонеоплейстоценового дніпровського (290–240 тис. років). Дегляціація дніпровського льодовика супроводжувалася формуванням озер-розливів, заболочуванням, а пізніше еоловими процесами (Зубкович та ін., 2020). Водночас, лише на початку голоцену (11,0–10,5 тис. років) сформувалися сприятливі кліматичні та гідроекологічні умови для активізації карстових процесів та формування озерних улоговин. Окрім карстового походження тут поширені озера льодовикового, тектонічно-карстового, суфозійно-карстового, ерозійного, заплавного (стариці), заплавно-руслового та змішаного генезису.

У межах Волинського Полісся нами закладено низку модельних озер як реперних об’єктів аерокосмічного моніторингу (Рис. 2). Наведені озера, зокрема й оз. Більське, перебувають на стадії від евтрофного до дистрофного типу.



Рис. 2. Модельні озера аерокосмічного моніторингу на схемі фізико-географічного районування Волинського Полісся (схема районування за Національним атласом..., 2007; з доповненнями та уточненнями Мартинюка, 2018) Умовні позначення: Фізико-географічна область Волинського Полісся. Підобласть Верхньоприп’ятського Полісся. Фізико-географічні райони: 1. Шацький. 2. Верхньоприп’ятський. 3. Любомльсько-Ковельський. 4. Нижньостирський. Підобласть Буго-Горинського Полісся. Фізико-географічні райони: 5. Маневіцько-Володимирецький. 6. Льва-Горинський. 7. Колківсько-Сарненський. 8. Турійсько-Рожищенський. 9. Ківерцівсько-Цуманський. 10. Костопільсько-Березнівський

Матеріали та методи дослідження

Матеріалами дослідження слугували багаторічні польові ландшафтно-лімнологічні пошуки в межах Поліського регіону України (Мартинюк, 1998; 2013; Томченко та ін., 2013). В основу дослідження покладена концепція ландшафтно-лімнологічного аналізу озерно-басейнових систем (Kovalchuk et al., 2015), методи ландшафтного картографування ПАК озер (Kovalchuk et al., 2020; Мартинюк та ін., 2020), ГІС/ДЗЗ-технологій щодо антропогенних змін екосистем (Соколовська та ін., 2013), оцінювання стану водних екосистем на основі методів системного аналізу аерокосмічної та наземної інформації (Томченко, 2013; Федоровський та ін., 2018). Алгоритм-схема дослідження природно-антропогенних трансформацій озера за допомогою ГІС/ДЗЗ-технологій подана на Рис. 3.

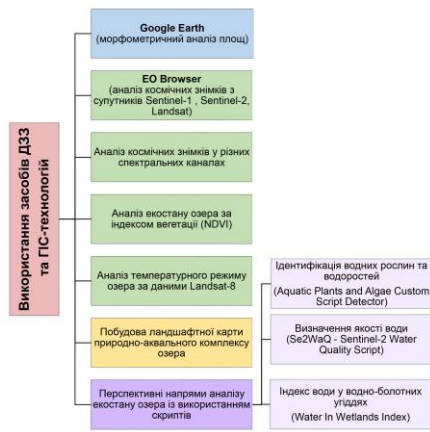


Рис. 3. Алгоритм-схема дослідження природно-антропогенних трансформацій озера

Ресурс Google Earth (<https://www.google.com/intl/uk/earth/>) – досить зручний для миттєвого пошуку озер і визначення морфометричних параметрів (площа, периметр берегової лінії, довжина та ширина максимальні). Малі озера легко масштабуються в межах 1:25000-1:5000. Іноді можна припуститися помилки в оцифруванні параметрів площі водойми, а відтак й інших морфометричних характеристик. На Рис. 4 показано оконтурені площі озера Карасине (а) та його водного дзеркала (б).

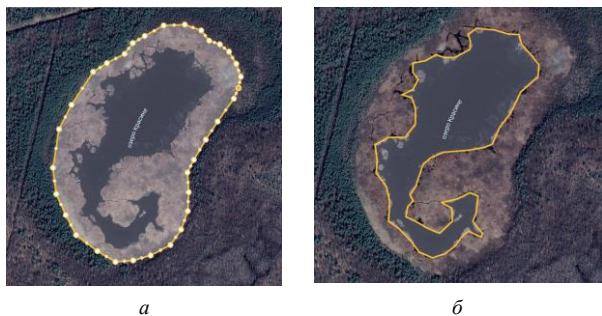


Рис. 4. Фрагмент космоснімки WorldView-3 оз. Карасине (Карасине) за 2019 р., де а – полігон площі озера; б – полігон площі акваторії озера

Згідно із Законом України “Про державний земельний кадастр” (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>), якщо земельна ділянка не виведена з відомчого землекористування як водойма, ми зобов’язані картографувати її площу разом із заболоченою частиною. Звичайно, в наукових проєктах із землекористування потрібно уточнювати і пояснювати таку розбіжність площ. Важливим аспектом моніторингу площ озер є аналіз ландшафтно-еволюційних особливостей розвитку озер. На КЗ високої просторової розрізненості, а також за допомогою маніпуляції “підсвічування” КЗ у різних спектральних каналах, іноді можна дешифрувати контури прадавнього озера або палеозера. Зазвичай документально підтвердити межі палеозера можна методом геологічного буріння й виявлення озernih відкладів.

Для моніторингу якості води в природних та штучних водоймах часто застосовують оцінку шляхом відбору проб та лабораторних вимірювань. Лабораторні методи, що ґрунтуються на пунктах відбору проб, є трудомісткими та дороговартісними й вони не можуть адекватно оцінити весь водний об’єкт (Ouma, 2018). Для уникнення обмежень методів моніторингу якості води *in situ* необхідні регулярні, майже в режимі реального часу відбори проб,

недорогі, з автоматизованими підходами та належним просторово-часовим охопленням (Ouma, 2016).

У низці досліджень (Yashon, Ouma, 2020) розглянуто використання різних супутникових датчиків для оцінки якості води. Зокрема, датчики Landsat широко використовуються для оцінювання таких параметрів якості води, як загальна суспендована речовина, хлорофіл-а, каламутність, глибина диска Секкі, загальний фосфор, розчинений кисень, хімічне споживання кисню (ХСК) та біохімічне споживання кисню (БСК), які розглянуто в роботі (Gholizadeh, 2016).

