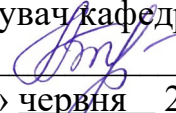


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»

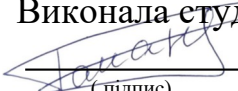
Завідувач кафедри


« 16 » червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

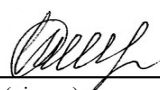
на тему: **Дослідження змін екологічного стану поверхневих вод в
акваторії Бузького лиману**

Виконала студентка 4 курсу, групи 4271


(підпис) Романова Т. М.

Керівник роботи:

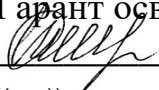
доцент кафедри екології та
природоохоронних технологій
к.т.н, доцент


(підпис) Магась Н.І.

Миколаїв – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Факультет: економіки та екології моря
Кафедра: екології та природоохоронних технологій
Спеціальність: 101 «Екологія»
Освітня програма: Екологія та охорона навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант освітньої програми
 Магась Н.І.
« » 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студентці Романовій Тетяні Михайлівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження змін екологічного стану поверхневих вод
в акваторії Бузького лиману

керівник роботи: Магась Наталія Іванівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № від « » 2025 р.

2. Термін подання роботи: 20.06.2025

3. Вихідні дані по роботі: Матеріали гідрохімічного моніторингу Бузького
лиману за 2022–2024 рр., супутникові знімки Landsat-8 (індекси NDAI, NDTI,
NDVI), нормативні документи щодо екологічного стану поверхневих вод
України, літературні джерела з питань гідроекології та евтрофікації естуаріїв.

4. Перелік питань, що належать до розробки: Проаналізувати літературні
джерела щодо сучасного стану Бузького лиману, дати фізико-географічну та
гідрологічну характеристику акваторії, оцінити сезонні зміни основних
гідрохімічних показників (температура, рН, кисень, БСК, ХСК, азотні
сполуки, мінералізація), виконати аналіз змін екологічного стану за
супутниковими знімками, виявити чинники евтрофікації та забруднення.

5. Перелік презентаційних матеріалів:
Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Маринець О. М., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 15.03.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз літературних джерел за темою дослідження, фізико-географічна, кліматична та гідрологічна характеристика Бузького лиману	27.03.25	Виконано
2	Опрацювання та аналіз гідрохімічних показників Бузького лиману	17.04.25	Виконано
3	Аналіз супутникових знімків, визначення індексів NDAI, NDTI, NDVI	10.05.25	Виконано
4	Узагальнення результатів, формування висновків та рекомендацій	22.05.25	Виконано
5	Оформлення кваліфікаційної роботи, підготовка до захисту	05.06.25	Виконано
8	Подання КР на допуск до захисту	20.06.25	Виконано
9	Захист КР	24.06.25	Виконано

Студент



Романова Т.М.

Керівник роботи



(прізвище та ініціали)

Магась Н.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Романова Т. М. Дослідження змін екологічного стану поверхневих вод в акваторії Бузького лиману. У кваліфікаційній роботі досліджено сучасний екологічний стан поверхневих вод Бузького лиману на основі багаторічних гідрохімічних даних та супутникових знімків Landsat-8. Проведено комплексний аналіз фізико-хімічних показників води, таких як температура, розчинений кисень, рН, біохімічне та хімічне споживання кисню, мінералізація, вміст амонію, нітратів, хлоридів та сульфатів. Визначено сезонні зміни гідрохімічних параметрів, виявлено чинники евтрофікації та зростання мінералізації, що негативно впливають на біорізноманіття та якість води. За результатами дистанційного зондування встановлено просторові особливості цвітіння води та підвищення каламутності у літній період. Отримані результати можуть бути використані у природоохоронній діяльності та розробці програм управління водними ресурсами Бузького лиману.

Ключові слова: Бузький лиман, гідрохімічні показники, евтрофікація, дистанційне зондування, NDAI, NDTI, NDVI, якість води.

