

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра фізичної географії

На правах рукопису

ПАВЛОВ НІКІТА АНДРІЙОВИЧ

ЕВТРОФІКАЦІЯ БИХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Спеціальність: 103 Науки про Землю

Освітня програма: Гідрологія

Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного ступеня «Бакалавр»

Науковий керівник:

Білецький Юрій Валентинович

кандидат біологічних наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол №

засідання кафедри фізичної географії

від _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

проф. Фесюк В.О. _____

ЛУЦЬК – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОСХОВИЩАХ.....	5
1.1. Водосховища, їх типи, призначення.....	5
1.2. Вплив водосховищ на геоекологічний стан довкілля.....	5
1.3. Гідроекологічні особливості водосховищ.....	6
1.4. Специфіка евтрофікаційних процесів у водосховищах та методи зменшення їх інтенсивності.....	7
1.5. Методика проведення досліджень евтрофікації водосховища.....	11
1.6. Огляд наукових досліджень по темі роботи.....	14
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ, ПРИЛЕГЛОЇ ДО БИХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА.....	16
2.1. Фізико-географічна характеристика.....	16
2.2. Гідрологічні та гідротехнічні особливості водосховища як складової осушувально-зволожувальної системи.....	24
2.3. Геоекологічний стан водозбору.....	29
РОЗДІЛ 3. СУЧАСНИЙ СТАН ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДОСХОВИЩА.....	33
3.1. Закономірності сезонної динаміки евтрофікації.....	33
3.2. Тенденції багаторічної динаміки евтрофікації.....	40
РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ПОЛІПШЕННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ БИХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА..	44
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. Бихівське водосховище є важливим водним об'єктом, що використовується для забезпечення водопостачання, а також як місце для рекреації та існування водних організмів. Однак через вплив антропогенних чинників, водосховище зазнає процесу евтрофікації. Це створює серйозну загрозу для водної флори та фауни, а також для здоров'я населення. Зважаючи на зростаюче навантаження на водні ресурси та необхідність забезпечення сталого використання водних об'єктів, дослідження евтрофікації Бихівського водосховища має важливе значення для розробки ефективних заходів щодо боротьби з цим процесом, покращення стану води та збереження біорізноманіття.

Мета дослідження полягає у поліпшенні гідроекологічного стану, попередженні евтрофікації Бихівського водосховища шляхом розробки комплексу природоохоронних заходів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

- узагальнити теоретико-методологічні засади дослідження евтрофікаційних процесів у водосховищах;
- дослідити особливості природних умов території, прилеглої до Бихівського водосховища;
- проаналізувати сучасний стан евтрофікованості водосховища, закономірності та тенденції евтрофікаційних процесів;
- запропонувати заходи поліпшення гідроекологічного стану та зменшення евтрофікації Бихівського водосховища.

Об'єкт дослідження – гідроекосистема Бихівського водосховища.

Предмет дослідження – гідроекологічний стан, особливості евтрофікації Бихівського водосховища, шляхи її зменшення та попередження.

Методологічною базою дослідження є праці зарубіжних та вітчизняних вчених: О.В. Гарбара, Д.А. Гарбара, Л.І. Ворончук, Н.Д. Даниловської, Й.В. Гриба, М.О. Клименка, В.В. Сондака, Е. Клементової,

В. Гейніге, В.О. Мартинюка, І.В. Зубковича, С.В. Андрійчука, М.В. Боярин, І.М. Нетробчук, Я.О. Мольчака, В.О. Фесюка, З.К. Карпюк, А.В. Яцика та багатьох інших.

Інформаційною базою роботи є матеріали Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області (Паспорт Бихівського водосховища), законодавчі та нормативні акти України, літературні джерела, картографічні онлайн-сервіси (Google Map), супутникові знімки (Sentinel-2, Landsat-8).

Методи дослідження. У роботі використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: аналіз джерельної бази, вивчення фондових матеріалів, експедиційний, картографічний, геоінформаційний, дистанційного зондування Землі, порівняльно-географічний, статистичного моделювання, гідроекологічного моделювання, експертних оцінок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у проведенні комплексної оцінки сучасного стану евтрофікованості Бихівського водосховища, причин розвитку евтрофікаційних процесів та шляхів їх зменшення.

Практична цінність роботи. Результати дослідження можуть бути використані при розробці місцевих екологічних програм в межах Любешівської ТГ, екологічному моніторингу водосховища та інших водних об'єктів громади, розробці плану просторового розвитку, викладанні освітніх компонентів «Гідроекологія», «Обробка і аналіз супутникових знімків», «ГІС і ДЗЗ» у Волинському національному університеті імені Лесі Українки.

Апробація. За матеріалами кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді на науковій конференції [46].

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота має загальний обсяг 61 сторінку і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (50 позицій).

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОСХОВИЩАХ

1.1. Водосховища, їх типи, призначення

Водосховище – це штучна водойма, створена людиною для накопичення водних ресурсів та регулювання стоку. Історія створення водосховищ сягає глибокої давнини – перші такі споруди з'явилися у Стародавньому Єгипті близько 3000 р. до н. е. для ефективного використання вод р. Ніл. Найстаріше діюче водосховище було збудоване в 1304 році до н.е. в місті Хомс (сучасна Сирія) і досі використовується для водопостачання міста. Особливо активне будівництво водосховищ розпочалося у XX ст. у зв'язку з розвитком гідроенергетики, зрошувального землеробства та водного транспорту. Сьогодні у світі налічується понад 60 тисяч водосховищ загальним об'ємом 6,6 тис. км³ [7].

Більшість водосховищ споруджено в долинах річок як складових гідровузлів (ГВ) або водогосподарських комплексів (ВГК), до складу яких також входять греблі та спеціальні водопропускні пристрої різної конструкції (водовідводи, водозливи, шлюзи). За допомогою цих споруд регулюють витрату води, що скидається через гідровузол. Природне заглиблення, де накопичується вода, називають чашею водосховища, а її дно – ложем. Важливою характеристикою є підпір – підняття рівня води, що виникає внаслідок перекриття водотоку греблею. Величина підпору може суттєво відрізнятися залежно від типу водосховища [9].

За розміщенням у ландшафті водосховища поділяють на гірські, передгірні, рівнинні та приморські. Гірські водосховища характеризуються найбільшим підпором води – він може сягати кількох сотень метрів. Такі водосховища, зазвичай, невеликі за площею та об'ємом. Передгірні водосховища мають підпір у кілька десятків метрів і використовуються для

накопичення прісних вод або боротьби з повенями. Рівнинні водосховища, яких більшість, мають підпір до 50 м і характеризуються значними площами затоплення прилеглих територій. Приморські водосховища будуються в гирлах річок з підпором до 10 м [9].

За способом утворення розрізняють загатні (створені перекриттям річки) та наливні (штучно заповнені) водосховища. Типовими прикладами водосховищ першого типу є водосховища Дніпровського каскаду (рис. 1.1), які утворені внаслідок перегородження р. Дніпро греблями. Типовим прикладом другого типу – є 8 наливних водосховищ Північно-Кримського каналу, які знаходяться в Криму. Вони заповнюються весною та восени, протягом року використовуються для господарсько-питного та сільськогосподарського водозабезпечення [7].

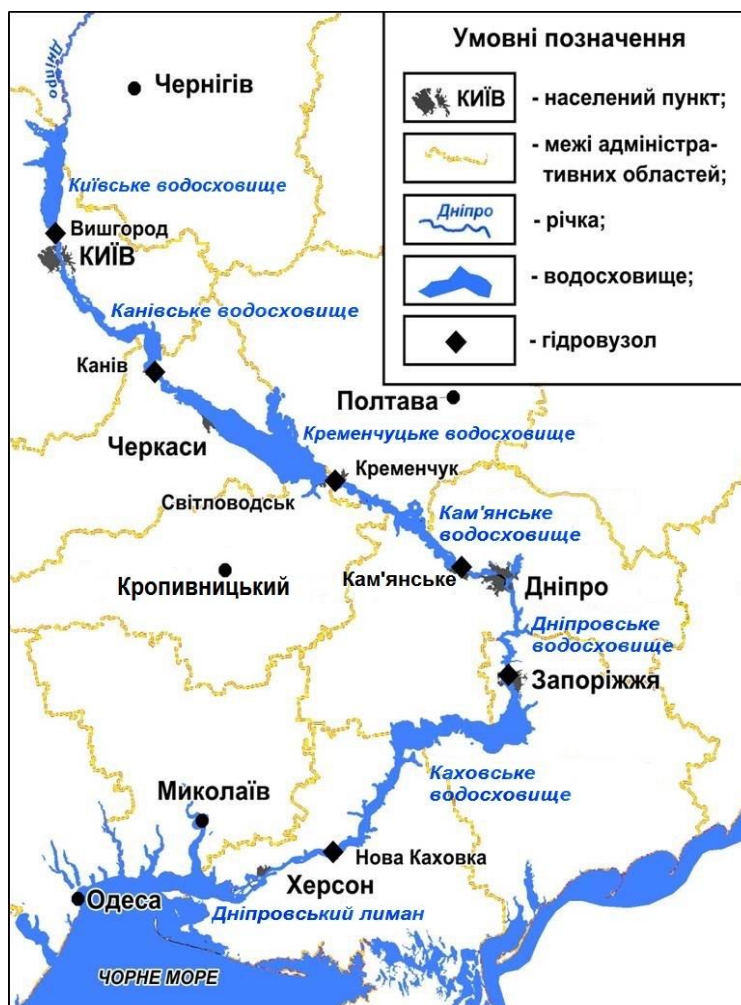


Рис. 1.1. Схематична картосхема водосховищ Дніпровського каскаду [7]

Кожне водосховище характеризується трьома основними рівнями води (рис. 1.2): нормальним підпірним (НПР), який забезпечує найефективніше використання водних ресурсів; форсованим підпірним (ФПР), до якого допускається підйом води при екстремальних повенях; та рівнем проєктного спрацювання (РПС) або рівнем мертвого об'єму (РМО), нижче якого опускати рівень води не можна. Відповідно до цих рівнів визначається повний об'єм водосховища (під НПР), корисний об'єм (між НПР і РПС) та мертвий об'єм (нижче РПС). Для забезпечення нормального функціонування водної екосистеми встановлюється мінімальна санітарна витрата води, необхідна для підтримки життя в нижньому б'єфі гідровузла [9].

Головною гідрологічною особливістю всіх водосховищ є значні коливання рівня води протягом року. На рівнинних водосховищах вони становлять 5-10 м, у передгірних – 10-50 м, а в гірських можуть сягати 100 м і більше. При зниженні рівня води під час використання корисного об'єму можуть висихати значні площі мілководних ділянок – до 30-50% площі водосховища. Також характерною особливістю є зміна температурного і льодового режиму, уповільнення течії, що призводить до осідання наносів, та формування специфічної екосистеми.

Таблиця 1.1.

Найбільші водосховища України [7]

Назва	Річка	Роки спорудження	Площа водного дзеркала, км ²	Об'єм, км ³
Київське	Дніпро	1964-66	922	3,73
Канівське	Дніпро	1972-78	582	2,48
Кременчуцьке	Дніпро	1959-61	2250	13,5
Кам'янське	Дніпро	1964	567	2,45
Дніпровське	Дніпро	1932	410	3,3
Дністровське	Дністер	1973-81	142	3
Печенізьке	Сіверський Донець	1962	86,2	0,38
Оскільське	Оскіл	1958	16,98	
Ладижинське	Південний Буг	1964	20,8	0,15

В Україні функціонує 1054 водосховища загальним об'ємом 55,13 км³ та

площею водного дзеркала 9368 км². Найбільшими є шість водосховищ Дніпровського каскаду (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське, Каховське) та Дністровське водосховище (табл. 1.1), які разом містять 84% всього об'єму води водосховищ країни. За об'ємом води особливо виділяються Кременчуцьке та Каховське водосховища, які відносяться до категорії дуже великих (10-50 км³). 1 047 водосховищ (99,3%) належать до середніх (об'єм – 0,1-1 км³), невеликих (об'єм 0,01-0,1 км³) і малих (об'єм до 0,01 км³). Більшість українських водосховищ (90,8%) належать до річкового типу. Станом на 2020 р. 28% всіх водосховищ країни передано в оренду [9].

Водосховища відіграють важливу роль у водному господарстві України. Вони забезпечують водопостачання населених пунктів та промислових об'єктів, використовуються для виробництва електроенергії, зрошення сільськогосподарських земель та рибного господарства. Крім того, водосховища виконують важливі водоохоронні функції – зменшують ризик повеней, сприяють природному очищенню води завдяки процесам самоочищення та діяльності водної рослинності, яка в оптимальному випадку має займати 15-20% площі водойми. Завдяки цьому у водосховищах формуються сприятливі умови для розвитку різноманітної водної флори і фауни.

1.2. Вплив водосховищ на геоекологічний стан довкілля

На початку 1990-х років загострення екологічної ситуації як у світі, так і в Україні, стало причиною для відновлення дискусій щодо екологічних проблем у гідроенергетиці та експлуатації водосховищ. Ці напрямки господарської діяльності відзначаються високим рівнем впливу на природу. Особливо питання будівництва великих водосховищ, затоплення земель, зміни якості води водосховищ та річок, збереження біорізноманіття.

Оскільки площа окремих водосховищ досить значна, то й шкода, заподіяна природі, теж пропорційна. При їх спорудженні затоплюються значні

території. Це спричиняє втрату біорізноманіття, іноді формування нових біоценозів.

Зменшити масштаби затоплення території в басейні окремої річки можна шляхом збільшення кількості ГЕС у каскаді зі зниженням підпору на кожному рівні, що зменшує площу дзеркала водосховищ. Хоча це знижує гідроенергетичний потенціал, низьконапірні гідровузли, які мінімізують затоплення земель при спорудженні рівнинних водосховищ, вважаються більш екологічно дружніми до природи [42].

Ще однією екологічною проблемою функціонування водосховищ є якість води. Забруднення води виникає не лише через технологічні процеси виробництва електроенергії на ГЕС, частка таких забруднень у загальній масі є незначною, але й через низький рівень санітарно-технічних робіт під час будівництва водосховищ і скид неочищених чи недостатньо стічних вод у них. У перші роки після заповнення водосховища у ньому накопичується значна кількість рослинних залишків, що відмирають і розкладаються. Розвивається евтрофікація. Процес гниття органічних речовин зумовлює викид в атмосферу значних обсягів парникових газів – метану і вуглекислого газу.

У той же час досвід експлуатації водосховищ свідчить, що завдяки збільшенню часу перебування води у водоймі загальний ефект самоочищення води часто вищий, ніж у річках. Водосховища згладжують амплітуду коливань якості води та знижують пікові значення забруднень [9].

Окрім забруднення, якість води можна оцінити за станом живих організмів, які мешкають у водоймах (біоіндикація). Планктонні організми, найтісніше пов'язані з водним середовищем. Вони зазнають змін під час транзиту через зарегульовані потоки з каскаду водосховищ. У верхньому б'єфі формується біоценоз озерного типу, а в нижньому – річкового. Вони відрізняються за біорізноманіттям, щільністю, біомасою та іншими показниками. Озерні види планктону, зазвичай, не пристосовані до життя у річках, де навіть помірна течія може бути згубною для них. Крім того, самі

гідротехнічні споруди впливають на структуру і динаміку планктону, будучи бар'єром для багатьох видів [37].

У водосховищах, так само як і в озерах, існують два типи водних мас: первинна (річкова вода) та основна (власне водна маса водосховища). Однак їхні пропорції суттєво відрізняються. У озерах частка річкової води становить лише 10-15%, тоді як у водосховищах вона може досягати 30-35% під час повені та 10-25 % у меженний період. Через це водні маси у водосховищах є більш динамічними, порівняно з озерами. У зоні, що прилягає до греблі, формується унікальна придонна водна маса, яка є модифікованою версією основної водної маси водосховища [9].

В Україні створення водосховищ та ставків бере свій початок у давні часи, але їх активне будівництво розпочалося в другій половині XX ст., що співпало із періодом розвитку гідроенергетики та гідротехнічної меліорації. Будівництво водосховищ спричинило зростання об'єму регульованих запасів води майже на 6000 км³ та скорочення швидкості водообміну у річках у 5 разів. Зокрема, водообмін у р. Дніпро зменшився у 7-10 разів. Будівництво гребель водосховищ стало причиною зменшення природного стоку річок. Однак, одночасно зі зменшенням об'єму води, спостерігається зміна внутрішньорічного розподілу стоку. Збільшується його складова під час межені, тобто у посушливі періоди. За оцінками М. І. Львовича, водосховища сприяли підвищенню меженного стоку річок на планеті на 27 % [9].

Значно зменшився також об'єм наносів, які переносяться річками. Це відбулося через акумуляцію наносів у водосховищах.

Окрім цього, водосховища змінюють температурний режим річок. Вони можуть призводити до затоплення та підтоплення прилеглих територій, сприяти "цвітінню" води та ускладнювати умови нересту риби.