Для оцінювання стану озер широко використовують методи ДЗЗ. Для макрофітних озер (Гейни та ін., 1993), що перебувають на стадії евтрофно-дистрофного типу, доцільно застосовувати вегетаційний показник, відомий як NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс). Показник кількості фотосинтетичної активної біомаси обчислюється за такою формулою:

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

де NIR – 760–900 нм, інфрачервона область спектра,

RED – 630–690 нм, видима червона область спектра (Посудін, 2003).

Відповідно до певного часового інтервалу (1 місяць – 5 років), застосовуючи фільтр хмарності до 10,0 %, можна виявити динаміку КЗ з різною площею надводно-підводної рослинності в різних відтінках зелених кольорів та відповідним NDVI в діапазоні від –1 до +1.

Застосування скриптів, зокрема для ідентифікації водних рослин та водоростей (Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (APA Script, 2021), визначення якості води (Se2WaQ – Sentinel-2 Water Quality Script, 2021), індексу води у водно-болотних угіддях (Water In Wetlands Index (WIW) – Sentinel-2 Version, 2021) у поєднанні з іншими засобами ГІС/ДЗЗ-технологій дає змогу комплексно оцінювати стан озера та визначати особливості природно-антропогенних трансформацій.

Результати дослідження

Перший етап дослідження ґрунтувався на оцінюванні площ модельних озер. Особливість дешифрування озер полягала в чіткій диференціації берегової лінії озер та їхніх акваторій. Важливо було з’ясувати відсоток ландшафтно-сукцесійних трансформацій озernih водойм. Результати пошуків показали, що всі озера мають нижній геоморфологічний рівень за висотною диференціацією ландшафтів. Вони прив’язані до місцевостей погано дренажованих рівнинно-западних межиріч та верхових міжрічкових боліт з широко розвиненими процесами акумуляції. Обмежувальним чинником поверхневого стоку деяких модельних озер є мережа осушувальних каналів.

За станом ландшафтно-сукцесійної трансформації озера, що досліджувалися (Рис. 5), ми диференціювали на два типи: помірно змінені та сильно змінені. До першого типу нами віднесені озера, де частка площі водного дзеркала зменшилася до 50,0 %, зокрема озера Кримне ($F_{оз.} > 15,63\%$), Сомин ($F_{оз.} > 26,07\%$) та Бабинець ($F_{оз.} > 48,78\%$). У другому типі озер зміна площі акваторії становить понад 50,0 % – це озера Карасине ($F_{оз.} > 54,23\%$), Охотин ($F_{оз.} > 54,5\%$), Горіхове ($F_{оз.} > 88,66\%$). Останнє фактично вже трансформувалося у водно-болотний комплекс, де дистрофні процеси уже незворотні. Оз. Бабинець знаходиться на межі переходу до другого типу ландшафтно-сукцесійної трансформації. З огляду на темпи глобальних змін середньої температури приземного шару Землі, седиментаційні процеси у водоймах Поліського регіону будуть пришвидшуватися.