SUMMARY

Romanova T.M. Investigation of the ecological state of the surface waters of the Bug estuary. In the qualification thesis, the current ecological state of surface waters in the Bug estuary has been studied based on multi-year hydrochemical data and satellite imagery from Landsat-8. A comprehensive analysis of the physical and chemical parameters of water such as temperature, dissolved oxygen, pH, biochemical and chemical oxygen demand, mineralization, ammonium, nitrate, chloride, and sulfate content has been conducted. Seasonal changes in hydrochemical characteristics have been determined, and factors of eutrophication and mineralization increase that negatively affect biodiversity and water quality have been identified. The results of remote sensing revealed spatial features of water bloom and turbidity increase during the summer period. The obtained data can be used in environmental protection activities and the development of water resource management programs for the Bug estuary.

Keywords: Bug Estuary, hydrochemical indicators, eutrophication, remote sensing, NDAI, NDTI, NDVI, water quality.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БУЗЬКОГО ЛИМАНУ	8
1.1. Фізико-географічне положення Бузького лиману	8
1.2. Мікrokліматичні особливості	12
1.3 Гідрологічні особливості	19
1.4. Біорізноманіття	27
РОЗДІЛ II. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ	33
2.1. Стаціонарні методи дослідження якості води	33
2.2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями	41
2.3. Дистанційні методи дослідження	47
РОЗДІЛ III. АНАЛІЗ СЕЗОННОЇ ДИНАМІКИ ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ ВОД БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ЗА ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ 2022-2024 РОКІВ	54
РОЗДІЛ IV. АНАЛІЗ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ	62
РОЗДІЛ V. ОХОРОНА ПРАЦІ В ЛАБОРАТОРІЯХ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ	67
5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які діють на працівника лабораторії обробки даних щодо стану водних ресурсів	67
5.2. Вимоги до організації робочих місць користувачів ПК	70
5.3. Розробка заходів техніки безпеки	72
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

ВСТУП

Актуальність роботи. Стан поверхневих вод є одним із ключових чинників, що визначають екологічну безпеку та стійкість водних екосистем. Бузький лиман, як складова Дніпровсько-Бузького лиману, відіграє важливу роль у формуванні гідроекологічних процесів Чорноморського басейну та забезпеченні біорізноманіття регіону. Зміни кліматичних параметрів, зростання антропогенного навантаження, розвиток агропромислового комплексу, урбанізація Миколаївської області зумовлюють погіршення якості води, прояви евтрофікації, збільшення концентрації біогенних елементів та органічних сполук. У зв'язку з цим актуальним є проведення моніторингу стану поверхневих вод Бузького лиману із застосуванням гідрохімічних досліджень та методів дистанційного зондування Землі.

Об'єкт дослідження – поверхневі води Бузького лиману.

Предмет дослідження – зміни гідрохімічних показників та індексів якості води в Бузькому лимані під впливом природних і антропогенних чинників.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження екологічного стану вод Бузького лиману на основі комплексного аналізу гідрохімічних показників та даних дистанційного зондування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести аналіз літературних джерел щодо екологічних особливостей Бузького лиману.
2. Дати фізико-географічну, кліматичну, гідрологічну характеристику акваторії.
3. Проаналізувати багаторічні гідрохімічні дані моніторингу якості вод Бузького лиману.
4. Застосувати методи дистанційного зондування для оцінки стану водної поверхні лиману.
5. Визначити ключові чинники евтрофікації та підвищеної мінералізації вод.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БУЗЬКОГО ЛИМАНУ

1.1 Фізико-географічне положення Бузького лиману

Бузький лиман є естуарієм річки Південний Буг, розташованим у північній частині Чорного моря, в межах Миколаївської області України. Він є частиною Дніпровсько-Бузького лиману, але має власні географічні та гідрологічні характеристики. Координати цього водного об'єкту коливаються в межах $46^{\circ}57'$ північної широти та $31^{\circ}58'$ східної довготи [1].