Створення водосховищ, особливо великих, супроводжується низкою екологічних ризиків:

- затоплення значних територій, що змінює ареали тварин і руйнує природні біотопи;

- підтоплення земель через порушення циркуляції підземних вод та підняття їх рівня, що може призводити до заболочення великих територій;
- розклад органіки у водосховищі та на затоплених територіях знижує рівень кисню у воді та спричиняє емісію парникових газів – метану і сірководню;
- евтрофікація водойми, яка може супроводжуватись масовим "цвітінням" води;
- руйнування берегів;
- ускладнення міграції риби та інших гідробіонтів.

Після будівництва греблі, незалежно від її розміру, річкова ерозія припиняється, змінюючись на процеси, подібні до морської абразії. Штучні водосховища характеризуються частими коливаннями рівня води. Коли рівень води знижується, відбувається розмивання акумулятивної тераси, яка сформувалася в період високого рівня води. Вітрові хвилі формуються на просторах водних масивах і спричиняють ерозію берегової лінії водосховища, що призводить до розширення його водного дзеркала. Внаслідок цього збільшується відстань, на якій вітер може розганяти хвилі, що робить їх вищими. Через це руйнування берегів водосховища постійно посилюється [7].

Гірські річки, зазвичай, швидко накопичують тверді наноси, тоді як рівнинні водосховища заповнюються значно повільніше. З часом схили берегів виположуються і процеси їх руйнування сповільнюються.

Водосховища, як і озера, є акумуляторами наносів. Осідання дрібних (зважених) частинок у водосховищах називають замуленням, а накопичення крупніших наносів – занесенням. Внаслідок процесу замулення утворюється шар донних відкладів у водосховищі. Дрібні наноси утворюють товщу донних відкладів, а великі накопичуються у передгребельних частинах. Береги класифікують на абразивні, стабільні та акумулятивні. На рівнинних річках абразивні береги становлять 45-50% всієї протяжності, стабільні – 45-50%, а акумулятивні – до 10% [9].

1.3. Гідроекологічні особливості водосховищ

Водосховище – це штучна водойма із об'ємом заакумульованої води понад 1 млн.м³, створена для накопичення води та регулювання стоку. Ставок – це також штучна водойма, але менша за розмірами, її об'єм менше 1 млн м³. Використовуються, насамперед, для рибного господарства [7].

Гідрологічному режиму водосховищ властивий сповільнений водообмін, порівняно з річками. Проте водосховища мають спільні риси як з річкою, зокрема, стік води, проточність, сезонне коливання рівнів води, так і з озером – уповільнений водообмін, термічна, хімічна і біологічна стратифікація водних мас. Рівняння водного балансу водосховища має таку ж структуру, як і для озера, але в прибутковій частині цього рівняння головна складова – це притік річкових вод, а у видатковій частині – стік води. На опади в структурі водного балансу водосховища припадає менше 10% надходження вод. Масштаби випаровування з поверхні водосховищ залежать від широти місцевості і глибини водойми, орієнтовно на них припадає біля 10% видаткової частини водного балансу водосховища. Водосховища відрізняються від озер значно більшим водообміном, що зумовлено їх більшою проточністю, а також регульованим рівневим режимом, який залежить від потреб водокористування. Окрім того, водосховища є складними техногенними системами, що споруджуються на природних водних об'єктах (річках), іноді суттєво змінюючи їх гідрологічний режим та гідроморфологічні характеристики [9].

Для термічного режиму водосховищ характерна вертикальна температурна стратифікація, тобто формування чітко виражених температурних шарів води влітку: верхній шар (епілімніон) – тепла вода, середній шар (металімніон) – різке зниження температури, нижній шар (гіполімніон) – холодна вода [5].

Сезонними особливості температурного режиму водосховищ є весняне та осіннє перемішування водних мас, літня стратифікація з максимальним

прогрівом поверхневих шарів, зимова обернена стратифікація з температурою близько 4°C у придонних шарах.

Також для розподілу води водосховищ властива просторова неоднорідність температури води, а саме: різниця температур між мілководними та глибоководними ділянками, вплив глибини та морфометрії на розподіл температур, формування термічних течій.

Особливостями льодового режиму водосховищ є пізніше замерзання порівняно з річками, нерівномірність льодоутворення по акваторії, більша товщина льоду на мілководді, можливість утворення тріщин через коливання рівня води. На весні лід скресає пізніше порівняно з річками, льодохід триває довше, можуть утворюватись затори біля гідротехнічних споруд. Тому особливості льодового режиму необхідно враховувати при роботі ГЕС. Також знання особливостей термічного та льодового режиму важливе для прогнозування якості води, планування водокористування, забезпечення безпечної експлуатації гідротехнічних споруд, розуміння впливу на екосистему водосховища [9].

У водосховищах відбувається формування специфічної системи течій та хвильових процесів. Процес підняття рівня води у водосховищі, який відбувається, коли притік води до його ложа перевищує суму витрат на скид, випаровування і споживання, називається наповненням водосховища. Проміжок часу, протягом якого триває цей процес, називається періодом наповнення водосховища. Для водосховищ в Україні характерним є весняне наповнення, що відбувається в період весняної повені. У решту часу протягом року можливе лише тимчасове та короткочасне підвищення рівня води у водосховищі. Зниження рівня води у водосховищі, коли витрати перевищують притік, називається спрацюванням водосховища. Часовий проміжок, протягом якого відбувається цей процес, називають періодом спрацювання водосховища. У літньо-осінній період обсяги спрацювання зазвичай невеликі, тоді як узимку вони зростають. Це пов'язано із потребами енергетики та необхідністю звільнення об'єму водосховища для прийому весняної повені [9].

В процесі свого будівництва та експлуатації кожне водосховище проходить декілька стадій [7]:

1. Стадія первинного наповнення – формується нова водойма із властивими для неї базисом ерозії, рівнями води і гідрологічним режимом.
2. Стадія молодості – активно формуються береги і ложе водойми, прибережна смуга, склад гідробіонтів та гігрофітів.
3. Стадія зрілості – процеси розвитку водосховища сповільнюються, змінюються на стабілізацію берегів, ложа, водних і навколоводних екосистем.
4. Стадія старості, коли переважають процеси заболочування, замулювання водойм, сукцесія рослинного і тваринного світу в напрямку до типового болотного.

Гідродинаміка водосховищ включає коливання рівнів води, хвилі та течії. Коливання рівнів води спричинені динамікою складових водного балансу, насамперед, режимом наповнення і спрацювання водосховищ. Це супроводжується зростанням чи зниженням рівня води. Для водосховищ виділяють наступні фазохарактерні періоди рівнів води [9]:

- осінньо-зимового спрацювання рівнів до РМО;
- весняного повеневого наповнення до відміток НПР;
- літньо-осінньої стабілізації рівнів між РМО і НПР, протягом якої відбуваються незначні спрацювання і підняття рівня внаслідок попусків та паводків.

На водосховищах, які використовуються в гідроенергетиці, фіксуються значні добові коливання рівнів. Зазвичай здійснюється два попуски води протягом доби: вранці і ввечері – у години "пик", щоб виробляти в цей час електроенергію на ГЕС та зменшувати навантаження на енергосистему. Попуски проводяться у вигляді довгих хвиль: "прямих" (за течією річки) в нижніх б'єфах ГЕС і "зворотних" (проти течії) у верхніх б'єфах [7].

Течії у водосховищах, як і в озерах, спричинені вітром, градієнтами

тиску, перепадами рівнів води. На відміну від озер, на водосховищах, проявляються стокові течії води, направлені вздовж русел затоплених річок.

Хвилі на водосховищах мають різне походження, розрізняють багато видів хвиль. Найбільш помітними є вітрові і суднові хвилі, а також хвилі зумовлені коливанням рівнів [9].

Отже, водосховища є штучними водними об'єктами, що мають ряд специфічних гідроекологічних характеристик. В контексті якості води для них характерна підвищена мінералізація води через випаровування, можливе погіршення кисневого режиму у придонних шарах, накопичення донних відкладів та забруднюючих речовин, розвиток процесів евтрофікації через уповільнення водообміну.

Також на формування специфічних гідроекологічних характеристик водосховищ, значною мірою, впливають берегові процеси. Основними їх напрямками є [9]:

- активна переробка берегів під впливом хвиль;
- формування абразійних та акумулятивних берегових форм;
- підтоплення прибережних територій;
- зміна рівня ґрунтових вод на прилеглих територіях.

Зрозуміло, що водні об'єкти із такими специфічними гідроекологічними характеристиками, як водосховища, мають і певні гідробіологічні особливості. Наприклад, зміна видового складу гідробіонтів порівняно з річковими екосистемами, формування специфічних біотопів у різних частинах водосховища, можливе масове "цвітіння" води, створення нових умов для нересту риби та гніздування птахів. Іншими словами, для водосховищ характерний специфічний гідробіологічний режим.

На першому етапі його становлення відбувається стрімкий розвиток планктонних угруповань, що викликано надходженням у воду великої кількості біогенних речовин, які вимиваються із затоплених земель і є джерелом живлення для автотрофів. Згодом ними живиться зоопланктон [7].

На другому етапі фіксується інтенсивне формування донних угруповань

(бентос) і зменшення частки планктону у обміні речовини та енергії в межах водосховища. Мілководдя активно освоюються вищою водною рослинністю, яка розвивається на затоплених родючих ґрунтах [5].

На третьому етапі зменшується інтенсивність цвітіння води. Мілководдя й надалі заростають вищою рослинністю, у складі якої з'являються види-індикатори процесу заболочування [5].

Четвертий етап характеризується відносною стабілізацією планктону і бентосу на тлі заболочування прибережних мілких ділянок.

1.4. Специфіка евтрофікаційних процесів у водосховищах та методи зменшення їх інтенсивності

Особливості евтрофікації водосховищ зумовлені, насамперед, дією наступних чинників:

1. Уповільнений водообмін порівняно з річками, що сприяє накопиченню біогенних елементів.
2. Формування температурної стратифікації води, яка створює сприятливі умови для розвитку синьо-зелених водоростей.
3. Значне надходження біогенних речовин з затоплених територій та берегової зони через розмивання берегів, вимивання поживних речовин з ґрунтів, розкладання затопленої рослинності.
4. Антропогенне забруднення, зумовлене надходженням стічних вод від населених пунктів, змив добрив і отрутохімікатів з сільськогосподарських угідь, скидом промислових стічних вод.

Негативними наслідками евтрофікації водосховищ є:

- масовий розвиток фітопланктону ("цвітіння" води);
- зниження прозорості води;
- погіршення кисневого режиму;
- загибель гідробіонтів;
- погіршення якості води для питного водопостачання;

- зниження рекреаційної привабливості водойм.

Методи зменшення інтенсивності евтрофікації [37]:

1. Попереджувальні заходи – створення водоохоронних зон, очищення стічних вод, що надходять у водосховище, контроль за використанням добрив на водозборі, укріплення берегів.
2. Гідротехнічні методи – аерація води, примусова циркуляція водних мас, селективний відбір води з різних горизонтів, «промивання» водосховищ.
3. Біологічні методи – використання риб-меліораторів (товстолобик, білий амур), культивування вищої водної рослинності, використання мікроорганізмів для розкладання органіки.
4. Хімічні методи – внесення альгіцидів (засобів для знищення водоростей), осадження фосфору коагулянтами, застосування окислювачів.
5. Комбіновані методи передбачають поєднання різних підходів залежно від специфіки водойми та розробку комплексних програм її оздоровлення.

Отже, для ефективної боротьби з евтрофікацією необхідно:

1. Проводити регулярний моніторинг стану водойми.
2. Виявляти основні джерела надходження біогенних елементів.
3. Розробляти проекти заходів з урахуванням особливостей конкретного водосховища.
4. Застосовувати комплексний підхід, поєднуючи різні методи.
5. Залучати місцеві громади до природоохоронних заходів.

Тому успішна боротьба з евтрофікацією вимагає системного підходу та довготривалої роботи, спрямованої як на усунення причин, так і на подолання наслідків цього процесу.

1.5. Методика проведення досліджень евтрофікації водосховища

Методика дослідження евтрофікації Бихівського водосховища (рис. 1.1) розроблена з урахуванням відсутності спеціального обладнання та необхідності забезпечення простоти, доступності та можливості

масштабування досліджень для інших водойм.

Дослідження починається з підготовчого етапу, під час якого здійснюється збір існуючої інформації про водосховище та підготовка необхідних матеріалів. Важливим елементом підготовки є визначення контрольних точок спостереження на карті водойми. Для проведення досліджень достатньо мінімального набору обладнання, що включає диск Секкі, термометр для вимірювання температури води, пластикові пляшки для відбору проб, мірну стрічку, компас та засоби для фото- та відеофіксації, якими може слугувати звичайний смартфон.

Контрольні точки спостереження обираються так, щоб охопити основні характерні зони водосховища: вхід та вихід води, центральну частину, прибережні зони, мілководдя та місця рекреації, точки скидів води. У кожній контрольній точці проводиться комплекс спостережень та вимірювань [37].

Основу досліджень складають візуальні спостереження, які включають оцінку кольору води, наявності плівок на поверхні, характерного запаху, присутності водоростей та сміття, стану прибережної рослинності та ознак "цвітіння" води. Додатково проводяться прості інструментальні вимірювання: визначення прозорості води за допомогою диска Секкі, вимірювання температури води та повітря, візуальна оцінка швидкості вітру за шкалою Бофорта, фіксація хмарності та вимірювання глибини в точках спостереження.

Спостереження рекомендується проводити щомісячно протягом вегетаційного періоду, бажано в один і той же час доби та за схожих погодних умов для забезпечення порівнянності даних. Кожне спостереження супроводжується детальним документуванням: фотофіксацією, заповненням стандартизованих форм та веденням польового щоденника [5].

Зібрані дані систематизуються в електронній базі даних, створеній у доступному форматі електронних таблиць MS Excel. На основі цих даних будуються графіки сезонних змін, складаються карти розподілу показників, проводиться порівняльний аналіз між точками спостереження та виявляються основні тенденції розвитку евтрофікаційних процесів.

Підготовчий етап	Збір існуючих даних про водосховище: визначення контрольних точок на карті, підготовка простого обладнання та матеріалів, створення форм для запису спостережень
Необхідне базове обладнання	Диск Секкі, термометр водний, пластикові пляшки для відбору проб, мірна стрічка, компас, GPS-навігатор або смартфон, фотоапарат/камера смартфона, польовий щоденник
Визначення контрольних точок	Вхід води у водосховище, центральна частина, прибережні зони, мілководдя, вихід води, зони рекреації, місця скидів (якщо є)
Параметри для спостереження	- Візуальні спостереження: колір води, наявність плівок на поверхні, запах води, наявність водоростей, сміття на поверхні, стан прибережної рослинності, "цвітіння" води - Прості вимірювання: прозорість води (диск Секкі), температура води, температура повітря, швидкість вітру (візуально по шкалі Бофорта), хмарність, глибина в точках спостереження
Періодичність спостережень	- Щомісячно протягом вегетаційного періоду - В один і той же час доби - За схожих погодних умов
Документування	- Фотофіксація кожної точки - Заповнення стандартизованих форм - Ведення польового щоденника - Створення фотоархіву
Аналіз даних	- Створення електронної бази даних (Excel) - Побудова графіків сезонних змін - Складання карт розподілу показників - Порівняння даних між точками - Виявлення тенденцій
Додаткові дослідження	- Опитування місцевих жителів - Збір історичних даних - Аналіз супутникових знімків - Вивчення водокористування
Оформлення результатів	- Створення звіту - Підготовка презентації - Розробка рекомендацій - Формування висновків

Рис. 1.1. Алгоритм методики проведення дослідження евтрофікованості
Бихівського водосховища

Додатково проводиться збір інформації шляхом опитування місцевих жителів, вивчення історичних даних та аналізу супутникових знімків водойми. Цей етап дослідження проводиться методами дистанційного зондування Землі. На основі супутникових знімків будуються синтетичні карти індексів (NDVI, NDAI тощо), за якими роблять висновки про інтенсивність евтрофікації водойми [6]. Важливим аспектом є дослідження характеру водокористування, до якого задіяне Бихівське водосховище.

Для забезпечення безпеки досліджень рекомендується працювати в парі, мати при собі засоби зв'язку та дотримуватися правил поведінки на воді. Підвищенню точності досліджень сприяє використання стандартних форм запису, проведення повторних вимірювань та ретельна фіксація погодних умов. Організація роботи передбачає попереднє складання графіку спостережень, завчасну підготовку обладнання та планування маршруту з урахуванням погодних умов. При обробці даних важливо дотримуватися єдиного формату запису, регулярно оновлювати базу даних та створювати резервні копії.

Запропонована методика дозволяє проводити регулярний моніторинг стану водосховища, отримувати порівнянні дані, виявляти основні тенденції розвитку евтрофікаційних процесів та оцінювати їх динаміку. Важливою перевагою методики є можливість її масштабування для досліджень інших водойм подібного типу. За результатами досліджень складається детальний звіт, готується презентація та розробляються рекомендації щодо управління станом водойми та зменшення інтенсивності евтрофікаційних процесів.