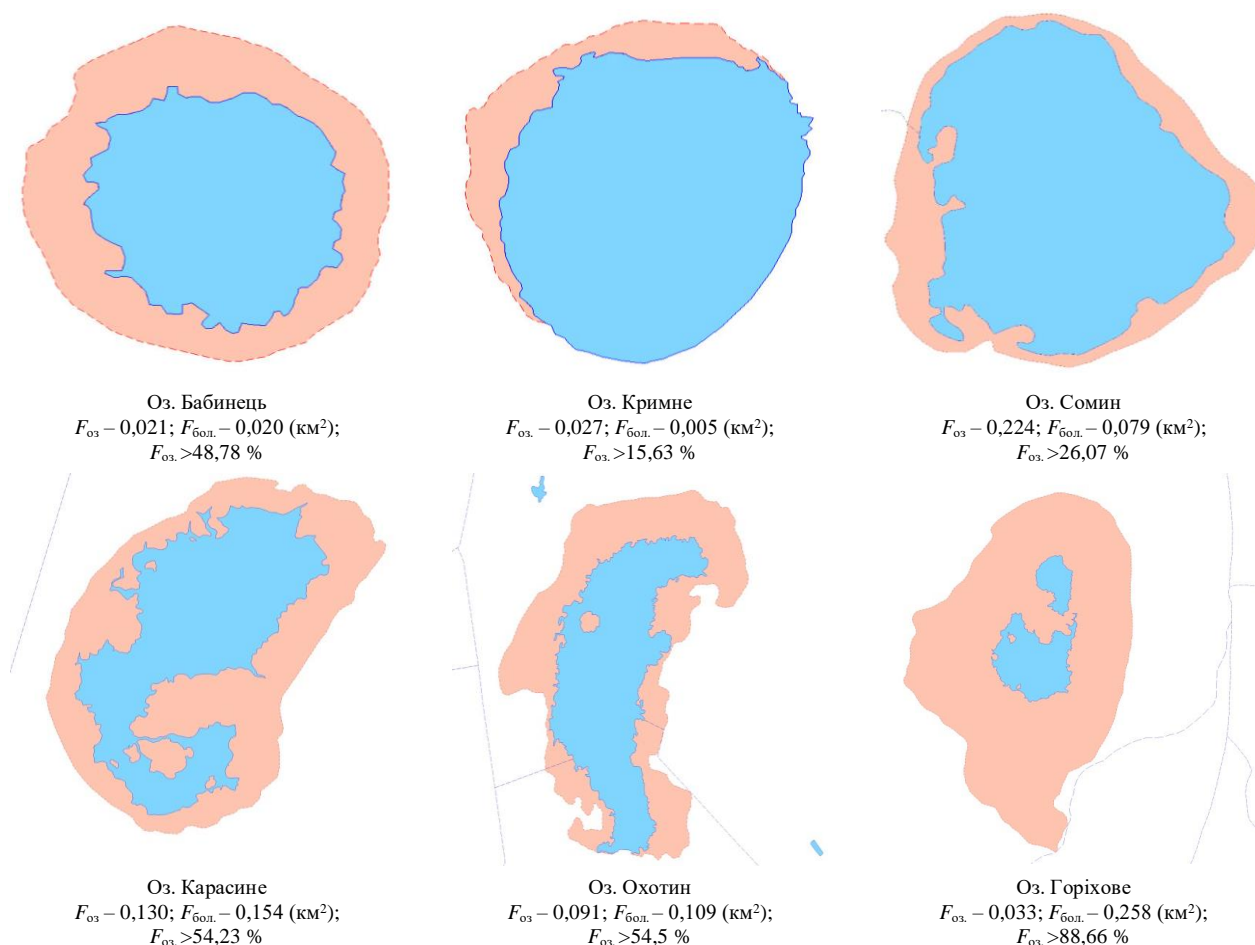


Рис. 5. Трансформації площ модельних озер Волинського Полісся (оцифровано за даними ресурсу Google Earth)
 $F_{оз}$ – площа сучасної акваторії озера; $F_{бол}$ – площа заболоченої ділянки колишнього озера; $F_{оз. >}$ – % зменшення площі озера

Детально зупинимося на особливостях зміни площі оз. Більське та геоecологічному стані у цілому цієї водойми. Озеро Більське – неправильної овальної форми, витягнуте з північного заходу на південний схід. Береги озера низькі. Берегова смуга заболочена (в окремих місцях драговинного типу), вкрита лучним і лучно-болотним різнограв'ям; з деревних порід переважає вільха та сосна. Берегова лінія нечітко виражена, зі сплавинами, слабо порізнана, підвищується над дзеркалом води на 0,10–0,20 м. Ширина берегової смуги – до 0,250–0,300 км. У паводки повністю заливається водою. Ґрунти берегової смуги представлені лучно-болотними та болотними мало-та середньопотужними різновидами, які сформувалися на сапропелі, що підстеляється алювіальними відкладами. Різниця рівнів води в паводковий і меженний періоди становить близько 0,40 м. Площа оз. Більське – 9,14 га, а самої акваторії – 8,56 га. Польовими дослідженнями встановлено, що озерні відкладення поширені за межами озера й площа їх становить 25,7 га (Мартинюк, 2013). У результаті еволюційних процесів площа озера зменшилася на 73,77 %. Модель співвідношення площ озера наведена на Рис. 6.

Улоговина озера має невелике заглиблення в центральній частині водойми. Довжина озера – 0,391 км, середня ширина – 0,230 км. Максимальна глибина води – 4,0 м, середня – 2,1 м, довжина берегової лінії – 1,20 км. Коефіцієнт порізаності берегової лінії становить 0,637. Об'єм водних мас озера – 170,0 тис. м³. Озеро безстічне. Основне джерело живлення – атмосферні опади, меншою мірою – підземний стік. Ґрунтові води гідралічно

взаємозв'язані з водами озера. В паводки відбувається підживлення ґрунтових вод з озера, а в меженний період – навпаки.



Рис. 6. Модель співвідношення площ оз. Більське (побудовано за даними ресурсу Google Earth)

Умовні позначення: 1 – палеозеро (25,7 га), 2 – сучасне озеро із заболоченою літторальною зоною (9,14 га), 3 – акваторія озера (8,56 га)

Пояс макрофітів оточує літторальну зону аквального комплексу зі сфагновими сплавинами та острівцями верболозу. З метою визначення вегетаційного індексу нами проаналізовано низку КЗ супутника Sentinel-2 літнього сезону 2019 року (Рис. 7).

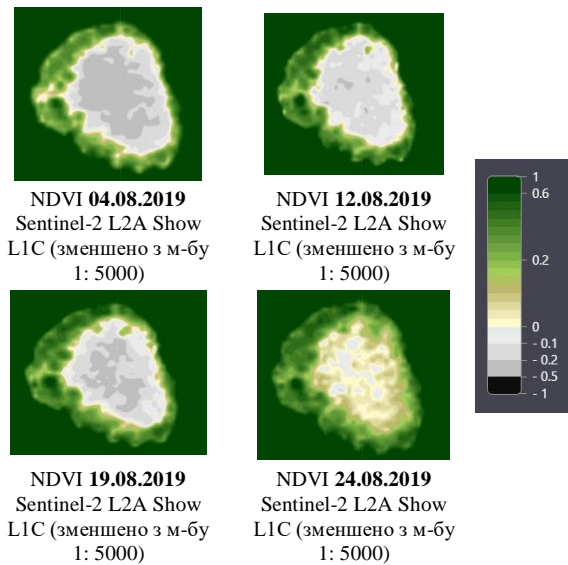


Рис. 7. Зміна вегетаційного індексу (NDVI) у 2019 р. оз. Більське за різними датами космічних знімків супутника Sentinel-2 L2A (отримана з ресурсу EO-browser)

Найбільш інформативними КЗ із застосуванням фільтра 10 %-ї хмарності виявилися чотири знімки за серпень 2019 р. За допомогою спектральних каналів на КЗ вдалося візуалізувати площі з великою вегетаційною масою, тобто тих рослинних груп, які найбільше насичені хлорофілом.

Детальний експеримент щодо оцінювання показника NDVI оз. Більське був здійснений за допомогою КЗ від 22.07.2020 р. (Sentinel-2 L1C Show L2A). Нами визначено показники NDVI протягом п'ятирічного періоду (01.08.2015–22.08.2020 рр.) для трьох полігонів озера (Рис. 8).