У сучасній науковій літературі точкою відліку нижньої (північної) межі Бузького лиману та одночасно гирлової частини річки Південний Буг умовно вважається район Південнобузького (Варварівського) мосту в межах міста Миколаїв (рис. 1.1). Проте варто зазначити, що характерні морфологічні риси річкової системи Південного Бугу втрачаються на значній відстані вище від міста, подекуди до кількох десятків кілометрів. Як орієнтир верхньої (південної) межі гирлової зони Південного Бугу здебільшого розглядається ділянка поблизу міста Нова Одеса (на відстані приблизно 59 км від Миколаєва), оскільки саме до цього місця поширюється вплив солонуватих вод лиману. Вище за течією, в районі села Прибужани, простежується остаточне припинення впливу лиманних явищ і хвильових процесів, включаючи нагінні коливання води, що дозволяє вважати цю точку межею пригирлової зони [2].

У науковій літературі існують розбіжності щодо точного визначення довжини гирлової ділянки Південного Бугу. Одні автори вказують на протяжність у 78 км — між селом Олександрівка та містом Нова Одеса, інші розширюють цю межу до 104 км (від с. Прибужани до Миколаєва), 118 км (до села Новопетрівське), або навіть 132 км, залежно від підходу до трактування зон впливу лиману. Така варіативність у визначенні меж пояснюється складністю гідродинамічних процесів у цій частині басейну, включаючи коливання рівня води, солоності, припливів і нагонів [2].

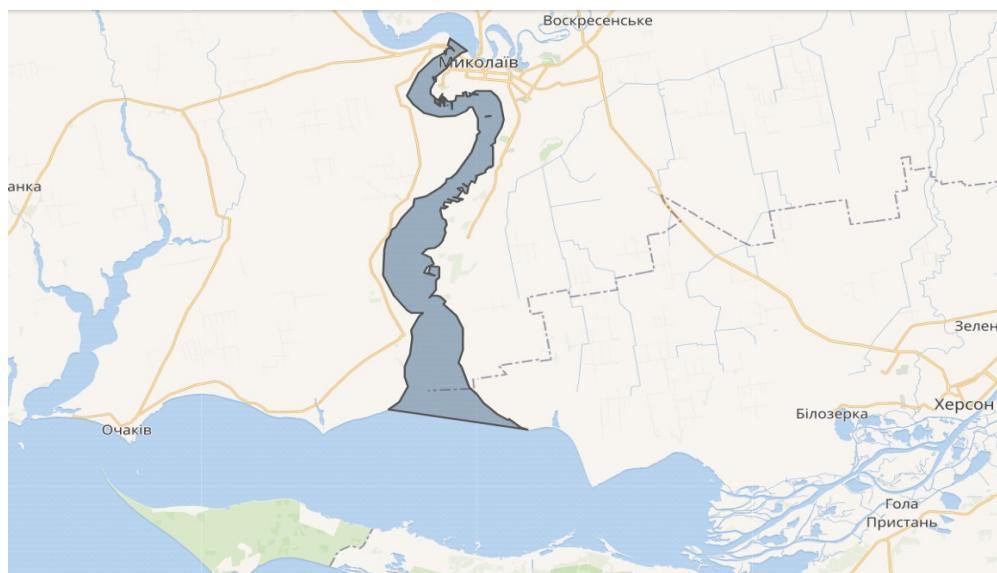


Рисунок 1.1. Карта з окресленими межами Бузького лиману [1]

Бузький лиман характеризується нерівномірним розподілом глибин: середня глибина лиману становить приблизно 3–5 метрів, хоча у деяких ділянках, особливо ближче до гирла Південного Бугу, вона сягає 10–12 метрів. Найглибші ділянки розташовані в центральній та північно-східній частинах лиману, де спостерігається інтенсивна течія та природне заглиблення русла річки. Натомість південна частина лиману ближче до злиття з Дніпровським лиманом має менші глибини, часто не перевищуючи 2–3 метри, що обумовлено наливом осадових порід та сезонними змінами гідрологічного режиму [1].

Рельєф дна лиману є досить складним і неоднорідним. Він формувався під впливом багатовікової дії водних потоків, накопиченням алювіальних наносів та морських відкладів. У північній частині, де лиман поступово переходить у русло Південного Бугу, рельєф має характер руслових заглиблень із численними підводними долинами та каналами. В центральній частині лиману спостерігаються улоговини та западини, що чергуються з підвищеннями, утворюючи мозаїчну структуру дна. Південна частина лиману має більш згладжений рельєф з поступовим підвищенням у напрямку до морського узбережжя, що свідчить про активні процеси осадконакопичення [3].