1.6. Огляд наукових досліджень по темі роботи

Евтрофікація водосховищ загалом добре вивчена у науковій літературі. Слід згадати праці В.К. Хільчевського про особливості гідрографії водосховищ Європи [42], довідник за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня [9], статті Ю.В. Пилипенка про якість води і раціональне використання

біопродукційного потенціалу малих водосховищ [31], Й.В. Гриба, О.В. Волкошовця, А.В. Бандури про процеси старіння іхтіоекосистеми руслового Млинівського водосховища [11], І.В. Панасюка, Л.М. Зуб про оцінку стану гідроекосистем водосховищ при малих ГЕС [27].

Дистанційні методи широко використовуються для оцінки екологічного стану водосховищ в Україні та світі. Наприклад, цей метод використано в роботі О.В. Гарбара, Д. А. Гарбара, Л. І. Ворончук, Н. Д. Даниловської для оцінки екологічного стану Житомирського водосховища та прилеглих акваторій [10], В.І. Пічури про просторово-часові тенденції зміни трофічного стану водосховищ річки Дніпро [32].

Багато наукових робіт присвячено розробці методів боротьби з евтрофікацією водосховищ. Наприклад, статті С.Г. Мельниченко про іхтіомеліорацію як провідний біологічний метод стримання евтрофікації малих водосховищ [23], М.І. Тавреля про шляхи подолання евтрофікації водойм [40], Ю.В. Пилипенка про біологічну меліорацію як елемент керування якістю води малих водосховищ [29] та про компенсаційні водоохоронні заходи створення стабільних екосистем малих водосховищ [30].

Територія дослідження Любешівської територіальної громади в контексті гідрології та гідроекології досліджена недостатньо. Більш-менш охоплені дослідженнями водні об'єкти НПП «Прип'ять-Стохід». Проте саме озеро Конище, на якому споруджене Бихівське водосховище, досліджено порівняно мало.

Серед наукових робіт, присвячених вивченню особливостей природи досліджуваної території, слід згадати монографію К.І. Геренчука із співавторами [34] про природу Волинської області, монографію за редакцією В.О. Фесюка [39] про сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області, монографію З.К. Карпюк, В.О. Фесюка, О.В. Антипюк про природно-заповідний фонд Волинської області [18].

Поверхневі води Волинської області також досліджувались у монографії

за редакцією Я.О. Мольчака [33], окремо озера охарактеризовані в монографіях Л.В. Ільїна [15-16]. Евтрофікація озер Волинської області вивчалась М. Й. Шевчуком, О. Г. Сергушком у роботі [49].

РОЗДІЛ 2.

ОСОБЛИВОСТІ ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ, ПРИЛЕГЛОЇ ДО БИХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

2.1. Фізико-географічна характеристика

Бихівське водосховище знаходиться в межах Любешівської територіальної громади. За площею це найбільша територіальна громада у Волинській області, оскільки до її складу увійшли майже всі населені пункти (Любешівська селищна рада та 15 сільських рад) колишнього Любешівського району (за старим адміністративно-територіальним устроєм). Створена 29.10.2017 р. Центр громади – селище Любешів. Площа становить 1108,96 км². Кількість населення – 28758 чол., густота населення – 25,93 чол./ км².

Любешівська територіальна громада розташована в межах Поліської низовини, що визначає рівнинний характер її рельєфу. Територія характеризується незначними перепадами висот, що є типовим для поліського регіону. Територія громади розташована в межах Волинської монокліналі, що є частиною Волино-Подільської плити. Геологічний розріз включає: докембрійський фундамент, який представлений гранітами та гнейсами і залягає на значній глибині (понад 500 м) та осадовий чохол. Він представлений відкладами палеозою (девонські та кам'яновугільні породи), мезозойськими відкладами (крейдяні породи), кайнозойські відклади (палеогенові та неогенові породи) та четвертинними відкладами [34].

Досліджувана територія знаходиться в межах Поліської низовини, що визначає її основні орографічні особливості. Абсолютні висоти коливаються в інтервалі 140-160 м. Переважають плоскі та слабохвилясті поверхні із незначними перепадами висот (до 10 м). Переважаючими генетичними типами рельєфу є: флювіогляціальні рівнини, моренно-зандрові рівнини, алювіальні низовини в долинах річок та болотні низовини [1].



Рис. 2.1. Бихівське водосховище на карті OpenStreetMap та супутникових знімках

Серед сучасних геоморфологічних процесів поширене заболочування, річкова ерозія, суфозійні та еолові процеси.

Територія характеризується складними гідрогеологічними умовами, що зумовлено особливостями геологічної будови та рельєфу. Основними водоносними горизонтами є четвертинний водоносний комплекс, який залягає на глибині до 30 м, води прісні, гідрокарбонатного типу, дебіт свердловин 1-5 м³/год та крейдовий водоносний горизонт, який залягає на глибині 30-100 м, води середньої мінералізації, дебіт свердловин 5-15 м³/год [39].

Загалом, гідрогеологічними особливостями території є неглибоке залягання ґрунтових вод (1-3 м), значна обводненість четвертинних відкладів та їх високий гідравлічний зв'язок з поверхневими водами. Основне живлення ґрунтових вод відбувається за рахунок атмосферних опадів, розвантаження здійснюється в річкові долини та заболочені низини, характерні значні сезонні коливання рівня ґрунтових вод.

Проведення господарської діяльності на досліджуваній території ускладнено високим рівнем ґрунтових вод, схильністю до забруднення верхніх водоносних горизонтів, підтопленням та заболочуванням території. В той же ж час геологічні та гідрогеологічні умови – це не лише певні обмеження для господарського освоєння території, але й можливості для використання природних ресурсів, зокрема, підземних вод та окремих корисних копалин, зокрема, торфу та будівельних матеріалів.

Клімат досліджуваної території – помірно-континентальний із відносно прохолодним та досить вологим літом, м'якою зимою з частими відлигами. Середньорічна температура становить +8,7°C (рис. 2.2), температура найхолоднішого місяця – січня – -2,9°C, найтеплішого місяць – липня – +20°C (рис. 2.3). Аналіз динаміки середньорічних температур повітря на метеорологічних станціях (МС) Волинської області упродовж 2001-20 рр., проведений Т. С. Павловською, М. А. Федонюком, О. В. Рудиком у роботі [26] (рис. 2.4) показує, що лише за двадцять років середня температура повітря по МС Любешів зросла з 8,0 до 8,7°C, ця тенденція збережеться й у майбутньому.

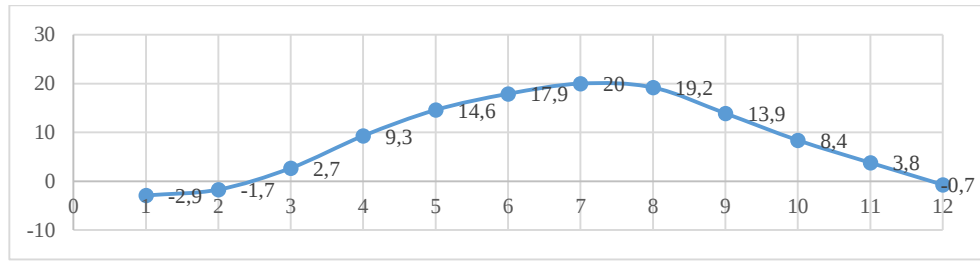


Рис. 2.2. Річний хід температури по МС Любешів (2001–2020 рр.) за Т.С. Павловською, М. А. Федонюком, О. В. Рудиком, 2023 [26]

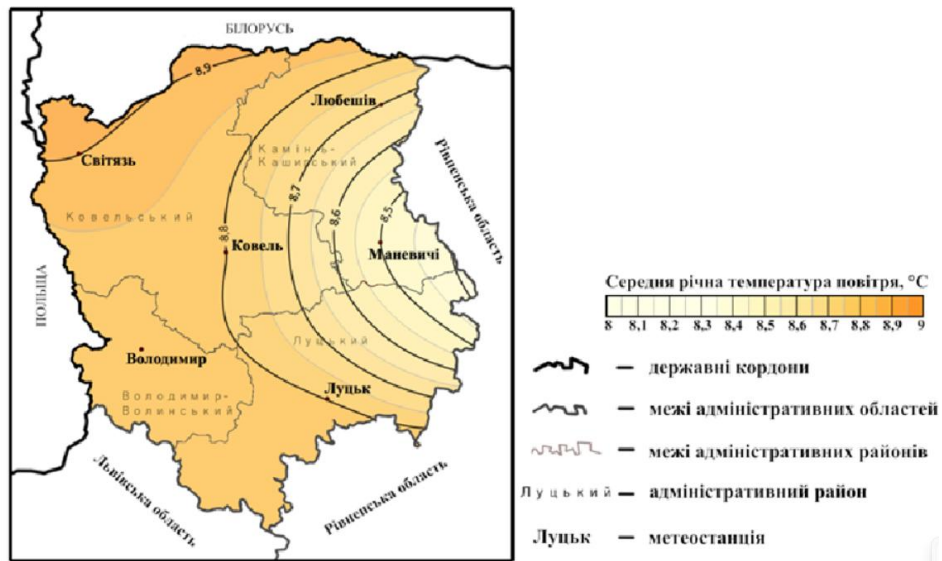


Рис. 2.3. Середньорічна температура повітря у Волинській області (2001–2020 рр.) за Т. С. Павловською, М. А. Федонюком, О. В. Рудиком, 2023 [26]

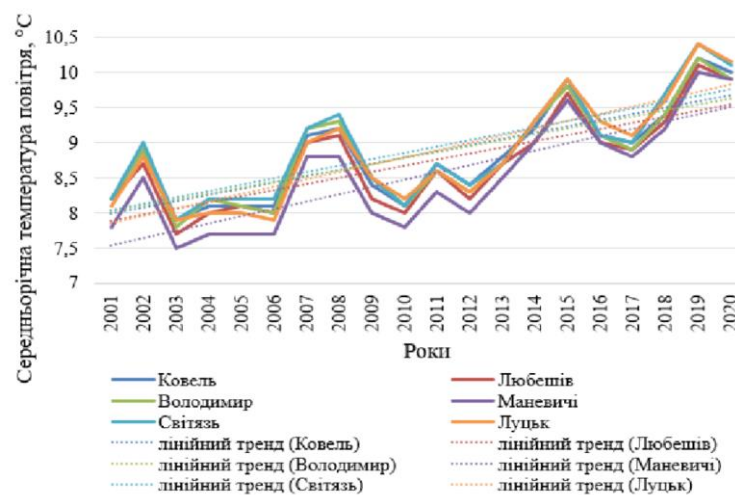


Рис. 2.4. Динаміка середньорічних температур повітря на МС Волинської області упродовж 2001-20 рр. за Т. С. Павловською, М. А. Федонюком, О. В. Рудиком, 2023 [26]

Тривалість безморозного періоду за весь період метеорологічних спостережень становить 165 днів, проте за період 2001-20 рр., згідно [26], тривалість безморозного періоду зросла до 174 днів. Це також свідчить про потепління клімату [26].

Відносна вологість повітря протягом року становить 80%, причому значення її вищі протягом холодного періоду (80-90%) і дещо знижуються протягом теплого періоду (60-70%).

Річна кількість опадів за багаторічний період спостережень становить 657 мм. Проте в останні роки вона досить мінлива, іноді перевищує 700 мм (рис. 2.5). Лінійний тренд демонструє тенденцію до зростання кількості опадів [39].

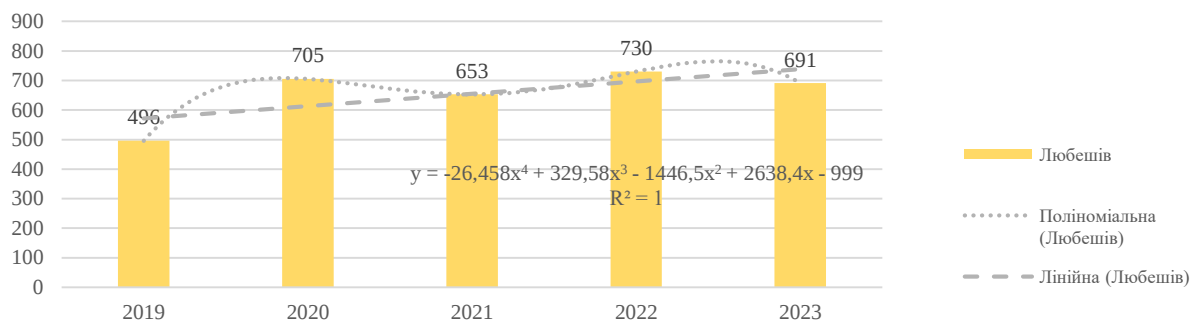


Рис. 2.5. Динаміка кількості опадів за період 2019-23 рр. по МС Любешів за даними Волинського ЦГМ

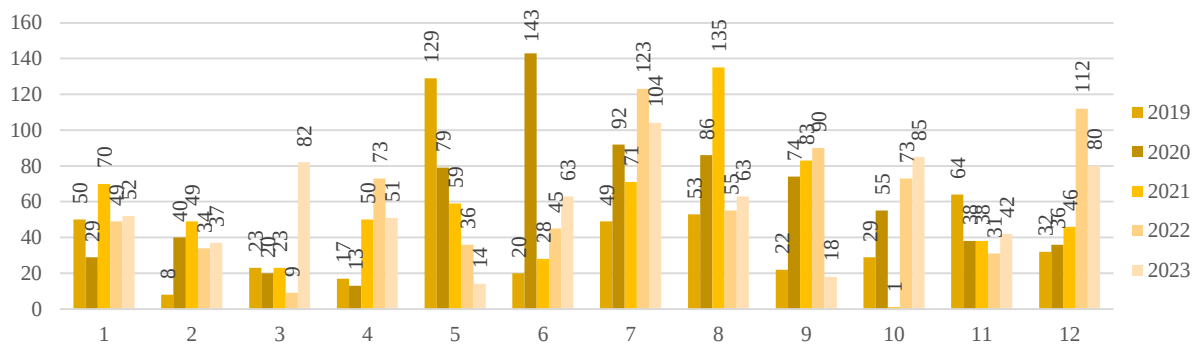


Рис. 2.6. Внутрішньорічний розподіл опадів по МС Любешів протягом 2019-23 рр. за даними Волинського ЦГМ

В атмосферній циркуляції переважають західні та північно-західні вітри. Середня річна швидкість вітру для МС Любешів становить 3,3 м/с. Максимальна зафіксована швидкість вітру – 21 м/с [34].

Сніговий покрив формується в кінці грудня і тримається в середньому 85 днів. Хоча в останні роки сніговий покрив нестійкий і протягом більшості холодного періоду може бути взагалі відсутній.

Гідрографічна мережа досліджуваної території представлена річками, озерами, водосховищами. Найбільші з річок – Прип'ять, Стохід, Цир, Коростянка (Коростинка). Характерні особливості річок – низькі береги, широкі заболочені заплави. Густота річкової мережі становить 0,28 км/км².

Найбільшими озерами досліджуваної території є: Люб'язь, Рогізне, Плотичне, Червище. Загальний об'єм водної маси озер – 40,28 млн м³. Спільними рисами озер є досить сприятливий екологічний стан, висока рекреаційна привабливість, порівняно невисокий ступінь рекреаційного освоєння.

Також на досліджуваній території є 2 водосховища: Бихівське площею 73,2 га та Березновільське площею 14 га. Загальний водний об'єм становить 1,99 млн. м³, загальна площа водного дзеркала – 0,87 км² [3].

Територія характеризується значною заболоченістю, що є типовим для Полісся. Ґрунти переважно дерново-підзолисті та торфово-болотні, що впливає на характер рослинності та господарське використання території.

Переважаючими видами ландшафтів (за С.І. Кукурудзою, 1991) на досліджуваній території є заболочені заплави середніх поліських річок з крупнозлаково-осоковими луками на торфовищах, частково осушені. Гіпсометрично дещо вище знаходяться нерозчленовані перш і другі тераси поліських річок з різнотравно-злаково-осоковими луками і чорничниковими сосняками на дерново-слабо- і середньопідзолистих ґрунтах, частково розорані. Фрагментарно поширені також заболочені пониження терас з крупноосоковими і трав'янисто-сфагновими болотами і луками, зарослі кущами на торфово-болотних ґрунтах і торфовищах, частково осушені [1].

Особливості природних умов Любешівської територіальної громади демонструють типові поліські риси з притаманними особливостями рельєфу, клімату, гідрографії та природних комплексів. Регіон характеризується значним природно-рекреаційним потенціалом завдяки сприятливим кліматичним умовам, водним об'єктам, різноманітності природних ландшафтів, багатій флорі та фауні, наявності природоохоронних територій. Територія має значний потенціал для розвитку різних видів туризму та рекреації, хоча певні природні фактори (заболоченість, повені) можуть створювати обмеження для господарського освоєння.