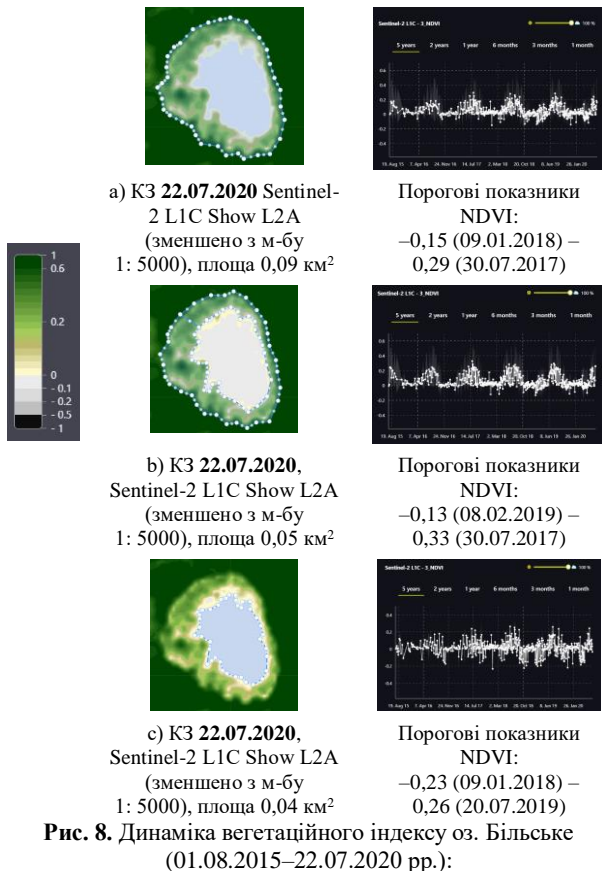


Рис. 8. Динаміка вегетаційного індексу оз. Більське (01.08.2015–22.07.2020 рр.):

а) полігон усієї водойми, б) полігон водойми вкритий надводно-підводною рослинністю, в) полігон водойми, де не візуалізується на КЗ надводно-підводна рослинність

Порогові показники NDVI для усього озера варіюють від -0,15 (09.01.2018) до 0,29 (30.07.2017), для “макрофітно” частини водойми – від -0,13 (08.02.2019) до 0,33 (30.07.2017) і для акваторії водойми, де не візуалізується рослинність – від -0,23 (09.01.2018) до 0,26 (20.07.2019). Для усіх полігонів озера найвищі показники NDVI спостерігаються в літні сезони року, а найменші – взимку. Показник NDVI є передумовою для диференціації ПАК та розробки в цілому ландшафтної карти озера.

Важливою складовою для аналізу ландшафтних особливостей ПАК є температурний режим водойми та порогові показники максимальних і мінімальних температур. Місія Landsat-8 має операційний наземний знімач (OLI) та тепловий інфрачервоний датчик (TIRS). Отриманий графік температур поверхні оз. Більське протягом 2017–2021 рр. дає загальне уявлення про температурні режими ПАК (Рис. 9). Як правило, він має корелювати з графіками показника NDVI озера. З огляду на незначну глибину озера, термічна стратифікація на окремі шари (епілімніон, металімніон, гіполімніон) у водоймі не виявлена. За період з 2017 до 2021 року простежується тенденція до підвищення температур водойми, що показує лінія тренду.

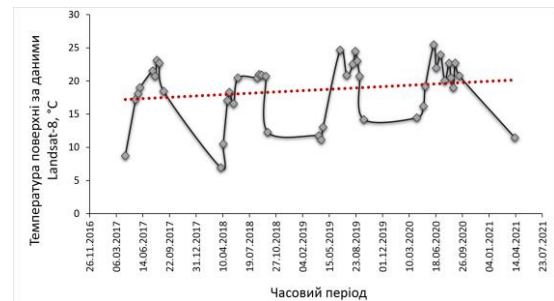


Рис. 9. Динаміка температурного режиму оз. Більське (09.04.2017–11.04.2021) за даними супутника Landsat 8 (USGS archive). Діапазон температур: t_{\max} . 24.15 °C (11.06.2020) – t_{\min} . 5.38 °C (03.04.2018)

Морфологічна структура ПАК оз. Більське має просте аквальне урочище. В акваурочищі озера виділено чотири види аквафацій. Виділення аквафацій ґрунтувалося на особливостях мікрорельєфу озерної улоговини з урахуванням геоморфологічних та геохімічних процесів, особливостей складу та потужності озерних відкладень, водних рослинних груп і температурного режиму влітку (Рис. 10).

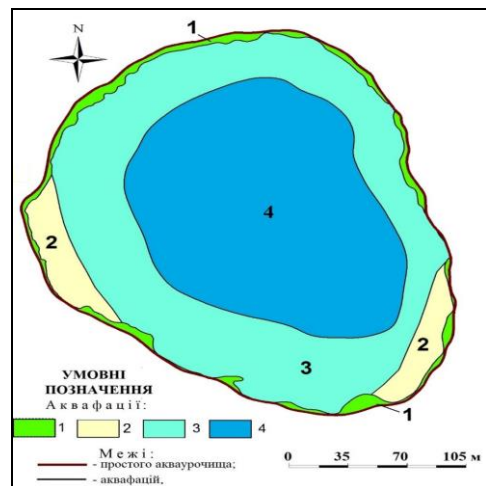


Рис. 10. Структура природно-аквального комплексу оз. Більське (оцифровано за Мартинюком, 2013)

Аквафайї: 1. Мілководні, акумулятивні торфяно-болотні та торф'яно-сапропелеві, осоково-очеретяно-лепехові зі сфагновими сплавинами, однорідним температурним режимом влітку, радіоактивно забруднені. 2. Мілководні, акумулятивні з острівцями верболозу та сфагновими сплавинами, водоростево-глинисто-торф'янисто-сапропелеві, що перекриті торфом, потужні (7,4–8,5 м), рогозово-очеретяно-ситникові й локально лататтеві, без температурної стратифікації, радіоактивно забруднені. 3. Мілководні, акумулятивні водоростево-глинисто-сапропелеві, що перекриті торф'янистим сапропелем, потужні (6,9–8,7 м), елодєво-рдєсникові, без температурної стратифікації, радіоактивно забруднені. 4. Субліторальні, акумулятивні водоростево-глинисто-сапропелеві, що перекриті торф'янистим сапропелем, потужні (6,9–12,0 м), з вільно плаваючими водоростями, без температурної стратифікації, радіоактивно забруднені.

Площа ПАК озера становить 9,143 га. Загальна кількість ландшафтних контурів – 10. Середня площа аквафайї ПАК – 0,9143 га. Згідно з А. Вікторовим (2006) нами розраховано низку індексів ПАК, зокрема індекс ландшафтної подрібненості – 1,094, коефіцієнт складності – 10,937, коефіцієнт ландшафтної подрібненості – 0,900.