Берегова лінія Бузького лиману має складну та розгалужену морфологічну структуру, що є результатом тривалої взаємодії морських, річкових і кліматичних процесів. Загальна протяжність берегової лінії сягає понад 200 кілометрів, враховуючи вигини, затоки та півострови [1].

У північній частині лиману переважають низинні береги, сформовані переважно алювіальними відкладами. Ці території частково заболочені, особливо в місцях впадіння річок Південний Буг і Інгул. Такі ділянки мають важливе значення як середовища проживання водно-болотної фауни та відіграють ключову роль у підтриманні біорізноманіття регіону, зокрема під час сезонних міграцій птахів [3].

Центральна частина лиману має більш розчленований рельєф берегової лінії, з великою кількістю невеликих бухт і заток. Тут розташовані численні села, такі як Парутине, Куцуруб та Лупареве. Береги тут чергуються між глинистими обривами, піщаними пляжами та природними лагунами. Вплив вітрових хвиль, а також сезонне коливання рівня води, зумовлюють ерозійні процеси, які з часом змінюють конфігурацію узбережжя.

Південна частина Бузького лиману, що наближається до Чорного моря, є найбільш динамічною з точки зору геоморфології: тут сформовані унікальні природні утворення, такі як Волоська та Руська коси. Вони є піщаними насипами, що утворилися внаслідок дії прибережних течій і мають довжину в декілька кілометрів. Ці коси відіграють роль природного бар'єру між лиманом і відкритим морем, а також виконують функцію захисту внутрішніх територій від штормових хвиль.

Антропогенний вплив також відіграє роль у зміні берегової лінії. Будівництво гідротехнічних споруд, таких як дамби та порти, впливає на циркуляцію води і перерозподіл наносів. Розширення портової інфраструктури призводить до локальних змін напрямку течій, що спричиняє ерозію берегів у сусідніх районах [4].

Осадкові породи Бузького лиману формуються під впливом поєднання річкових, морських і лагунних процесів, що визначають специфіку їхнього

мінералогічного складу. Відклади мають переважно алюмінієво-кремнеземисте походження, і розміщуються шарами, що свідчить про циклічність осадконакопичення в умовах змінного гідродинамічного режиму.

У верхній, північній частині лиману переважають мулисті та алювіальні наноси. Ці відклади є результатом діяльності річки Південний Буг, яка транспортує дрібнодисперсні частинки з водозбірної басейну. Мул у цій частині лиману має високу вологоємність і органічне насичення, що створює умови для формування родючих прибережних ґрунтів. Часто спостерігається залягання шарів із домішками рослинних залишків, що свідчить про високу біогенну активність у прибережних зонах [5].

У центральній частині лиману домінують піщано-мулисті осади з вмістом черепашнику та уламків вапнякових порід. Ці відклади формуються внаслідок поєднання річкових і морських процесів, зокрема за рахунок турбулентного перемішування вод в умовах змішаного гідрологічного режиму. Тут спостерігається активна акумуляція органо-мінеральних речовин, важливих для розвитку донної фауни [5].

Південна частина лиману, що ближча до Чорного моря, характеризується переважанням піщаних і ракушкових осадів. Ці породи мають морське походження і відкладаються під впливом прибережних течій і хвильових процесів. Часто вони містять карбонатні включення та елементи морської фауни [5].

1.2 Мікрокліматичні особливості

Бузький лиман розташований у південній частині України й підпадає під вплив помірно-континентального клімату, який поступово змінюється в напрямку субсередземноморського через близькість до Чорного моря. Цей кліматичний тип характеризується відносно м'якою зимою та жарким, тривалим літом. Кількість сонячних днів перевищує середній показник по Україні. Вологість тут помірна, що впливає на динаміку водних мас у лимані [6].