Природно-заповідний фонд території Любешівської громади складається із 18 об'єктів загальною площею 43813,1 га. Найважливішим із них є Національний природний парк "Прип'ять-Стохід", а також 17 об'єктів ПЗФ місцевого значення. Найближче до досліджуваного Бихівського водосховища знаходиться НПП "Прип'ять-Стохід", за 5 км на північ [18].

Відповідно до регіональної схеми екомережі досліджувана територія розташована частково в межах Стохідського екокоридору регіонального значення. Поблизу знаходяться два важливі природні ядра: Прип'ять-Стохідське міжнародного значення (5 км на північ) та Святобузаківське регіонального значення (13 км на південний захід) [19].

Прип'ять-Стохідське природне ядро об'єднує національний природний парк "Прип'ять-Стохід" та 18 природоохоронних територій місцевого значення. Ландшафт характеризується низовинним рельєфом з акумулятивними поверхнями та значними площами заболочених лісів. Особливістю Прип'ятсько-Стохідського межиріччя є інтенсивне заболочення (переважно у північній та східній частинах), розгалужена річкова система та численні озера з заболоченими берегами. Біорізноманіття території включає унікальну флору: 39 видів судинних рослин з Червоної книги України, 4 види з Бернської конвенції, 2 види з Європейського червоного списку та 29 регіонально рідкісних видів. Фауна представлена 1148 видами, включаючи 60 видів ссавців, 223 види птахів, 6 видів плазунів, 12 видів земноводних, 30 видів

круглоротих і риб та 817 видів безхребетних. З них охороняються: 84 види Червоною книгою України, 24 види Європейським червоним списком, 25 видів списком МСОП та 37 видів регіональним списком [18].

Святобузаківське природне ядро зосереджене навколо однойменного ландшафтного заказника місцевого значення площею 2704,9 га. Тут зростають високоякісні сосново-дубові ліси з підліском з ліщини, крушини та калини. Серед червонокнижних видів присутні зозулинець блощичний та росичка англійська, а також рідкісні птахи: сірий журавель, чорний лелека та пугач [18].

Стохідський регіональний природний коридор виступає сполучною ланкою між Стохідським і Бережницьким регіональними ядрами та Прип'ять-Стохідським міжнародним ядром екомережі.

Ще однією особливістю досліджуваної території є поширення органічних ґрунтів, зокрема, торфовищ. Їх площа становить понад 500 га. Нині вони переважно осушені. В літній період, при довготривалій відсутності опадів можуть виникати торфові пожежі.

Щільність забруднення ґрунтів Cs-137 в межах досліджуваної території коливається в інтервалі 0,1-0,27 Кі/км², за градацією рівня радіоактивного забруднення – це умовно чиста територія. Щільність забруднення ґрунтів Sr-90 становить менше 0,02 Кі/км². За градацією рівня радіоактивного забруднення – це теж умовно чиста територія [2].

2.2. Гідрологічні та гідротехнічні особливості водосховища як складової осушувально-зволожувальної системи

Бихівське водосховище є водоймою-накопичувачем однойменної осушувально-зволожувальної системи. Осушені угіддя знаходяться в межах колишнього Любешівського району (за старим адміністративно-територіальним устроєм), нині – Камінь-Каширського району між селами Бірки, Бихів, Залаззя, Хутомир. Північно-східною межею осушених угідь є автодорога Камінь-Каширський – Любешів (рис. 2.7) [28].

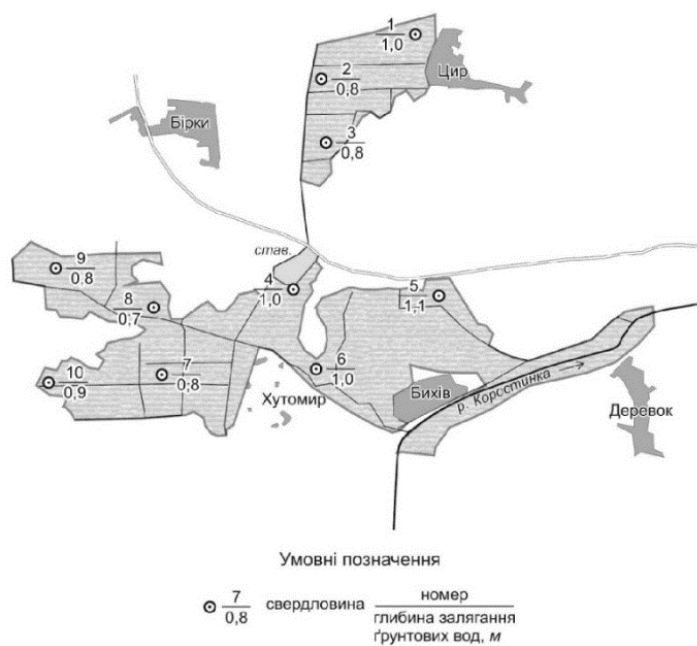


Рис. 2.7. Глибини залягання ґрунтових вод в межах Бихівської осушувальної системи (за Ф.В. Зузуком, Л.К. Колошко, З.К. Карпюк, 2012)

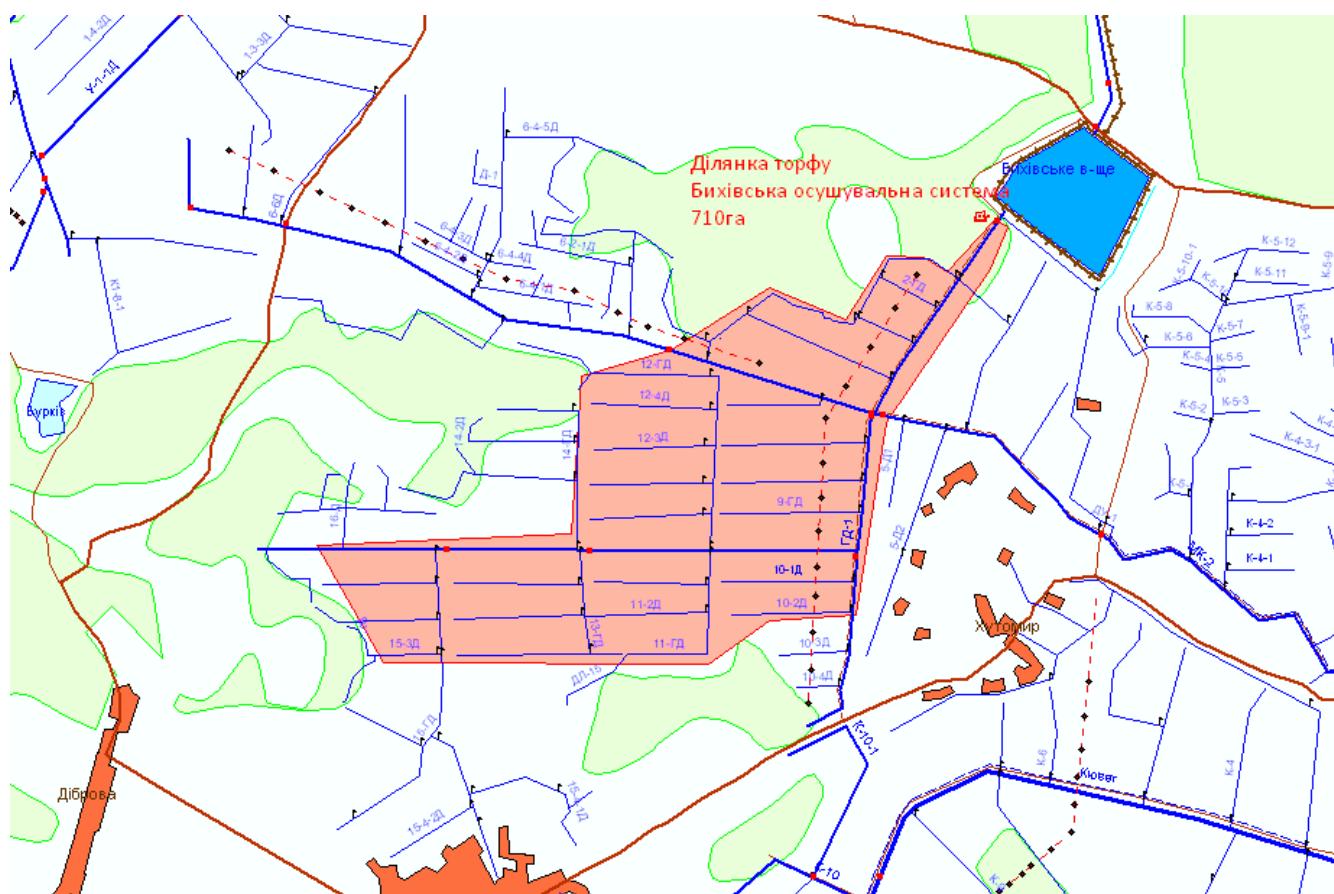


Рис. 2.8. Меліоративні канали та гідротехнічні споруди Бихівської осушувальної системи (за матеріалами РОВР у Волинській області)

З інших боків угіддя системи межують із лісовими масивами ДП «Волиньліс», ріллею і пасовищами. Площа Бихівської осушувальної системи становить 3153 га. Угіддя використовуються переважно для вирощування кормових культур, тут багато сіножатей та пасовищ (рис. 2.7). Магістральним каналом є р. Коростинка. Заплава її значно заболочена, що пояснюється незначним, майже відсутнім похилом поверхні [28].

Загальна довжина відкритих каналів в межах Бихівської осушувальної системи становить 36 км. Експлуатуються 33 гідротехнічні споруди, зокрема, 15 шлюзів-регуляторів, які затримують воду в каналах для подальшого використання з метою зрошення під час посушливих періодів. Крім того, вода подається з водосховища на осушені землі через ці шлюзи, що забезпечує двостороннє регулювання водного режиму (рис. 2.8) [28].

Моніторинг рівнів ґрунтових вод проводиться за допомогою мережі з 2 гідрометричних створів та 18 спостережних колодязів. Історично торф видобувався неподалік с. Бихів біля р. Коростинки. Сьогодні колишні місця видобутку перетворилися на водойми (так звані «копанки»), які поступово заростають рослинністю та замулюються.

Проблемою водного режиму території є надмірне зволоження земель під час дощів та танення снігу через погане дренажування ґрунтів та замулені канали. Натомість у періоди низького рівня води (межень) верхні шари торфовищ пересихають, що призводить до виникнення небезпечних явищ – дефляції (пилових бур) та торфових пожеж. Якщо пилові бурі трапляються нечасто, то пожежі стали майже щорічним явищем. За останнє п'ятиріччя вогонь пошкодив близько 20 га торфовищ. Внаслідок цього землі деградують, заростають чагарниками та заболочуються.

Річка Коростинка, права притока р. Прип'ять, є магістральним каналом системи. Вона тече територією Камінь-Каширської та Любешівської громад Камінь-Каширського району (рис. 2.9) [33]. Довжина становить 44 км, площа басейну – 497 км², ухил – 0,43 ‰. Витоки річки знаходяться серед боліт, оточених лісовими масивами на південний захід від с. Гута-Боровенська. Річка

тече переважно у північно-східному напрямку, хоча в середній течії повертає на північ, і впадає в озеро Люб'язь. Русло річки зазнало антропогенних змін: його розширили, випрямили та поглибили, а в нижній течії збудували дамби.

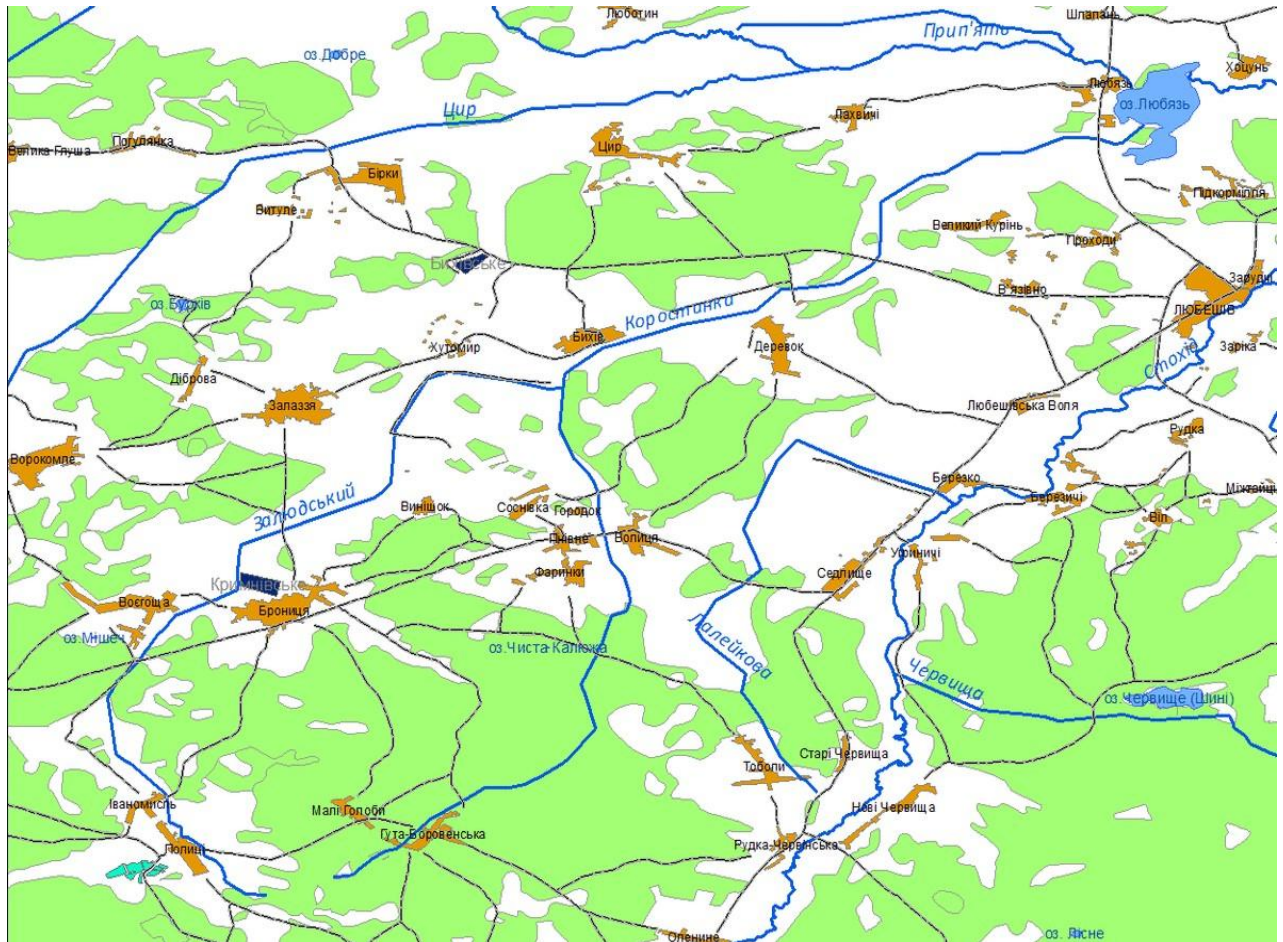


Рис. 2.9. Картохема басейну р. Коростинки (за матеріалами РОВР у Волинській області)

Важливим є питання ефективності функціонування осушувальної системи в наш час. Оцінити її нині складно. Оскільки відсутні дані гідромеліоративного моніторингу. Тому з цією метою в роботі використаний метод дистанційного зондування Землі. Зокрема, визначений нормалізований диференційний індекс вологості (NDMI). Він часто застосовується для визначення вмісту вологи в рослинності та моніторингу посухи. Діапазон значень NDMI – від -1 до 1 [50]. Від'ємні значення NDMI (значення, що наближаються до -1) відповідають відкритому ґрунту. Значення в інтервалі

(-0,2;0,4) свідчать про водний стрес. Високі додатні значення (0,4;1) відповідають здоровому рослинному покриву, що не зазнає водного стресу.