Висновки

У процесі дослідження встановлено, що площі акваторії модельних озер Поліського регіону під впливом природно-антропогенних трансформацій зменшуються. Діапазон змін площ становить від 15,63 % (оз. Кримне) до 88,66 % (оз. Горіхове). Космічні знімки ресурсу Google Earth досить зручні для оцінювання морфометричних параметрів озер й уточнення змін берегової лінії, площі акваторії тощо. В окремих випадках за допомогою ресурсу Google Earth можна ідентифікувати площу палеозера, однак для достовірності результатів слід застосовувати геологічні методи буріння.

Для озер Поліського регіону, ще перебувають на стадії евтрофно-дистрофного типу доцільно визначати вегетаційний індекс за даними КЗ апарата Sentinel-2 в EO Browser, будувати графіки багаторічної динаміки NDVI, ландшафтно-динамічні карти з урахуванням індексу NDVI та площі макрофітної частини водойми й у цілому ПАК.

Отримані результати оцінювання температурного режиму поверхні оз. Більське за даними Landsat-8 (TIRS) в EO Browser показали тенденцію до підвищення середньорічних температур, а відтак до активізації процесів евтрофікації в літні сезони року та осадонагромадження автохтонних і алохтонних речовин.

Використання космічних знімків ресурсу Google Earth та EO Browser, розрахунків та графіків, отриманих у різних спектральних каналах у комплексі з інструментальними методами є передумовою для розробки ландшафтно-екологічної карти озера, як приклад, модель ПАК оз. Більське.

Сьогодні ресурс EO Browser знаходиться на стадії оновлення та доопрацювання. В подальшому використання його можливостей дадуть змогу отримати графіки розподілів скриптових значень екостану озера та його водозбору, зокрема ідентифікації водяних рослин і водоростей, якості води, рівня ґрунтових вод тощо.

Такий напрям регіональних ландшафтно-лімнологічних досліджень Поліського регіону за допомогою даних ДЗЗ і ГІС-технологій важливий для розробки екологічних паспортів озер. Він дасть змогу закласти реперну основу геоecологічного моніторингу озер і сформувати передумови до збалансованого природокористування водойм уповільненого водообміну.

Література

- Байрак Г. Р., Муха Б. П. *Дистанційні дослідження Землі*. Навч. посібник. Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 712 с.
- Брыксина Н. А., Полищук Ю. М. Исследование точности дистанционного измерения площадей озер с использованием космических снимков. *Геоинформатика*. 2013. № 1. С. 64–68.
- Викторов А. С. *Основные проблемы математической морфологии ландшафта*. М., Наука, 2006, 252 с.
- Гейны С., Дубына Д. В., Сытник К. М. [и др.]. *Макрофиты – индикаторы изменений природной среды*. К.: Наук. Думка, 1993. 433 с.
- Закон України “Про державний земельний кадастр”. 7 липня 2011 року № 3613-VI (редакція від 26.02.2021). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>
- Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110с.
- Зубкович І. В., Мартинюк В. О. Особливості ландшафтно-структури Волинського Полісся (за результатами польових досліджень на ключових ділянках). *Наук. записки Сумського ДПУ імені А.С.Макаренка. Географічні науки*. 2020. Том 2. Вип. 1. С. 3–18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727228>.
- Льбін Л. В. *Лімнокомплекси Українського Полісся*: монографія: У 2-х т. Т.1: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк: РВВ “Вежа” Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки, 2008. 316 с.
- Корнеев Н. Ю., Измайлова А. В. Использование космической информации при оценке морфометрических характеристик озер и построении карт озёрности и густоты озёрной сети. *Региональная экология*. 2019. № 2 (56). С. 43–50. DOI: 10.30694/1026-5600.
- Красовський Г. Я., Петросов В. А. *Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст*. К.: Наукова думка, 2003. 223 с.
- Лялько В. І., Федоровський О. Д., Попов М. О. [та ін.]. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*. К.: Наукова думка, 2006. 352 с.
- Мартинюк В. О. Актуальні проблеми трансформації озерно-басейнових систем Українського Полісся. *Природні та антропогенно трансформовані екосистеми прикордонних територій у постчорнобильський період*: матер. міжнар. наук. конф. “Природні та техногеннозміннені екосистеми прикордонних територій у постчорнобильський період” і міжнар. наук.-практ. студ. конф. “Структурно-функціональна організація природних і антропогенно трансформованих екосистем прикордонних територій” (9-11 жовтня 2014 р., Чернігів, Україна): збірник статей. Чернігів: Видавець Лозовий В.М., 2014. С. 116–120.
- Мартинюк В. О. Географічний аналіз басейнової системи озера Більське (Волинське Полісся) як реперного об’єкта лімнологічного моніторингу. *Наук. вісник Чернівецького нац. ун-ту імені Юрія Федьковича. Серія географічна*. 2013. Вип. 655. С. 39–46.
- Мартинюк В. О. Ландшафтно-лімнологічні дослідження східної частини Волинського Полісся для кадастрових цілей. *Українське Полісся вчора, сьогодні, завтра*: Збірник наукових праць. Луцьк: Надтир’я, 1998. С. 70–72.
- Мартинюк В. О. Регіональне ландшафтно-гідрографічне ГІС-моделювання поверхневих вод Полісся. *Природнає асироддє Палєсся: асаблівасці і перспективы развіцця: зб. навуц. прац* / Палєскі аграрна-екалагічны інстытут НАН

Беларусі; редкал. М.В. Міхальчук (гал. ред.) [і інш.]. Брест: Альтернатива, 2018. Вип. 11. С. 70–73.