Упродовж останніх десятиліть спостерігається зміна кліматичних умов у регіоні, зокрема зростання середньорічної температури повітря та збільшення частоти екстремальних погодних явищ. Дані супутникового моніторингу свідчать про поступове потепління, особливо в літні місяці, що безпосередньо впливає на гідрологічний режим лиману. Зменшення кількості опадів у літній період також знижує обсяги річкового стоку, змінюючи солоність та циркуляцію води [7].

Вітрові умови мають вирішальне значення для формування мікроклімату та структури водних мас. У весняний період переважають східні вітри, які сприяють винесенню опріснених вод у напрямку до Чорного моря. Натомість влітку частіше спостерігаються західні вітри, що ускладнюють рух води з лиману назовні й сприяють проникненню морських вод у його акваторію. Такий розподіл вітрів також обумовлює нерівномірний температурний режим по горизонталі лиману [7].

Постійні зміни у розподілі атмосферного тиску та рухах повітряних мас утворюють локальні мікрокліматичні особливості, які проявляються у формуванні температурних контрастів між береговою лінією та внутрішніми районами. Наявність великих площ відкритої води створює ефект теплового буфера, що частково згладжує добові коливання температури. У результаті цього в літній період нічні температури тут стабільніші, ніж на суходолі [8].

Особливу роль відіграють також сезонні коливання вологості повітря, які впливають на процеси випаровування та теплового обміну. Наприклад, влітку відбувається значне випаровування з поверхні лиману, що підвищує вологість приземного шару повітря, тоді як у зимовий період цей процес мінімізується через охолодження поверхні води. Це створює локальні кліматичні ефекти, зокрема утворення туманів і підвищення теплової інерції екосистеми [6].

Кліматичні характеристики регіону тісно пов'язані з регіональними гідрологічними процесами. У весняний період, коли рівень річкового стоку

найвищий, лиман отримує значну кількість опріснених вод, що знижує солоність прибережних ділянок. [9].

Таким чином, мікрокліматичні умови Бузького лиману формуються під впливом низки факторів: температури повітря, напрямку вітру, вологості, рівня сонячної радіації, опадів та морських течій. Вони мають сезонну варіативність, що відображається на гідрологічній структурі лиману та екологічній рівновазі регіону.

Середньорічна температура повітря в регіоні коливається в межах $+10,5^{\circ}\text{C}$ до $+11,8^{\circ}\text{C}$ залежно від конкретного року та місцевості. У порівнянні з північнішими районами України, тут спостерігається на $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ вищий середній річний температурний показник. Це пояснюється не лише географічною широтою, а й впливом акваторії лиману, що діє як тепловий акумулятор. [6].

Річна амплітуда температур (різниця між середньою температурою найтеплішого та найхолоднішого місяців) у регіоні становить приблизно $24\text{--}26^{\circ}\text{C}$. Це свідчить про помірну континентальність клімату, з вираженими сезонними змінами температури.

За даними супутникових спостережень Landsat 8, підтверджено тенденцію до поступового зростання середньорічної температури повітря в регіоні за останнє десятиліття (рис. 1.2). Наприклад, у 2014 році середній показник становив $+10,6^{\circ}\text{C}$, тоді як у 2024 році зафіксовано рекордно високу середньорічну температуру — $13,3^{\circ}\text{C}$. Особливо спекотним був липень, коли температура досягала $+41,6^{\circ}\text{C}$, що стало абсолютним максимумом за весь період спостережень. Така динаміка є результатом загального потепління клімату та локальних змін, зумовлених змінами у водному балансі басейну [10].