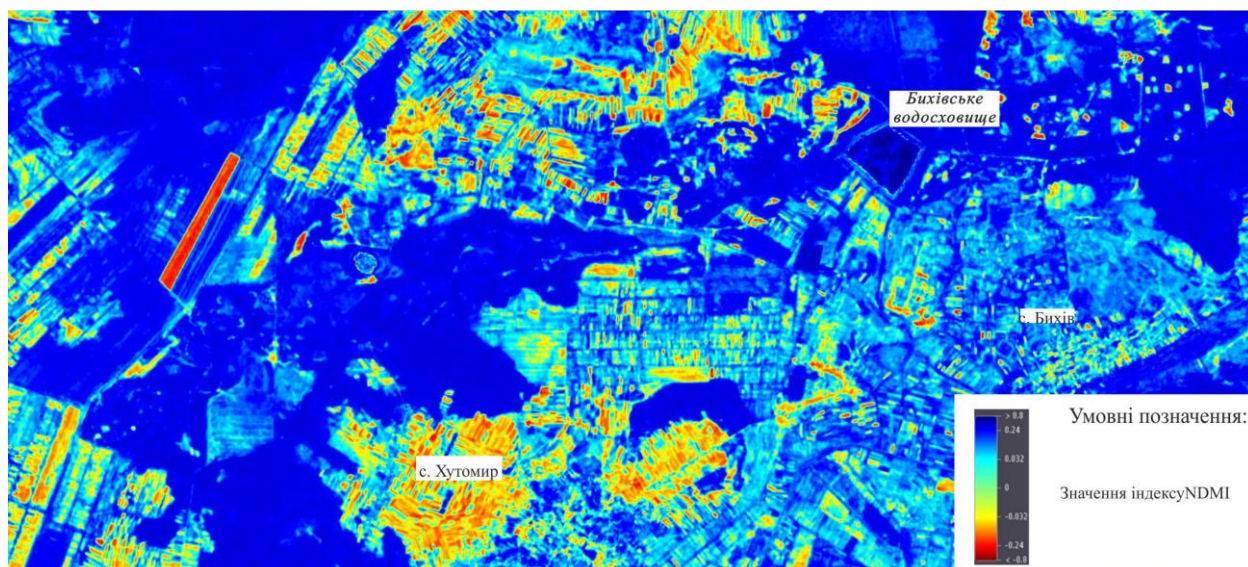


Рис. 2.10. Картосхема територіального розподілу значень індексу NDMI для досліджуваної території 28.08.2024 р. за даними sentinel-hub.com

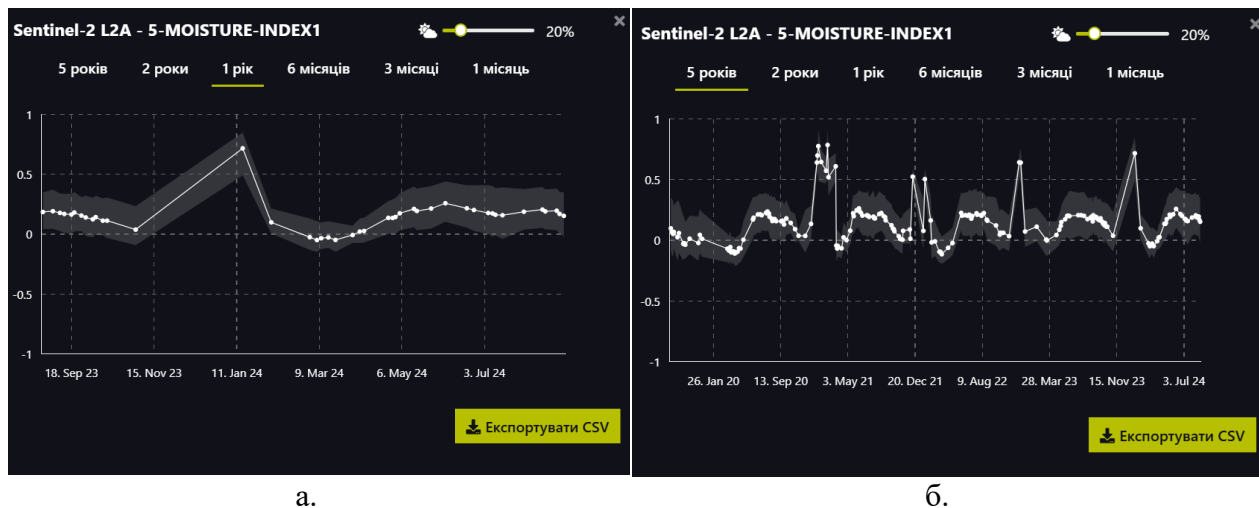


Рис. 2.11. Внутрішньорічна за 2024 р. (а) і багаторічна за 5 років (б) динаміка значень індексу NDMI для досліджуваної території за даними sentinel-hub.com

Для аналізу територіального розподілу значень індексу NDMI (рис. 2.10) обрано один з найжаркіших та найсухіших місяців – серпень. Зокрема, індекс NDMI, визначений за супутниковим знімком досліджуваної території за 28.08.2024 р. показує, що практично вся вона, окрім північної та західної

частини, знаходиться в зоні водного стресу. Це стосується і селитебної території (сс. Бихів, Хутомир) і переосушених карт меліоративної системи в південній та північно-західній частині території, охопленої знімком. Даний знімок дуже ілюстративний, але він дозволяє отримати лише точкову оцінку на певну дату і не дає відповіді на питання: як змінювались значення NDMI протягом якогось більш-менш тривалого проміжку часу, наприклад, вегетаційного сезону чи року.

Тому, використовуючи інструменти статистичної обробки онлайн-ресурсу Європейського космічного агентства (ESA) EO Browser, проаналізовано внутрішньо- та багаторічну динаміку індексу NDMI для досліджуваної території (рис. 2.11).

У внутрішньорічній динаміці значення індексу переважну частину часу змінюються в інтервалі $(-0,05; 0,25)$. Чітко видні сезонні коливання: значення індексу зменшуються із вересня до березня, в цей час досягають від’ємних значень, а потім знов зростають до серпня. При чому весь цей час значення NDMI відповідають водному стресу, оскільки не виходять за межі інтервалу $(-0,2; 0,4)$.

В багаторічній динаміці індексу, для досліджуваної території характерні більш різноманітні, в т.ч. екстремальні значення і ширші інтервали їх зміни. Мінімальні значення індексу опускались навіть до $-0,2$ під час вегетаційного періоду 2019 р. і 2020 р., а максимальні значення досягали $0,95$ взимку та навесні 2021 р., $0,7$ – взимку 2023 р. і 2024 р.

Тому можна зробити висновок, що в умовах зміни клімату досліджувана територія постійно зазнає дії водного стресу. Одним з заходів адаптації до зміни клімату є акумуляція вологи та її перерозподіл в посушливі періоди завдяки двосторонньому регулюванню стоку. Позитивний момент функціонування Бихівської системи пов’язаний з тим, що вона дозволяє це зробити. І важливу роль тут відіграє Бихівське водосховище, яке служить для регулювання поверхневого стоку та акумуляції води на зволоження земель (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Характеристика згідно Паспорта Бихівського водосховища [28]

Довжина водосховища	950 м
Ширина водосховища	800 м
Найбільша глибина	2,9 м
Середня глибина	2,1 м
Площа водного дзеркала при НПР	73,2 га
Рівень при НПР	146,5 м
Підпертий максимальний рівень (форсований)	156,9 м
Рівень мертвого об'єму (мінімальний) РМО	144,5 м
Об'єм водосховища при НПР	1,54 млн.м ³
Об'єм при форсованому рівні	1,86 млн.м ³
Об'єм водосховища при РМО	0,15 млн.м ³
Корисний об'єм водосховища	1,39 млн.м ³
Витрати на випаровування протягом року	958,32 тис.м ³
Витрати на фільтрацію протягом року	183,48 тис.м ³

Бихівське водосховище побудоване 1987 р. Наповнюється насосною станцією, скид води здійснюється з допомогою шахтного водоскиду. Експлуатується Любешівським управлінням водного господарства [28].

Розрахунок витрат води на випаровування проводився за наступною методикою:

1. Початкові дані. Кліматичні параметри (середні значення):

- емпіричний коефіцієнт (K): 0.6;
- середня швидкість вітру (U): 3,3 м/с%;
- температура повітря (T): 8,7 °C;
- відносна вологість (H): 80%;
- площа водного дзеркала водосховища (S): 732,000 м².

2. Розрахунок насиченого парціального тиску (e_s):

$$e_s = 6.11 \times 10^{(7.5 \times T / (237.3 + T))} \approx 8,24 \text{ Па.}$$

Фактичний парціальний тиск (e_a) з урахуванням вологості (H = 80%):

$$e_a = e_s \times (H / 100) \approx 4,94 \text{ Па.}$$

Різниця парціальних тисків:

$$(e_s - e_a) \approx 3,30 \text{ Па.}$$

Випаровування за добу:

$$E = 0.6 \times \sqrt{U} \times (e_s - e_a) \approx 3.60 \text{ мм/добу} \approx 3,6 \times 10^{-3} \text{ м/доба.}$$

Річне випаровування:

$$E_{\text{рік}} = 3,6 \times 10^{-3} \times 365 \approx 1,31 \text{ м/рік.}$$

Об'єм води, що випаровується за рік:

$$V_{\text{випар}} = 1,31 \times 732,000 \approx 958,320 \text{ м}^3.$$

Витрати на випаровування з водної поверхні за вегетаційний період розраховано згідно методики "Указания по расчету испарения с поверхности водоемов", Гидрометиздат, Ленинград, 1969 г. і наведено за Паспортом Бихівського водосховища [28]. Вони становлять 183,48 тис.м³.

Витрати на фільтрацію приймаються 1,1% за місяць від середнього об'єму води у водосховищі. Тобто це 13,2% за рік:

$$1390 : 100 \cdot 13,2 = 183,48 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$$

Як свідчать розрахунки, на випаровування та фільтрацію щороку витрачається 1,14 млн.м³ води, що порівнювано з корисним об'ємом водосховища (1,39 млн.м³).

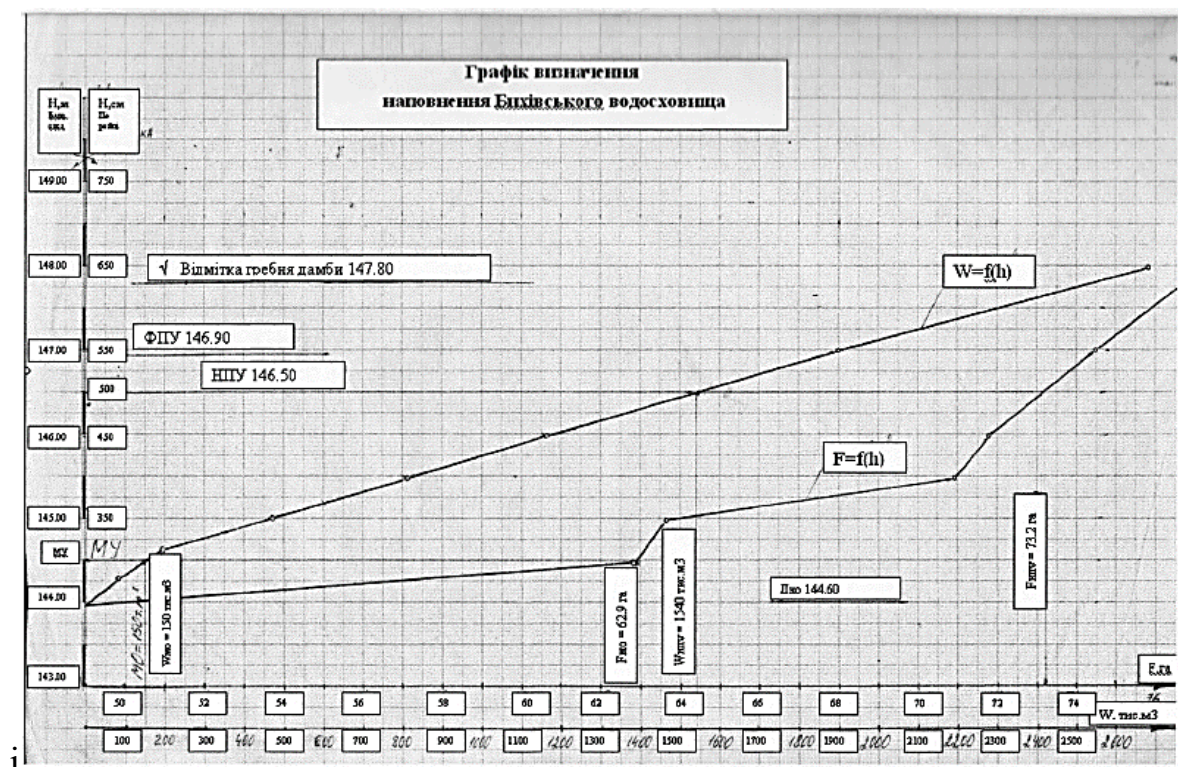


Рис. 2.12. Графік визначення наповнення водосховища за [28]

Водосховище наповнюється водою навесні (рис. 2.12), належить до басейну р. Цир. Водозбірна площа річки в межах області становить 507 км^2 , в межах колишнього Любешівського району (за старим адміністративно-територіальним устроєм) – 131 км^2 , водозбірна площа водосховища – $0,18 \text{ км}^2$.

Дамба насипна, побудована з торфово-піщаної суміші з поліетиленовим екраном на глибині 30 см. Ширина дамби по гребеню – 4 м, довжина – 3494 м, висота – 2,54 м (рис. 2.13). Рух по дамбі заборонено з метою уникнення руйнувань. Укоси закріплені посівом багаторічних трав.

Тип водоскидної споруди – шахтний водоскид. Виготовлений із збірного залізобетону [28].

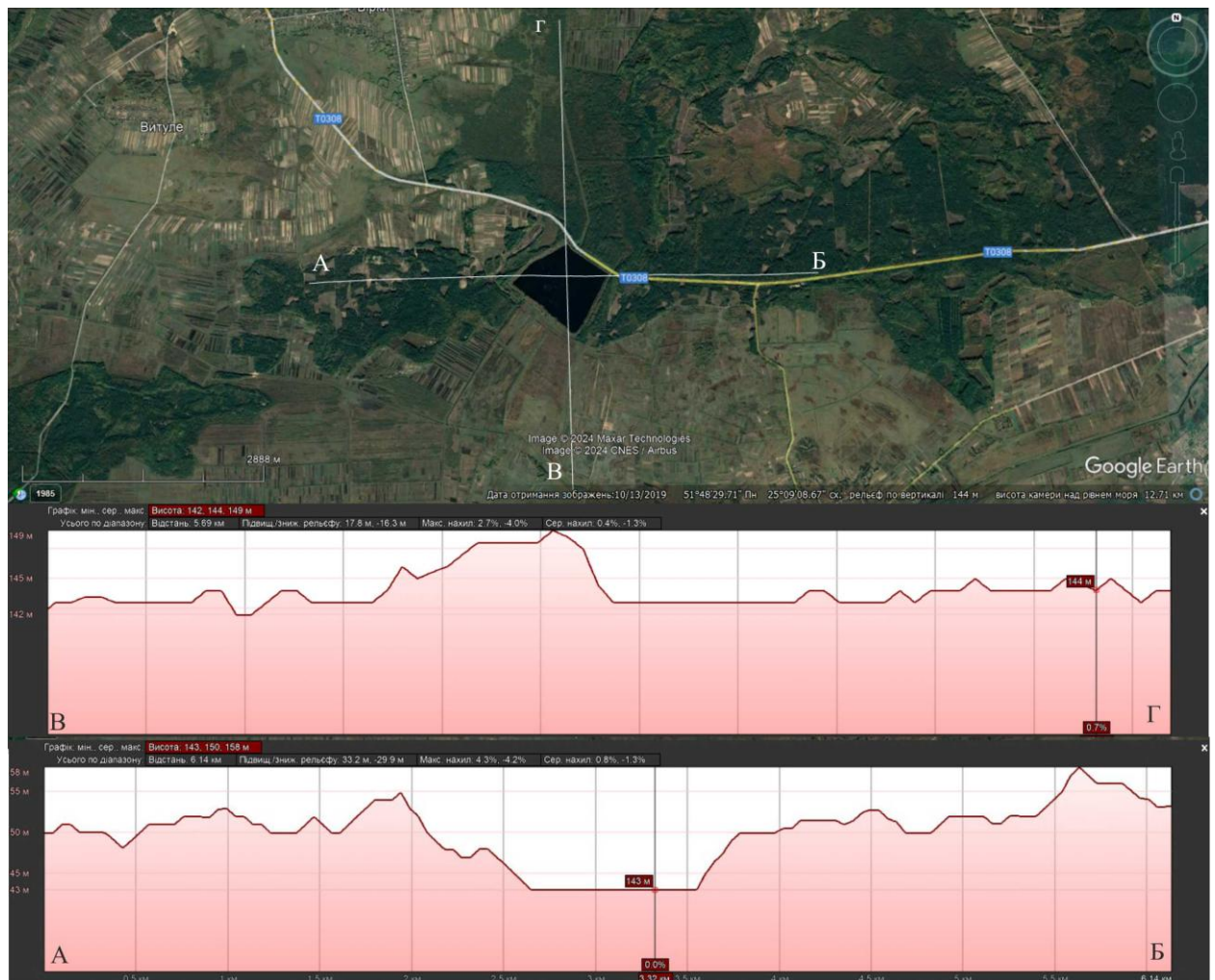


Рис. 2.13. Вертикальні профілі рельєфу досліджуваної території, побудовані в Google Earth Pro

Відвідний канал – 1 ГД, довжина становить 5318 м, ширина по дну – 1 м, укоси закріплені посівом багаторічних трав [28].

2.3. Геоекологічний стан водозбору

В плані водосховище має трапецієвидну форму (рис. 2.1), зорієнтоване з північного-заходу на південний схід. Водосховище утворене шляхом одамбування природного озера Конище. При цьому була змінена його форма, розкопані береги, розрівняне дно, відсипана дамба, закріплені відкоси (рис. 2.13).