Мартинюк В. О., Андрійчук С. В., Зубкович І. В. Досвід батиметричного моделювання та ландшафтного картографування озер Поліського регіону України. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences : Collective monograph* ; Editorial board: dr U. Kempinska, dr H. Stepień, dr of Agricultural Sciences, Prof. R.A. Vozhehova. Riga : Izdevniecība «Baltija Publishing». 2020. Р. 2. Рр. 493–520. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.6>

Мартинюк В. А. Мониторинг площадей озерно-болотных систем региона по материалам дистанционного зондирования Земли. *Мониторинг окружающей среды : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. (Брест, 25-27 сентября 2013 г.) : в 2 ч. / Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина ; редкол.: И. В. Абрамова [и др.]. Брест : Бр. ГУ, 2013. Ч. 1. С. 118–121.*

Національний Атлас України; гол. ред. Л. Г. Руденко. К.: ДНВП «Картографія», 2007.

Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.

Полищук Ю. М., Богданов А. Н., Брыксина Н. А., Муратов И. Н., Полищук В. Ю. Интеграция космических снимков сверхвысокого и среднего разрешения для построения гистограмм распределения площадей термокарстовых озёр в расширенном диапазоне их размеров. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 3. С. 9–17. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-9-17

Посудін Ю. І. *Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища*: Підручник. К. : Світ, 2003. 288 с.

Романов А. А., Романов А. А. *Основы космических информационных систем*: учеб. пособие (научная монография). М. : ИКИ РАН; МФТИ, 2019. 292 с.

Соколовська А. В., Томченко О. В. Дослідження антропогенних змін екосистем засобами ГІС/ДЗЗ-технологій з використанням системних методів. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 36. наук. праць. Харків, 2013. Вип. 17. С. 57–60.

Томченко О. В. Системний підхід при оцінці екологічного стану мілководь Київського водосховища на основі даних ДЗЗ. *Вісник Астрономічної школи*. 2013. Т. 9. № 1. С. 59–63.

Томченко О. В., Підгорецька Л. В., Федоровський О. Д. Комплексна оцінка екологічного стану водойми на основі космічної інформації дистанційного зондування Землі (на прикладі оз. Світязь та верхів'я Київського водосховища). *Гідроакустичний журнал*. 36. наук. праць. Запоріжжя: НТЦ ПАС України, 2013. № 10. С. 111–117.

Федоровський О. Д., Зуб Л. М., Томченко О. В., Хижняк А. В., Ходоровський А. Я., Підгорецька Л. В. Оцінювання стану водних екосистем на онові методів системного аналізу аерокосмічної й наземної інформації. *Екологічні наук. Наук.-практ. журнал*. 2018. № 4(23). С. 106–111.

Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (APA Script, 2021). URL: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/apa_script/#.

Gholizadeh M., Melesse A., and Reddi L. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, vol. 16, no. 8, pp. 1298–1306, 2016. URL: <https://doi.org/10.3390/s16081298>.

GISS Surface Temperature Analysis (v4). (2021). National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies. URL: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/.

Google Earth. <https://www.google.com/intl/uk/earth/>.

Kovalchuk I. P., Martyniuk V. A. Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine. *Geography and Natural Resources*. 2015. Vol. 36. Issue 3. Pp. 305–312. <https://doi.org/10.1134/S1875372815030117>.

Kovalchuk I., Martyniuk V., Šeiriene V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. *Вісник Харків. нац-го ун-ту імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2020. Вип. 53. С. 239–254. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18>.

Ouma Y. O. Advancements in medium and high resolution Earth observation for land-surface imaging: evolutions, future trends and contributions to sustainable development. *Advances in Space Research*, vol. 57, no. 1, pp. 110–126, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.038>.

Ouma Y. O., Waga J., Okech M., Lavisa O., and Mbutia D. Estimation of Reservoir Bio-Optical Water Quality Parameters Using Smartphone Sensor Apps and Landsat ETM+: Review and Comparative Experimental Results. *Journal of Sensors*, vol. 2018, Article ID 3490757, 32 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3490757>.

Ptak M., Choiński A., Pych A., Piekarczyk J. Applicability of Airborne Laser Scanning in the Identification of Lake Shorelines. *Limnological Review*. 2020. 20(2). С. 51–58. DOI: 10.2478/limre-2020-0006.

Se2WaQ – Sentinel-2 Water Quality Script, 2021. <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/se2waq/#>.

The State of the Global Climate 2020. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>.

Water In Wetlands Index (WIW) – Sentinel-2 Version, 2021. URL: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/wiw_s2_script/.

Yashon O. Ouma, Kimutai Noor, Kipkemoi Herbert. Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of Sensors* (IF1.595). Pub Date: 2020-09-19. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/8858408>.

References

Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector, APA Script (2021). Taken from: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/apa_script/# (in English)

Bairak, H.R., Mukha, B.P. (2010). *The remote Earth research*. Tutorial. Lviv: Publishing house center of LNU named after I. Franko, 712 p. (in Ukrainian).

Bryksina, N.A., Polishchuk, Y.M. (2013). Research of remote measurement accuracy of lake areas using space images. *Geoinformatika*. 1, 64–68. (in Russian).

Climate change: consequences and adaptation measures: analyte. Report (2020). [S.P. Ivaniuta, O.O. Kolomiets, O.A. Malynovska, L.M. Yakushenko]; edited by S.P. Ivaniuta. K. : NISS, 110 p. (in Ukrainian).

Fedorovskiy O.D., Zub L.M., Tomchenko O.V., Khyzhniak A.V., Khodorovskiy A.Ya. & Pidhoretska L.V. (2018). The assessment of the state of aquatic ecosystems based on methods of systematic analysis of aerospace and ground information. *Environmental sciences. Scientific-practical magazine*. 4 (23): 106–111. (in Ukrainian).

Geyny, S., Dubyna, D., Sytnik, K. [et tl.]. (1993). *Macrophytes are indicators of changes in the natural environment*. K. : Naukova dumka, 433 p. (in Russian).

Gholizadeh M., Melesse A. and Reddi L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation

using remote sensing techniques. *Sensors*, 16, 8: 1298–1306. <https://doi.org/10.3390/s16081298> (in English).

GISS Surface Temperature Analysis (v4). (2021). *National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies*. Taken from: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/ Google Earth (2021). Taken from: <https://www.google.com/intl/uk/earth/> (in English)

Il'in, L. (2008). *Limnocomplexes of Ukrainian Polesia* : Monograph: In 2 t. T. 1: Spatial and geographical bases of research and regional patterns. Luts'k : RVV "Vezha" VNU im. L. Ukrainka, 316 p. (in Ukrainian).

Korneenkova, N. & Izmailova, A. (2019). The use of satellite images for assessment of lakes morphometric characteristics and for development of lake network density and lake percentage maps. *Regional ecology*. 2: 43-50. DOI 10.30694/1026-5600 (in Russian).

Kovalchuk, I. & Martyniuk, V. (2015). *Methodology and experience of landscape-limnological research into lake-basin systems of Ukraine*. *Geography and Natural Resources*. 36, 3: 305–312. <https://doi.org/10.1134/S1875372815030117> (in English).

Kovalchuk, I., Martyniuk, V. & Šeiriene, V. (2020). The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the national parks. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Geology. Geography. Ecology»*. 53: 239-254. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18> (in English).

Krasovskiy, H. & Petrosov, V. (2003). *Information technologies for space monitoring of aquatic ecosystems and forecast of urban water consumption*. K. : Naukova dumka, 223 p. (in Ukrainian).

Law of Ukraine «On State Land Cadastre». July 7, 2011 № 3613-VI (as amended on February 26, 2021). (in Ukrainian).

Lialko, V., Fedorovskiy O. & Popov M. (2006). *Multispectral methods of remote sensing of the Earth in nature management problems*. K. : Naukova Dumka, 352 p. (in Ukrainian).

Martyniuk, V. (2013). The geographical analysis of the basin system of lake Bilske (Volyn Polissya) as the object of reference of limnological monitoring. *Nauk. visnyk of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. The series is geographical*. 655: 39-46. (in Ukrainian).

Martyniuk, V. (2014). The actual problems of transformation of lake-basin systems of Ukrainian Polissya. *Natural and anthropogenically transformed ecosystems of border areas in the post-Chernobyl period*: mater. international Science. conf. «Natural and man-made ecosystems of border areas in the post-Chernobyl period» and international. scientific-practical stud. conf. «Structural and functional organization of natural and anthropogenically transformed ecosystems of border areas» (October 9-11, 2014, Chernihiv, Ukraine): a collection of articles. Chernihiv: Publisher Lozovy V.M., pp. 116-120. (in Ukrainian).

Martyniuk, V.O. (1998). Landscape and limnological research of the Eastern part of Volyn Polissya for cadastral purposes. *Ukrainian Polissya yesterday, today, tomorrow*: Collection of scientific works. Luts'k: Nadstyyria, pp. 70-72. (in Ukrainian).

Martyniuk, V.O. (2013). Monitoring of the areas of lake-swamp systems of the region on the materials of remote sensing of the Earth. *Environmental monitoring*: Sat. materials II International. scientific-practical conf. (Brest, September 25-27, 2013): at 2 o'clock / Brest. state A.S. Pushkin University; editor: I.V. Abramova [et al.]. Brest: Br.GU, Part 1: 118–121. (in Russian).

Martyniuk, V.O. (2018). Regional landscape-hydrographic GIS-modeling of surface water of Polesia. *The natural Environment of Polesie: Features and Prospects for*

Development. Brest: Alternatyva, Issue 11: 70-73. (in Ukrainian).

Martyniuk, V.O., Andriichuk, S.V., Zubkovych, I.V. (2020). The experience of bathymetric modeling and landscape mapping of lakes of Polissya region of Ukraine. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences* : Collective monograph ; Editorial board: dr U. Kempinska, dr H. Stepień, dr of Agricultural Sciences, Prof. R.A. Vozhehova. Riga : Izdevniecība «Baltija Publishing». 2020. P. 2. Pp. 493-520. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.6> (in Ukrainian).

National Atlas of Ukraine (2007). Editor in Chief L.G. Rudenko. K. : DNVP «Cartography». (in Ukrainian).

Ouma, Y.O. (2016). Advancements in medium and high resolution Earth observation for land-surface imaging: evolutions, future trends and contributions to sustainable development. *Advances in Space Research*, vol. 57, no. 1, pp. 110–126. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.038> (in English).

Ouma, Y.O., Waga, J., Okech, M., Lavis, O. & Muthia, D. (2018). Estimation of Reservoir Bio-Optical Water Quality Parameters Using Smartphone Sensor Apps and Landsat ETM+: Review and Comparative Experimental Results. *Journal of Sensors*, Article ID 3490757, 32 p. <https://doi.org/10.1155/2018/3490757> (in English).

Polishchuk, Yu.M., Bogdanov, A.N., Bryksina, N.A., Muratov, I.N., Polishchuk, V.Yu. (2018). Integration of space images of ultra high and medium resolution for the construction of size-distribution histograms of thermokarst lakes in the extended range of their sizes. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 15, 3: 9-17. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-9-17 (in Russian).

Posudin, Yu.I. (2003). *Methods of measuring environmental parameters*: Textbook. K.: Svit, 288 p. (in Ukrainian).

Ptak, M., Choiński, A., Pych, A., Piekarczyk, J. (2020). Applicability of Airborne Laser Scanning in the Identification of Lake Shorelines. *Limnological Review*. 20(2): 51-58. DOI: [10.2478/limre-2020-0006](https://doi.org/10.2478/limre-2020-0006) (in English).

Romanov, A.A., Romanov, A.A. (2019). *Fundamentals of space information systems*: textbook manual (scientific monograph). M. : IKI RAN; MIPT, 292 p. (in Russian).

Se2WaQ – Sentinel-2 Water Quality Script. (2021). <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/se2waq/#> (in English).

Sokolovska, A.V., Tomchenko, O.V. (2013). The study of anthropogenic changes in ecosystems on a basis of tools of GIS/RS-technologies using methods of system analysis. *Problems of continuing geographical education and cartography*. Collection of scientific works. Kharkiv, 17: 57-60. (in Ukrainian).

The fundamentals of remote sensing of the Earth: history and practical application: a textbook (2019). [S.O. Dovhyi, V.I. Lialko, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, O.V. Tomchenko, L.Ya. Yurkiv]. K.: Institute of Gifted Child of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, 316 p. (in Ukrainian).

The State of the Global Climate 2020. (2021). <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate> (in English).