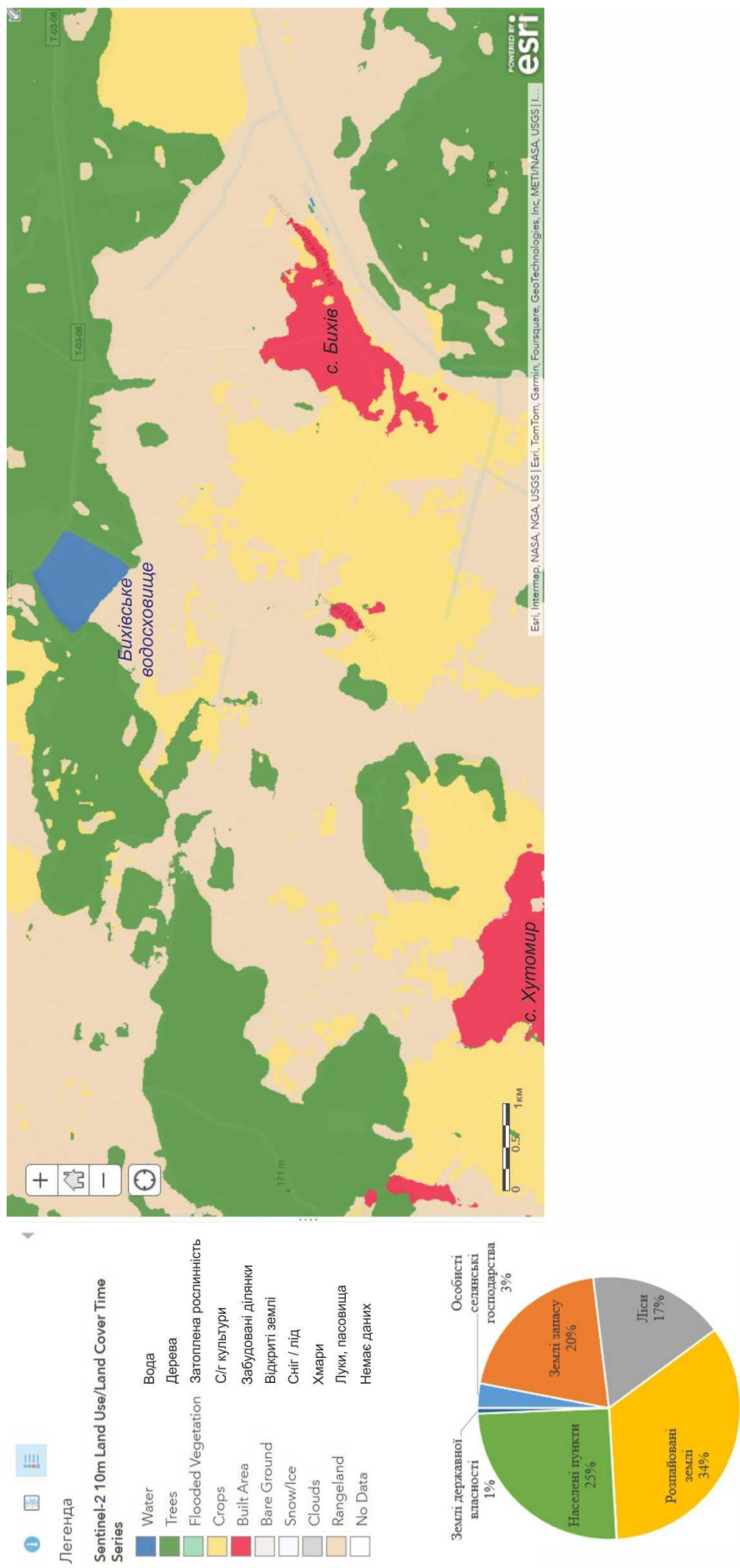
Як видно з рис. 2.1, прибережна захисна смуга навколо водосховища дотримана, ширина її становить 50 м, площа – 17,5 га. Прибережна захисна смуга залужена різнотрав'ям, вздовж урізу води ростуть поодинокі верби та кущі лози.

На заході, півночі і сході прибережна захисна смуга межує з лісами та рідколіссям, на півдні до неї підходять сільськогосподарські угіддя.

Аналіз структури земельного покриття за знімками Sentinel-2 показує, що на території на південь від водосховища (рис. 2.14) переважають пасовища та сіножаті, ще трохи південніше – орні землі та селитебна забудова (села Бихів та Хутомир), на півночі також поширені орні землі, на заході та сході – ліси.

В межах досліджуваної території відсутні великі населені пункти, промислові підприємства, екологічно небезпечні об'єкти.

Загалом, можна оцінити структуру землекористування як досить сприятливу для збереження та підтримання в хорошому екологічному стану досліджуваної території, в т.ч. і Бихівського водосховища. Чинниками, які найбільшою мірою впливають на гідроекологічний стан водосховища та геоекологічний стан його водозбору, є сільське господарство, осушувальна меліорація та селитебне освоєння. Проте, не дивлячись на відсутність гострої екологічної ситуації, антропогенний вплив сприяє евтрофікації водосховища, що буде детально проаналізовано в наступному розділі.



Структура землекористування в межах досліджуваної території

Рис. 2.14. Картографічне використання земель і структури земельного покриття (Land Use/ Land Cover) досліджуваної території, побудована в ArcGIS online

РОЗДІЛ 3.

СУЧАСНИЙ СТАН ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДОСХОВИЩА

3.1. Закономірності сезонної динаміки евтрофікації

У роботі застосовано методи дистанційного зондування Землі для визначення рівня евтрофікації Бихівського водосховища. Зокрема, проаналізовано нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) на основі даних супутника Sentinel-2 з роздільною здатністю 10 м на піксель.

NDVI традиційно застосовується для моніторингу стану рослинності за супутниковими даними. Діапазон значень NDVI становить від -1 до +1. Високі показники (близько +1) характерні для щільної рослинності, нульові - для відмерлої рослинності чи відкритого ґрунту, від'ємні – для чистої води. При оцінці стану водойм NDVI дозволяє виявити наявність плаваючої рослинності та водоростей. Значення вище 0,3-0,5 вказують на масовий розвиток плаваючих рослин, наприклад, ряски. Це часто є індикатором сильної евтрофікації. Показники 0,1-0,3 свідчать про помірне розростання водоростей, тоді як від'ємні чи близькі до нуля значення характерні для чистої води [6].

Для водних об'єктів встановлено таку класифікацію значень NDVI [43]:

- нижче 0 – поверхня води без помітної рослинності;
- 0,0-0,1 - мінімальний розвиток рослинності та фітопланктону;
- 0,1-0,3 - помірне заростання водоростями;
- 0,3-0,5 - інтенсивне заростання поверхні;
- вище 0,5 - суцільне покриття рослинністю.

Динаміка змін від'ємних значень NDVI дозволяє відстежувати початкові стадії евтрофікації водойм. Загалом від'ємні значення вказують на чисту воду, без помітної рослинності. Якщо з плином часу площа водойми, зайнята ділянками із від'ємними значеннями скорочується, це свідчить про початок розвитку водоростей і евтрофікацію водойми. Так само ідентифікатором евтрофікації є зростання значень індексу NDVI до 0 і вище.

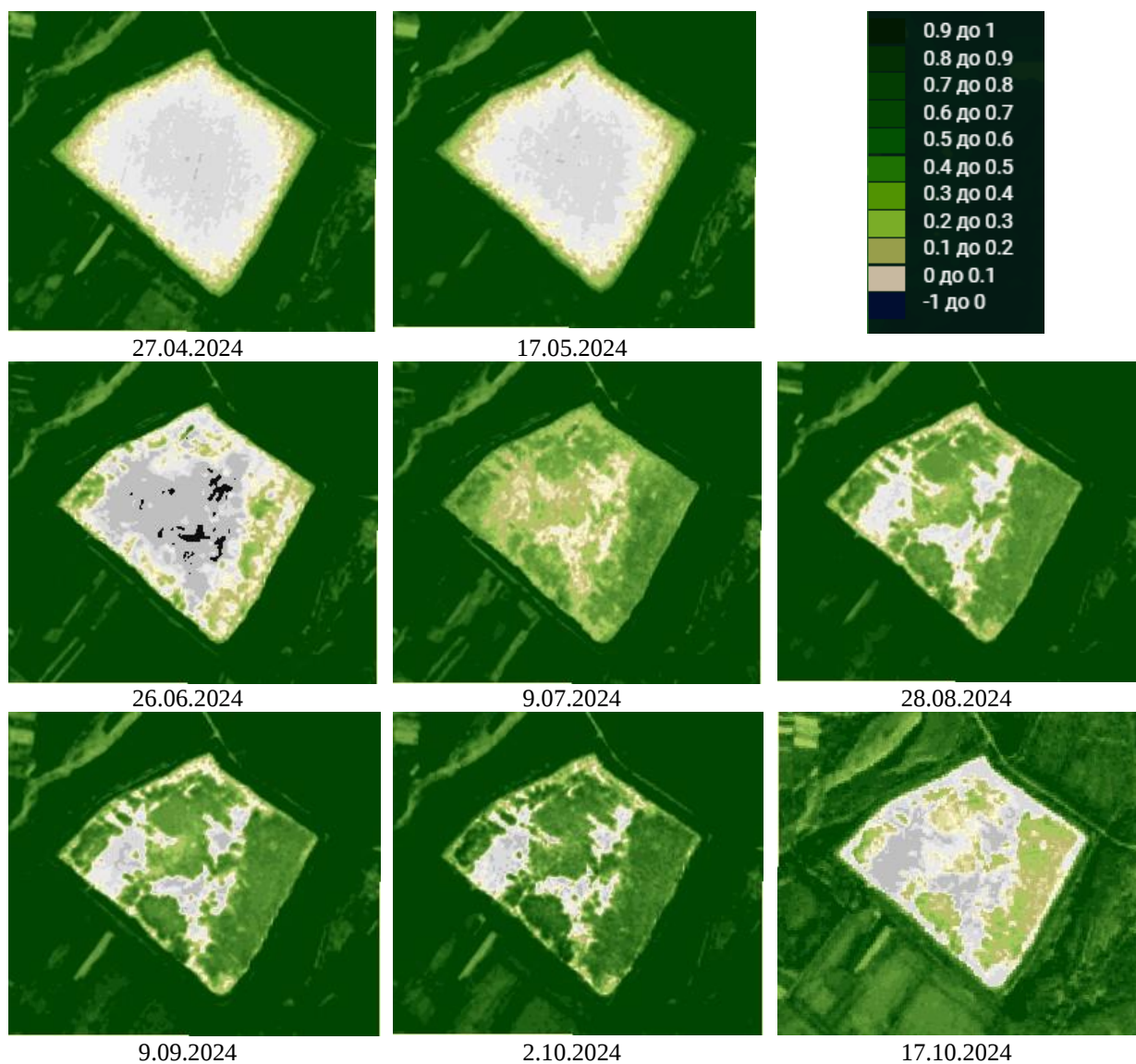


Рис. 3.1. Динаміка зміна значень індексу NDVI на різночасових фрагментах супутникових знімків протягом 2024 р. (за даними sentinel-hub.com)

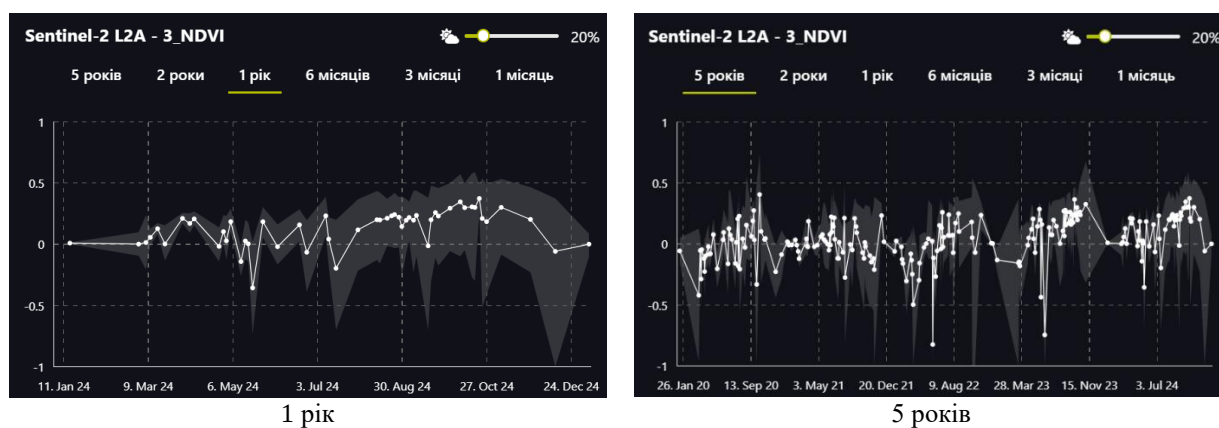


Рис. 3.2. Внутрішньорічна та багаторічна динаміка зміна значень індексу NDVI (за даними sentinel-hub.com)

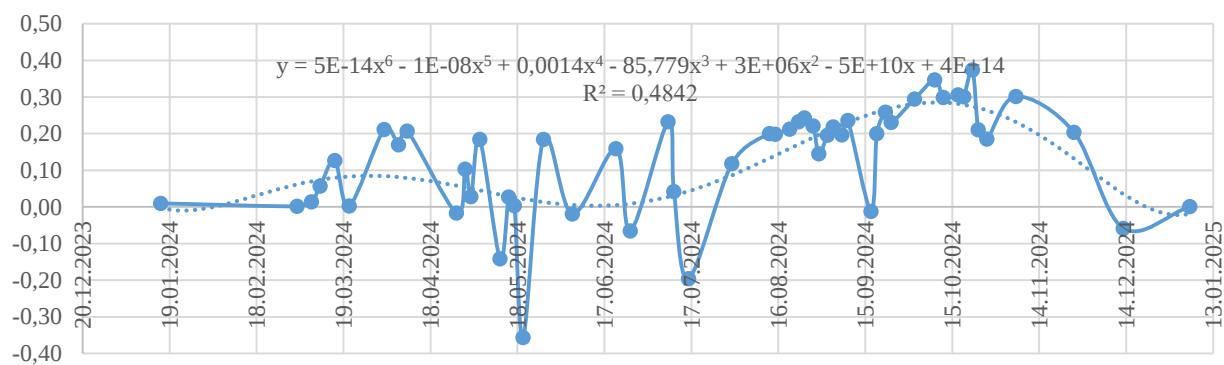


Рис. 3.3. Внутрішньорічна динаміка значень індексу NDVI із доданим поліноміальним трендом (за даними sentinel-hub.com)

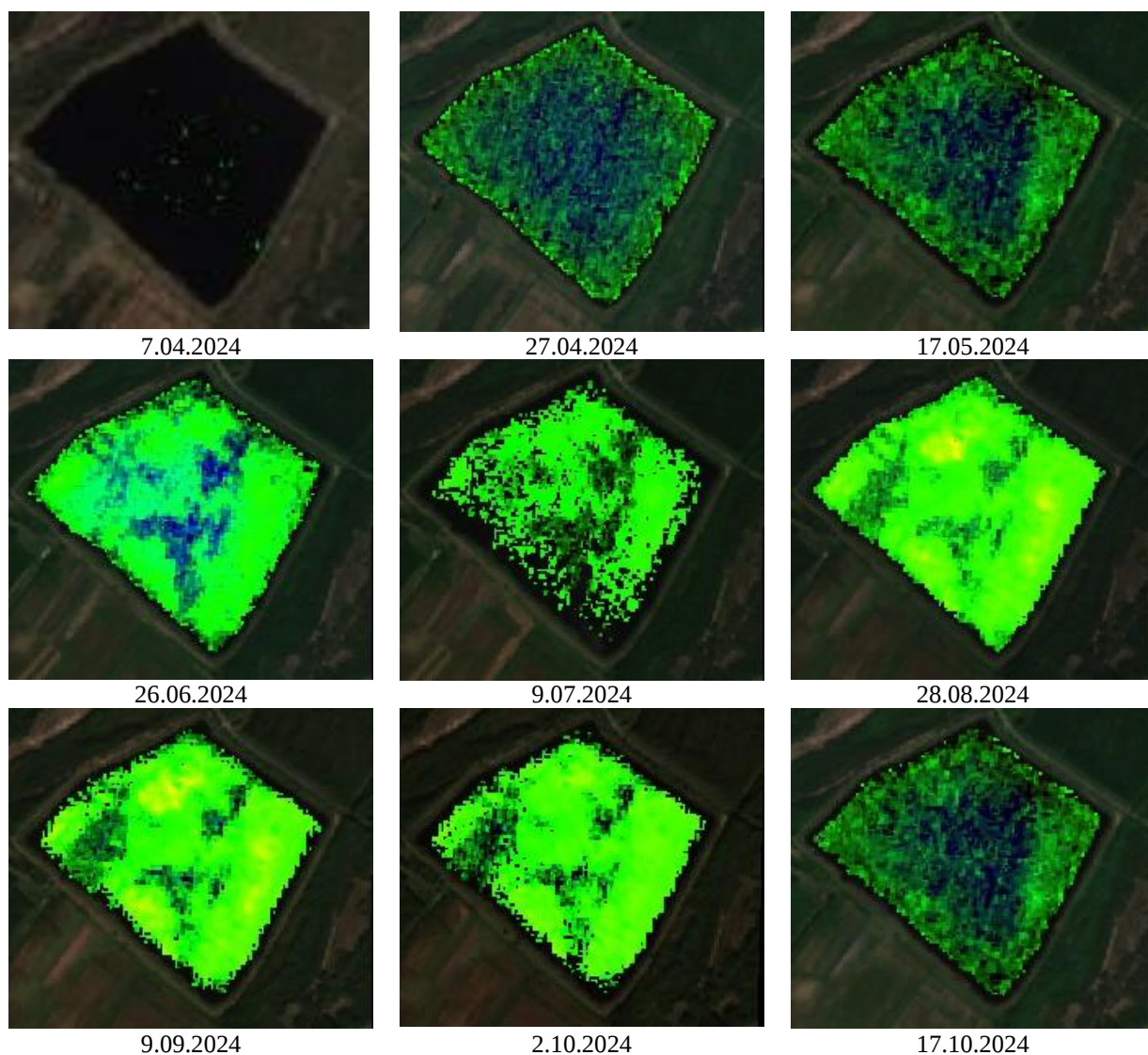


Рис. 3.4. Динаміка значень індексу ARA script на різночасових фрагментах супутникових знімків протягом 2024 р. (за даними sentinel-hub.com)

Аналізуючи фрагменти супутникових знімків Sentinel-2 (рис. 3.1) можна зробити висновок, що для внутрішньорічної зміни значень індексу властива сезонна динаміка. Розглянемо це детальніше на прикладі 2024 р. (рис. 3.2). Значення NDVI від початку року до початку березня дорівнюють 0. А згодом починають зростати. Вже в середині березня вони досягають 0,1, на початку квітня – 0,2. Станом на кінець місяця починаються евтрофікаційні процеси, спочатку біля берегів, потім на мілководді, в той час в центральній частині водосховища значення індексу ще від’ємні. В травні тенденція зберігається. Починаючи від червня темпи евтрофікаційних процесів зростають. Смуга евтрофікованої води збільшується, поширюється від берегів, натомість в центрі водойми зона чистої води зменшується. Тенденція зберігається до вересня, який у 2024 р. був дуже теплим (рис. 3.3). Рівень евтрофікації вкінці вересня-жовтні зріс до 0,3-0,4. Лише на початку листопада розпочалось інтенсивне очищення води від водоростей, вкінці місяця NDVI вже від’ємний. Така тенденція зберіглась до початку наступного (2025) року.