Tomchenko, O.V. (2013). Systems approach to estimation of ecological state of shallow waters of the Kiev reservoir via remote sensing data analysis. *Astronomical school's report*. 9, 1: 59-63. (in Ukrainian).

Tomchenko, O.V., Pidhoretska, L.V. & Fedorovskiy, O.D. (2013). Comprehensive assessment of the ecological status of the reservoir on the basis of space information of remote sensing of the Earth (on the example of Svityaz lake and the upper reaches of the Kyiv Reservoir). *Hydroacoustic magazine*. Collection of scientific works. Zaporizhzhia: STC PAS of Ukraine, 10: 111-117. (in Ukrainian).

Viktorov, A.S. (2006). *The main problems of the mathematical morphology of the landscape*. M.: Nauka, 252 p. (in Russian).

Water In Wetlands Index (WIW) - Sentinel-2 Version (2021). Taken from: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/wiw_s2_script/ (in English)

Yashon, O. Ouma, Kimutai, Noor & Kipkemai, Herbert. (2020). Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of*

Sensors (IF1.595). <https://doi.org/10.1155/2020/8858408> (in English).

Zubkovych, I. & Martyniuk, V. (2020). The Peculiarities of the Landscape Structure of Volyn Polesia (Based on results of field researches on key areas). *Scientific Notes of Sumy State Pedagogical University. Geographical Sciences*. 2, 1: 3-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727228> (in Ukrainian).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ К ОЦЕНИВАНИЮ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ОЗЕР ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА

В. А. Мартинюк¹, О. В. Томченко²

¹ Ривненский государственный гуманитарный университет, 33028, ул. Ст. Бандеры, 12, Ривне, Украина

² ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, 01054, ул. Олеся Гончара, 55-Б, Киев, Украина

Обосновывается проблема трансформации озер Полесского региона под влиянием глобальных изменений климата, а также антропогенных факторов в бассейновых системах (осушительная мелиорация, аграрное природопользование и химизация почв водосборов, рост селитебных земель, неконтролируемая добыча вод из подземных горизонтов, несанкционированная добыча янтаря и т.п.), которые приводят к сокращению площадей водоемов, ускорению процессов седиментации, эвтрофикации и, как следствие, преобразования в озеро-болотные комплексы. Раскрыты основные этапы полевых исследований, особенности дешифрирования озер по космическим снимкам, сущность понятия “палеозеро” и природно-аквальный комплекс (ПАК). Предложена алгоритм-схема исследования природно-антропогенных трансформаций озера с использованием средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и технологий геостационарных систем (ГИС-технологий). С помощью ресурса Google Earth осуществлено оценивание изменений параметров площадей модельных озер Волынского Полесья, а на примере оз. Бельское проанализированы изменения площади водоема от “палеозеро” до современных границ береговой линии и акватории. Проанализированы гидролого-лимнологические параметры оз. Бельское. На основе анализа космических снимков (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat) высокого пространственного разрешения в различных спектральных диапазонах осуществлено оценивание экологического состояния озера по индексу вегетации (NDVI), проанализирована динамика термического режима поверхности озера и построен график изменения температур водоема в течение 2017–2021 гг. Представлена цифровая ландшафтная карта оз. Бельское с выделением аквальных фаций и осуществлено ландшафтометрическое оценивание ПАК. В процессе исследования установлена тенденция к увеличению температуры водоема. Предлагаемый подход с применением средств ДЗЗ к оцениванию экологического состояния озер является действенным в методическом и практическом плане. Наряду с инструментальными и лабораторными методами его целесообразно использовать для создания экологических паспортов водоемов, мониторинга озер заповедно-рекреационных территорий, долгосрочном прогнозировании развития аквальных комплексов в условиях природно-антропогенных трансформаций.

Ключевые слова: озеро, природный аквальный комплекс, дистанционное зондирование Земли, космические снимки, экологическое состояние озера, мониторинг озер.

THE USE OF REMOTE SENSING OF THE EARTH TO ASSESS THE NATURAL AND ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS OF LAKES IN THE POLISSYA REGION

Vitalii Martyniuk^{1*}, Olha Tomchenko²

¹ Rivne State University of Humanities, 33028, Bandery str., 12, Rivne, Ukraine

² Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 01054, Oles Honchar str., 55-B, Kyiv, Ukraine

The problem of transformation of lakes of Polissya region under the influence of global climate changes, and also anthropogenic factors in basin systems (drainage reclamation, agrarian nature use and chemicalization of watershed soils, growth of residential lands, uncontrolled extraction of water from underground horizons, unauthorized extraction of amber, etc.), which lead to the reduction of water bodies, acceleration of sedimentation, eutrophication and, as a consequence, transformation into lake-swamp complexes are substantiated. The main stages of field researches, features of decryption of lakes by space images, the essence of the concept of «paleo-lake» and natural aquatic complex (NAC) have been revealed. An algorithm scheme of research of natural-anthropogenic transformations of the lake with the use of remote sensing and GIS technologies has been proposed. With the help of the Google Earth resource the estimation of changes of parameters of the areas of model lakes of Volyn Polissya is carried out, and on an example of Bilske lake the changes in the area of the reservoir from the «paleo-lake» to the modern boundaries of the shoreline and water area have been analyzed. The hydrological and limnological parameters of Bilske lake have been analyzed. Based on the analysis of high-resolution space images (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat) in different spectral channels, the ecological condition of the lake has been assessed by the vegetation index (NDVI), the dynamics of the thermal regime of the lake surface has been analyzed and the reservoir temperature changed during 2017-2021. A digital landscape map of Bilske lake, with the separation of aqua facies has been presented and landscape-assessment of NAC has been done. In the course of the research, the tendency to increase of temperatures of a reservoir has been established. The proposed approach using remote sensing tools to assess the ecological status of lakes is effective in methodological and practical terms. Along with instrumental and laboratory methods, it is expedient to use it for the creation of ecological passports of reservoirs, monitoring of lakes of reserved and recreational territories, long-term forecasting of development of aquatic complexes in the conditions of natural and anthropogenic transformations.

Key words: lake, natural aquatic complex, remote sensing of the Earth, space images, the ecological condition of the lake, monitoring of lakes.