Більш наочно описані тенденції ілюструє поліноміальний тренд (VI порядку) на рис. 3.3. Коефіцієнт детермінації (0,48) не дуже високий, проте чітко видно різке зростання рівня евтрофікованості озера вкінці весни, коливання значень NDVI влітку, знов різке підвищення на початку осені і різке зниження в листопаді.

На рис. 3.4 наведені фрагменти знімків із визначеним ще одним вегетаційним індексом, що також часто застосовується для дослідження евтрофікації водойм. А саме APA script – Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (Спеціальний детектор сценаріїв для водних рослин і водоростей). Цей індекс виділяє простори, зайняті густою водною рослинністю, а решта території візуалізується у природних кольорах. Для відображення концентрації рослин та водоростей у водоймах використовується кольорове кодування. Чиста вода позначається блакитним кольором. Ділянки з низькою концентрацією водної рослинності мають бірюзове забарвлення. Яскраво-зелений колір вказує на середній рівень щільності рослин. Зони з найбільшою

густиною водної рослинності відмічаються жовтим кольором. Мутність води також відображається кольорами – від коричневого через червоний до фіолетового [44].

Загалом динаміка цього індексу корелює із NDVI. За фрагментами знімків з індексом ARA script важче визначити конкретні значення індексу. Проте вони більш візуально інформативні, по них краще відслідковувати збільшення смуги водоростей від берегів та зменшення зони чистої води.

3.2. Тенденції багаторічної динаміки евтрофікації

При аналізі динаміки евтрофікації за багаторічний період найважливішим питанням є визначення тенденції змін (тренду) цього процесу. На рис. 3.5 зображено графік багаторічної динаміки значень індексу NDVI (за 5 років) із доданим лінійним трендом. На графіку чітко видно сезонні коливання значень NDVI, які ілюструють процес евтрофікації. На перший погляд тенденція до посилення евтрофікації непомітна. Проте прослідковується така залежність: починаючи з 2022 р. тривалість періоду із додатними значеннями NDVI зростає порівняно із 2020-21 рр. Хоча в той же ж час зростає кількість та амплітуда від’ємних значень індексу, особливо у 2022 р. і 2023 р.

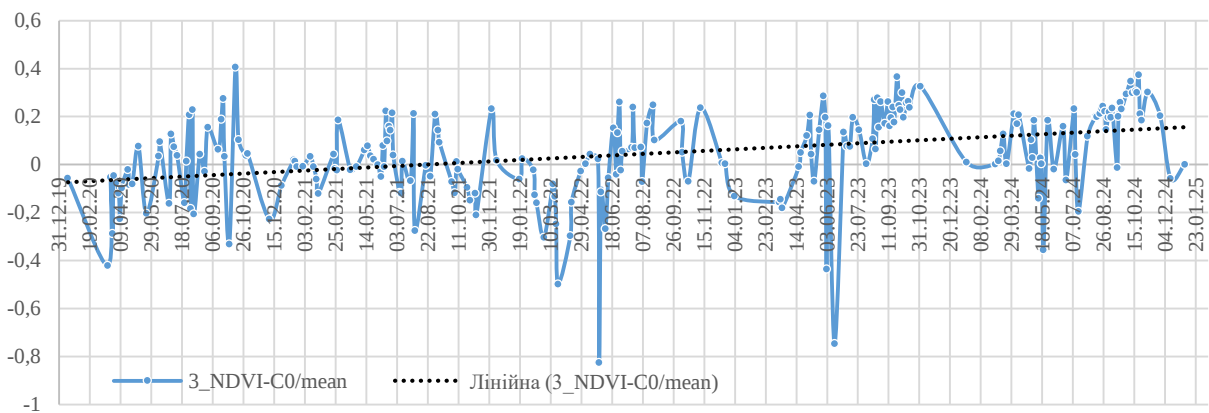


Рис. 3.5. Багаторічна динаміка значень індексу NDVI (за 5 років) із доданим лінійним трендом (за даними sentinel-hub.com)

Якщо аналізувати не сам графік (рис. 3.5), а виділений по ньому лінійний тренд, то видно, що значення тренду для нефільтрованих даних індексу NDVI за період 5 років зросли від -0,05 у 2020 р. до 0,1-0,12 у 2023 р. та 0,15-0,18 у 2024 р. Це досить суттєве зростання. Пояснюється це кореляцією значень NDVI та температури повітря, а останні роки (2023 р. і 2024 р.) неодноразово оновлювали кліматичні «рекорди».

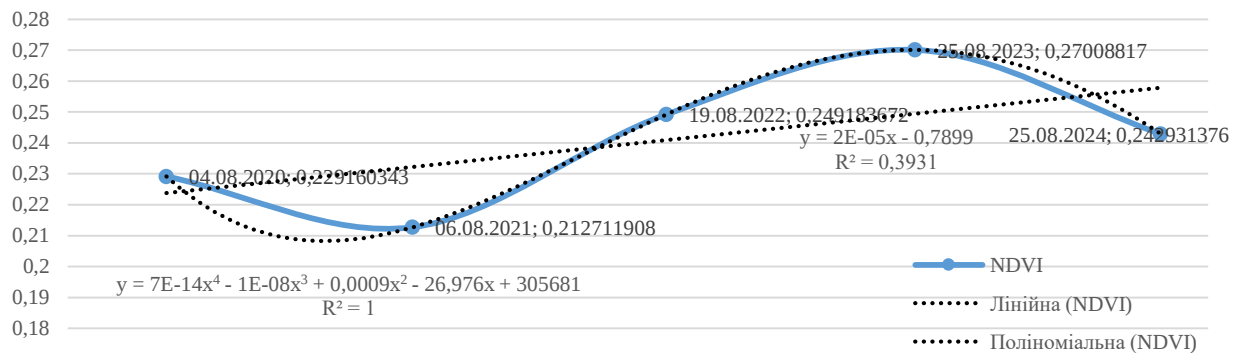


Рис. 3.6. Зміна максимальних значень індексу NDVI в серпні за 5 років із доданими лінійним та поліноміальним трендами за даними sentinel-hub.com (в підписах даних – дата та відповідні значення NDVI)

Тому цікавим видається аналіз не просто всіх значень індексу NDVI за певний багаторічний період, а більш локалізований аналіз. Наприклад, на рис. 3.6 зображений графік зміни максимальних значень індексу NDVI в серпні за 5 років із доданими лінійним та поліноміальним трендами. Як видно з фрагментів знімків (рис. 3.1, 3.4), серпень – місяць із традиційно найвищими значеннями евтрофікації. Максимальні серпневі значення NDVI були більш стабільними, коливались у вузькому діапазоні – від 0,21 (2021 р.) до 0,27 (2023 р.). Хоча навіть для максимальних серпневих значень NDVI лінійний тренд зростає (рис. 3.6) – від 0,225 у 2020 р. до 0,255 у 2024 р. Тобто на 13%.

Встановлена тенденція свідчить про зростання ризику евтрофікації Бихівського водосховища та про посилення впливу кліматичних змін на процеси евтрофікації. Тому необхідна розробка оперативних заходів поліпшення гідроекологічного стану та зменшення евтрофікації водосховища.

РОЗДІЛ 4.

ЗАХОДИ ПОЛІПШЕННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ БИХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

На основі детального аналізу гідроекологічного стану Бихівського водосховища можна запропонувати наступні заходи для його поліпшення та зменшення евтрофікації (рис. 4.1).

Для забезпечення регулярного водообміну важливо підтримувати проточність водойми, дотримуватись графіку попусків води, збільшувати частоту водообміну протягом червня-вересня, коли спостерігаються найвищі показники евтрофікації, організувати додаткову подачі води через насосну станцію для компенсації водоскиду в критичні періоди [28].

Щоб підтримувати оптимальний рівень води необхідно контролювати його між позначками НІР (146,5 м) та РМО (144,5 м), не допускати зниження рівня нижче РМО (144,5 м) для збереження мінімального об'єму 0,15 млн.м³, враховувати сезонну динаміку при регулюванні рівня: підвищений рівень навесні для створення запасу води та поступове контрольоване зниження влітку для забезпечення водообміну [28].

Система моніторингу водного балансу включає: встановлення сучасних приладів обліку води, впровадження автоматизованої системи збору даних про рівні води, об'єми водоподачі та водоскиду, створення системи оперативного реагування на зміни водного балансу з урахуванням метеорологічних даних [9].

Для берегоукріплення та покращення прибережної зони важливо збереження наявної ширини прибережної захисної смуги (50 м, площа 17,5 га), її додаткове озеленення, збільшення кількості деревної рослинності (верби) вздовж урізу води, створення багаторусних насаджень з використанням місцевих видів, підсів багаторічних трав для покращення залуження. Особливу увагу слід звернути на південну частину водосховища, де прибережна смуга межує з сільськогосподарськими угіддями.

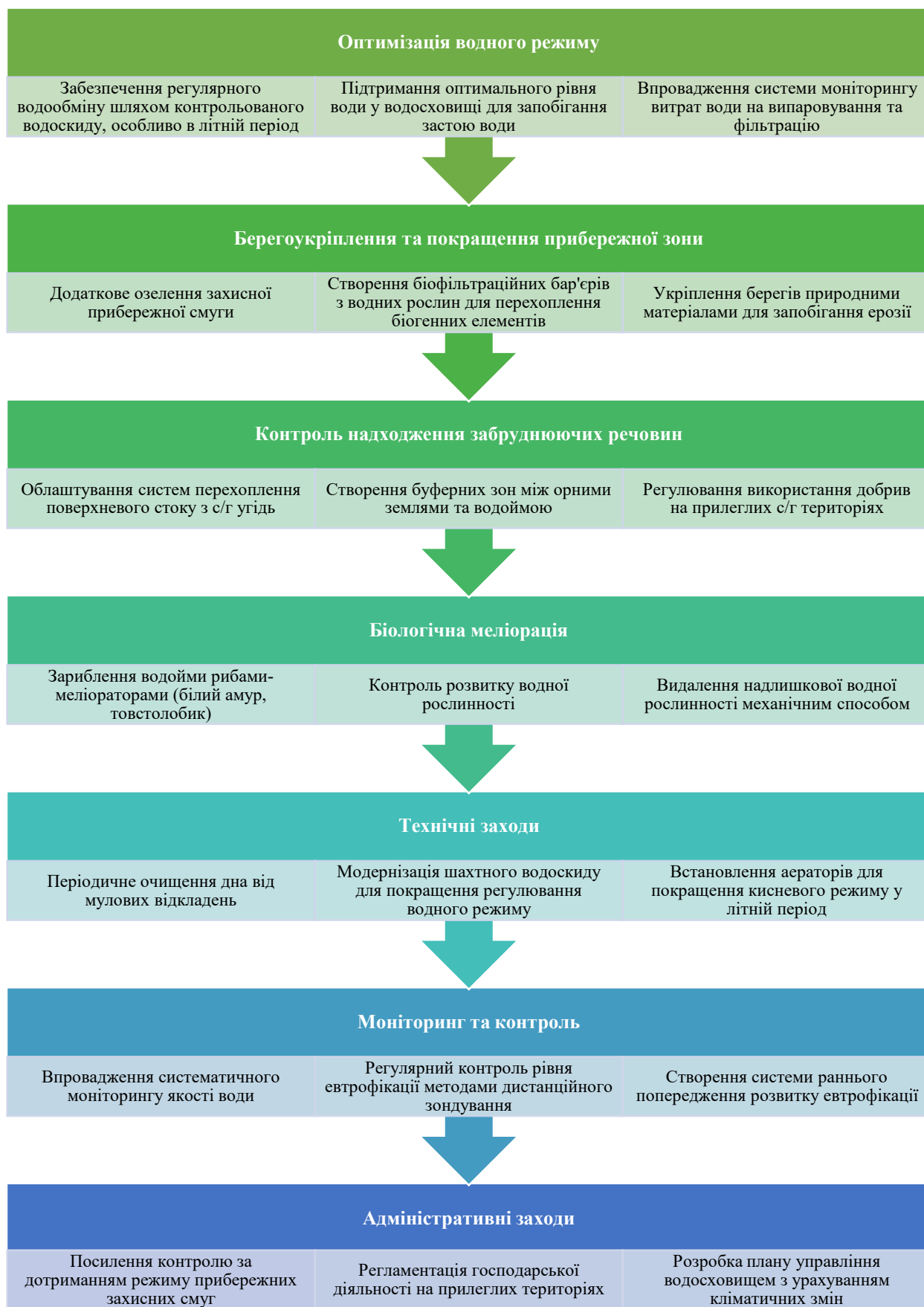


Рис. 4.1. Заходи поліпшення гідроекологічного стану та зменшення евтрофікації Бихівського водосховища

Зменшенню надходження забруднюючих речовин з водозбору сприятиме створення біофільтраційних бар'єрів, зокрема, поясу з вищих водних рослин (очерет звичайний, рогіз широколистий, аїр болотний), облаштування біоплато з макрофітів, які б розміщувались вздовж берегової лінії та складались із видів з високою здатністю до поглинання біогенних елементів [42].

Також потрібно забезпечити укріплення берегів природними матеріалами, зокрема, застосування багаторічних трав, за необхідності використання додаткових заходів укріплення: фашин з місцевих матеріалів, габіонних конструкцій з природним заповненням, біоматів з попередньо вирощеною рослинністю.

Інтегрованими заходами для всієї прибережної зони є створення локальних екологічних коридорів для зв'язку з прилеглими лісами та рідколіссям на заході, півночі і сході та збереження біорізноманіття, підтримка належного стану залуження, контроль антропогенного навантаження, облаштування спеціальних місць для відпочинку, встановлення інформаційних знаків про необхідність охорони природи. Особливу увагу слід приділити південній частині водосховища, де прибережна зона межує з сільськогосподарськими угіддями та селитебною територією.

Для контролю надходження забруднюючих речовин у водойму необхідно облаштувати систему перехоплення поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь. Для цього слід побудувати систему водовідвідних каналів, розміщених вздовж межі сільгоспугідь, спрямувати стік в спеціальні відстійники для механічного очищення стоку, облаштувати біоставки для біологічного очищення, фільтраційні майданчики з природними сорбентами.

Створення буферних зон передбачає застосування багатоярусних буферних смуг, коли трав'яний ярус виконує первинного затримання стоку, чагарниковий ярус – для додаткової фільтрації, деревний ярус – для стабілізації ґрунту. Буферні зони повинні бути диференційовані за шириною –

розширені на ділянках з більшим ухилом схилу, містити додаткові бар'єри в місцях концентрації стоку, особлива увага повинна бути спрямована на південну частину водосховища, яка межує з орними землями.

Підбір рослинності для буферних зон здійснюється за наступними критеріями:

- стійкі до забруднення види;
- рослини з високою фільтраційною здатністю;
- багаторічні трави з розвиненою кореневою системою.

Регулювання використання добрив передбачає розробку рекомендацій для землекористувачів, які визначають оптимальні норми внесення добрив, терміни внесення з урахуванням погодних умов, способи внесення для мінімізації змиву, а також впровадження системи агроекологічного моніторингу та стимулювання екологічних практик землеробства (використання сидератів, впровадження сівозмін).

Біологічна меліорація передбачає, насамперед, зариблення водойми рибами-меліораторами (білим амуром і товстолобиком). Не менш важливим заходом є контроль розвитку водної рослинності, регулярні спостереження за станом заростання, використання з цією метою даних дистанційного зондування (NDVI, APA, інші вегетаційні індекси) та механічне видалення надлишкової рослинності в разі необхідності.

Технічні заходи включають періодичне очищення дна від мулових відкладів за допомогою малогабаритних земснарядів, модернізація шахтного водоскиду шляхом встановлення сучасних затворів, удосконалення системи управління, покращення регулювання витрат, встановлення датчиків рівня води та аераторів (поверхневих чи донних) [9].

Систематичний моніторинг якості води передбачає організацію мережі спостережень із наступними контрольними точками відбору проб: вхід води (біля насосної станції), центральна частина водосховища, прибережна зона, зона водоскиду. Під час моніторингу слід контролювати:

- фізико-хімічні параметри (температура, рН, розчинений кисень);

- біогенні елементи (нітроген, фосфор);
- індикатори евтрофікації (хлорофіл-а, прозорість).

Періодичність спостережень: щомісячні виміри в холодний період, щотижневі – у вегетаційний період.

Також для контролю рівня евтрофікації методами доцільно використовувати методи дистанційного зондування і супутникові дані, зокрема, індекси NDVI, APA, NDMI. За результатами спостережень заповнюють журнали значень індексів та проводять аналіз динаміки показників. Критеріями оцінки ризику евтрофікації є пускові механізми (підвищення температури води, зниження рівня води, збільшення концентрації біогенних елементів) та порогові значення (критичні рівні індексів NDVI та APA, граничні концентрації біогенних елементів, мінімальні рівні розчиненого кисню). За результатами моніторингу відбувається взаємодія з зацікавленими сторонами, інформування управлінських структур, координація з землекористувачами, обмін даними з науковими установами.

Адміністративні заходи включають: посилення контролю за дотриманням режиму прибережних захисних смуг (моніторинг дотримання ширини смуги (50 м), контроль стану залуження, перевірка цілісності насаджень), регламентацію господарської діяльності, обмеження для сільського господарства (норми внесення добрив, режим обробітку ґрунту, структура сівозмін), регламентацію рекреаційного використання, координацію з землекористувачами, розробку плану управління водосховищем, який би регламентував всі аспекти господарської діяльності, що впливають на формування гідроекологічного стану водосховища.

ВИСНОВКИ

1. Водосховища є штучними водними об'єктами, які мають унікальні гідроекологічні характеристики, що визначають їх відмінність від річок та озер. Ці особливості включають уповільнений водообмін, термічну та хімічну стратифікацію, а також регульований рівневий режим. Водосховища виконують важливу функцію акумуляції та регулювання водних ресурсів, проте їх експлуатація пов'язана зі значними екологічними змінами.

Гідрологічний режим водосховищ характеризується сезонними коливаннями рівнів води, формуванням термічних і льодових шарів, а також просторовою неоднорідністю температурного режиму. Ці чинники впливають на процеси випаровування, перенесення осадів та розвиток гідробіологічних систем. Особливості термічного та льодового режиму водосховищ є критично важливими для прогнозування якості води, планування водокористування та безпечної експлуатації гідротехнічних споруд.

На формування екологічних характеристик водосховищ значно впливають берегові процеси: абразія, акумуляція, підтоплення та зміна рівня ґрунтових вод. Крім того, у водосховищах відбувається зміна видового складу гідробіонтів, масове "цвітіння" води та формування нових умов для життя водних організмів. В процесі становлення водосховища проходять кілька етапів розвитку, від активного формування екосистем на початкових стадіях до стабілізації та поступового заболочування. Кожен із цих етапів характеризується змінами у видово-трофічній структурі та фізико-хімічних параметрах водойми.

Тобто водосховища є складними техногенними системами, які суттєво впливають на природні гідрологічні та екологічні процеси. Їх експлуатація вимагає детального врахування цих особливостей для забезпечення раціонального використання водних ресурсів, збереження екологічної рівноваги та мінімізації негативних наслідків для довкілля.

Евтрофікація водосховищ є складним процесом, що відбувається під впливом природних та антропогенних чинників. Вона спричиняє серйозні екологічні проблеми – масове "цвітіння" води, зниження її прозорості, порушення кисневого балансу, загибель водних організмів та погіршення якості води для питного і рекреаційного використання.

Для боротьби з евтрофікацією застосовують різноманітні заходи: від попереджувальних дій (створення водоохоронних зон і очищення стічних вод), до гідротехнічних, біологічних і хімічних методів. Комбінований підхід, що враховує особливості кожного водосховища, є найефективнішим у подоланні цієї проблеми.

Важливим аспектом у протидії евтрофікації є системний підхід, який включає регулярний моніторинг стану водойм, виявлення джерел забруднення та розробку цільових заходів. Залучення місцевих громад до природоохоронних ініціатив також сприяє успішному вирішенню проблеми.

Таким чином, для ефективної боротьби з евтрофікацією необхідно одночасно усувати її причини та наслідки, забезпечуючи довготривалу роботу над збереженням екологічної рівноваги водойм.

2. Бихівське водосховище є важливою складовою однойменної осушувальної системи, відіграє ключову роль у регулюванні поверхневого стоку та акумуляції води для потреб зволоження земель. Умови водного стресу на досліджуваній території, які були оцінені за допомогою дистанційного зондування та аналізу нормалізованого диференційного індексу вологості (NDMI), свідчать про необхідність адаптаційних заходів до кліматичних змін.

Внутрішньорічна динаміка NDMI демонструє сезонні коливання із постійно низькими значеннями, характерними для водного стресу. Багаторічний аналіз показує більш екстремальні зміни індексу, що підкреслює вплив кліматичних факторів. Одним із ключових заходів адаптації є впровадження двостороннього регулювання стоку, що частково забезпечується Бихівським водосховищем.

Водосховище має сприятливу геоекологічну ситуацію, оскільки його прибережна захисна смуга утримується у належному стані, а структура землекористування довкола характеризується відсутністю значного антропогенного тиску. Проте, вплив сільського господарства, осушувальної меліорації та селитебного освоєння сприяє евтрофікації водосховища, що потребує подальшого моніторингу та заходів для зменшення екологічних ризиків.

3. Аналіз сезонної динаміки евтрофікації Бихівського водосховища за допомогою супутникових даних та вегетаційних індексів NDVI і APA script виявив закономірності сезонних змін у процесах евтрофікації. Упродовж року NDVI демонструє зростання з весни до осені, досягаючи пікових значень у серпні-вересні, з подальшим зниженням восени та взимку. Спостерігається тенденція до збільшення тривалості періоду з додатними значеннями NDVI, що корелює зі зростанням температури повітря, спричиненої кліматичними змінами.

Багаторічний аналіз показав, що за останні п'ять років індекс NDVI має зростаючий тренд, особливо помітний для теплих місяців. Максимальні серпневі значення NDVI зросли на 13% за цей період, вказуючи на посилення процесів евтрофікації.

Ці результати підкреслюють необхідність розробки оперативних заходів для покращення гідроекологічного стану водосховища та мінімізації ризиків евтрофікації, зокрема, через адаптацію до змін клімату та моніторинг екосистеми водойми.

4. Запропоновані заходи для зменшення евтрофікації Бихівського водосховища та поліпшення його гідроекологічного стану охоплюють широкий спектр екологічних, технічних та адміністративних рішень. Основними напрямками є:

1. Покращення водообміну та регулювання рівня води, включаючи підтримку проточності, збільшення частоти водообміну у критичні

періоди та моніторинг водного балансу за допомогою сучасних систем збору даних.

2. Берегоукріплення та зменшення надходження забруднюючих речовин шляхом створення буферних зон, біофільтраційних бар'єрів, укріплення берегів природними матеріалами.
3. Контроль надходження забруднюючих речовин з водозбору шляхом облаштування системи перехоплення поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь, створення буферних зон та регулювання використання добрив, яке передбачає розробку відповідних рекомендацій для землекористувачів
4. Біологічна меліорація, яка включає зариблення водойми рибами-меліораторами, контроль водної рослинності та використання супутникових даних для оцінки її динаміки.
5. Технічні заходи, зокрема, очищення дна від мулових відкладів, модернізація водоскиду та використання аераторів.
6. Систематичний моніторинг якості води з контролем фізико-хімічних параметрів, біогенних елементів, індикаторів евтрофікації та використанням дистанційного зондування.
7. Адміністративні заходи – регламентація господарської діяльності, посилення контролю за дотриманням захисних смуг та розробка інтегрованого плану управління водосховищем.

Реалізація цих заходів сприятиме зменшенню негативного впливу антропогенних і кліматичних чинників, покращенню стану водойми та збереженню її екосистеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас Волинської області / за ред. Ф.В. Зузука. М.: Комітет геодезії і картографії СРСР, 1991. 42 с.
2. Атлас радіоактивного забруднення України, 2-е вид. (CD, 2008, укр.).
3. Бихівське водосховище. URL: <https://vodres.gov.ua/node/1217>
4. Боголюбов В.М., Юхимчук І.В., Мальований М.С. Захист відкритих водойм від забруднення поверхневими стічними водами з сільськогосподарських територій. Ринок інсталяції. 2010. № 11. С. 33-38.
5. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Основи гідроекології: теорія й практика: навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 365 с.
6. Вегетаційні індекси NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. URL: <https://www.soft.farm/uk/blog/vegetacijni-indeksi-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>
7. Водосховище. URL: <https://vue.gov.ua/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5>
8. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
9. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ: Інтерпрес, 2014. 164 с.
10. Гарбар О.В., Гарбар Д.А., Ворончук Л.І., Даниловська Н.Д. Дистанційний моніторинг екологічного стану Житомирського водосховища та прилеглих акваторій. Туризм. Географія. Екологія: інновації, освіта, бізнес. 2024. №6. С. 96-98.
11. Гриб Й. В., Волкошовець О. В., Бандура, А. В. Процеси старіння іхтіоекосистеми руслового Млинівського водосховища. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2016. №2(74). С. 56-62.
12. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне: Волинські обереги. 1999.

347 с.

13. Закон України «Про внесення змін до Водного і Земельного кодексів України щодо прибережних захисних смуг». Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2011. N 18. ст. 122.
14. Ільїн Л.В. Техногенні трансформації озер Західного Полісся України. Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 18–20 травня 2023 р.) / відповід. редактори: В. Біланюк, Є. Іванов. У 3-ох томах. Львів: Простір-М, 2023. Том 2. С. 58-61.
15. Ільїн Л.В. Лімнокомплекси Українського Полісся. У 2 т. Т.1. Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності: монографія. Луцьк: РВВ "Вежа" ВНУ ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
16. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся: Монографія: У 2-х т. Т.2: Регіональні особливості та оптимізація; за ред. В.М. Пашенка. Луцьк: РВВ "Вежа" Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки. 2008. 400 с.
17. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
18. Карпюк З.К., Фесюк В.О., Антипюк О.В. Природно-заповідний фонд Волинської області: альбом-каталог. К.: ОК-Поліграф, 2018. 136 с.
19. Карпюк З. К., Фесюк В. О., Чижевська Л. Т. Охорона гідрологічних об'єктів у мережі природно-заповідного фонду Волинської області. Актуальні проблеми охорони навколишнього природного середовища українсько-польських прикордонних територій: тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (Львів – Івано-Франкове, 23-25 жовтня 2019 р.). Львів: ПАІС, 2019. С. 43-44.
20. Карпюк З. К., Шевчук О. С., Ярмолюк Д. Л. Охорона водних екосистем у гідрологічних заказниках і пам'ятках природи природно-заповідного фонду Волинської області. Věda a perspektivy. 2022. № 5(12). S. 144-161.
21. Клементова Е., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости

- сельскохозяйственного ландшафта. Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 5. С. 33–34.
22. Мартинюк В.О., Зубкович І.В., Андрійчук С.В. Регіональна геоecологічна оцінка озер Українського Полісся. Регіональні геоecологічні проблеми в умовах сталого розвитку. Збірник наукових праць III Міжнар. наук.-практ. конференції (Рівне, 18-20.10.2018). 2018. С. 78-86.
23. Мельниченко С. Г. Іхтіомеліорація як провідний біологічний метод стримання евтрофікації малих водосховищ. Матеріали V Міжнародної конференції молодих вчених «Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства», 8.12. 2022. С. 49-50.
24. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Розробники: Романенко В.Д., Жукінський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
25. Нетробчук І. М. Оцінка якості поверхневих вод правобережних приток басейну Прип'яті у Волинській області. Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. 2007. № 2. С. 260-265.
26. Павловська Т. С., Федонюк М. А., Рудик О. В. Температурний режим повітря у Волинській області: хронологічний та хорологічний аспекти. Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. Луцьк: Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 1. С. 39-48.
27. Панасюк І. В., Зуб Л.М. Оцінка стану гідроекосистем водосховищ при малих ГЕС. Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (2-3 червня 2020 року, м. Київ). Київ: Основа, 2020. С. 33-41.
28. Паспорт Бихівського водосховища. Луцьк: РОВР. 2015. 7 с.
29. Пилипенко Ю.В. Біологічна меліорація як елемент керування якістю води малих водосховищ. Таврійський науковий вісник. 2008. № 58. С. 319-324.
30. Пилипенко Ю. В. Компенсаційні водоохоронні заходи створення стабільних екосистем малих водосховищ. Регіональні проблеми України: Географічний аналіз та пошук шляхів вирішення: зб. наук. праць. Херсон:

- ПП Вишемирский, 2007. С. 45-51.
- 31.Пилипенко Ю.В. Проблема якості води і раціонального використання біопродукційного потенціалу малих водосховищ. Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького. 2007. Т. 9 № 4(35). С. 116-119.
 - 32.Пічура В.І. Просторово-часові тенденції зміни трофічного стану водосховищ річки Дніпро. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2016. № 4(76). С. 3-21.
 - 33.Поверхневі води Волині: колективна монографія / за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк: Терен, 2019. 344 с.
 - 34.Природа Волинської області / за ред. К.І. Геренчука. Львів: Каменяр, 1975. 146 с.
 - 35.Притулюк Л. В. Просторовий розподіл та хронологія інвентаризації ставків у Волинській області. Актуальні проблеми та перспективи розвитку регіонів: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Рівне, 3 квіт. 2020 р.). Рівне: РВЦ МЕРУ ім. акад. С. Дем'янчука, 2020. С. 102-106.
 - 36.Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2022 рік. URL: http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS
 - 37.Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
 - 38.Солованюк О., Гулай Л. Роль нітрогеномісних сполук в оцінці екологічного стану поверхневих штучних водоймищ. Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю”(Екологія/Ecology–2011), 2011. С. 537-539.
 - 39.Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія. / за ред. В. О. Фесюка. К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2016. 316 ст.
 - 40.Таврель М.І. Обґрунтування шляхів подолання евтрофікації водойм. Проблеми екології. 2021. №I (23). С. 73-79.
 - 41.Тарасюк Ф.П., Тарасюк М.Ф. Температурний режим повітря національного парку "Прип'ять-Стохід" у контексті глобального

- потепління. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2014. №11. С. 109-114.
- 42.Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами: навчальний посібник. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
- 43.Федоровський О. Д., Хижняк А. В, Томченко О. В. Оцінка якості водного середовища міських водойм з використанням методів системного аналізу на основі комплексування даних ДЗЗ. Космічна наука і технологія. 2021. Т. 27. № 5. С. 11-18.
- 44.Фесюк В. О., Полянський С. В., Копитюк Т. В. Методика та практична імплементація застосування даних ДЗЗ для моніторингу евтрофікації водойм (на прикладі Турського озера). Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. № 1. 2022. С. 159-166.
- 45.Фесюк В.О., Нетробчук І.М., Алексійчук М.М. Оцінка евтрофікованості озера Велике методами дистанційного зондування Землі. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. Вип. 1. С. 83–88.
- 46.Фесюк, Павлов Тези
- 47.Хільчевський В.К. Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4(66). С. 6-16.
- 48.Чижевська Л.Т., Качаровський Р.Є., Чир Н.В. Особливості туристично-рекреаційної атрактивності Любешівської селищної ОТГ Волинської області. Науковий вісник Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки. Серія: Географічні науки. 2019. № 9 (393). С. 118-125.
- 49.Шевчук М. Й., Сергушко О. Г. Евтрофікація озер Волинської області. Агроекологічний журнал. 2017. № 1. С. 16-21
- 50.Normalized Difference Moisture Index (NDMI). URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndmi/>