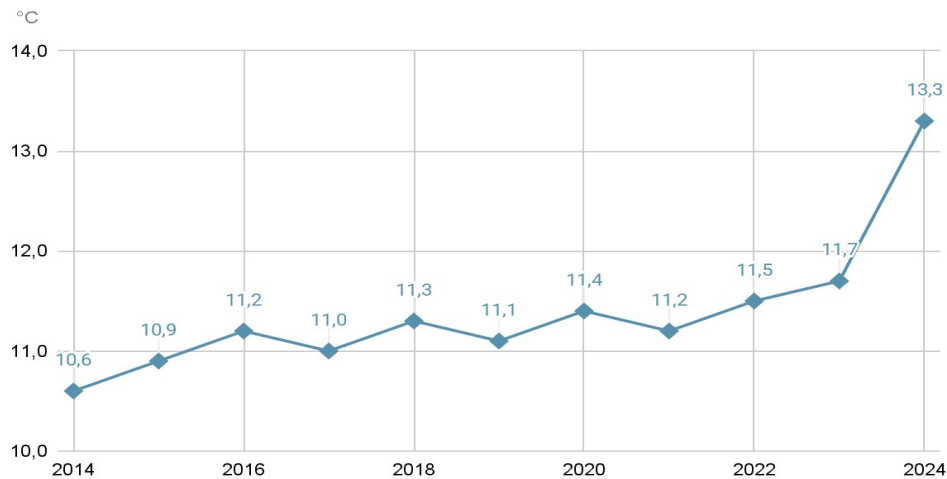


Рисунок 1.2. Графік зростання середньорічної температури повітря в регіоні за період з 2014 по 2024 рік.

Сезонна амплітуда температур є показником різниці між середніми значеннями в холодний і теплий періоди року. Для Бузького лиману характерна досить широка амплітуда — від -2°C у січні до $+24\text{--}26^{\circ}\text{C}$ у липні. Зимові температури значною мірою залежать від домінуючих повітряних мас: при вторгненні арктичних фронтів можливе зниження до -15°C , проте завдяки впливу водного дзеркала замерзання лиману трапляється не щороку і триває нетривалий час [11].

У літній період температура повітря досягає $+30\text{...}+35^{\circ}\text{C}$, особливо в другій половині липня – серпні. Проте, у прибережній зоні завдяки впливу бризів температура вища лише вдень, а вночі знижується швидше. Таким чином, амплітуда добових коливань також є значною — до $12\text{--}15^{\circ}\text{C}$ влітку. Навесні та восени температури змінюються поступово, тому перехідні сезони характеризуються меншими контрастами [12].

Кліматична специфіка південного регіону України, де розташований Бузький лиман, передбачає досить обмежену кількість опадів упродовж року. Згідно з даними Світового банку, середньорічна кількість атмосферних опадів у цьому регіоні становить приблизно 460 мм, що відносить його до зони із зниженим зволоженням. Це пояснюється як континентальністю

клімату, так і близькістю до Чорного моря, яке сприяє зменшенню кількості опадів у прибережній зоні через ефект розсіювання вологи [13].

Для порівняння, середній показник по Україні загалом становить від 550 до 650 мм на рік, тобто лиманний регіон є одним із найбільш посушливих. Подібна ситуація створює передумови для дефіциту вологи у ґрунтах, що має значення не лише для природного середовища, а й для ведення сільського господарства та водокористування [15].

Річний розподіл атмосферних опадів у регіоні Бузького лиману є нерівномірним та вираженим за сезонами. Максимальні значення спостерігаються у травні та червні — 55,2 мм і 55,3 мм відповідно, що обумовлено активізацією конвективної діяльності та проходженням циклонів у цей період. Літні опади мають переважно зливовий характер і часто супроводжуються грозами та шквалами. У досліджуваний період липень продемонстрував менші обсяги вологості — лише 41,6 мм, а серпень, навпаки, виявився найпосушливішим місяцем — 25,6 мм, що свідчить про нестійкий характер літньої гідрометеорологічної ситуації.

Весна, особливо її друга половина, характеризується поступовим зростанням кількості опадів: з 39,7 мм у березні до 43,6 мм у квітні, що готує ґрунт до вегетаційного періоду. Восени опади знижуються, хоча залишаються відносно стабільними: 31,6 мм у вересні, 37,4 мм у жовтні, 40,2 мм у листопаді.

Зимовий період (грудень–лютий) демонструє найменшу суму опадів, коливаючись від 35,9 мм у лютому до 47,8 мм у січні. У цей час опади здебільшого мають змішаний або твердий агрегатний стан і випадають у вигляді снігу або мокрого снігу, але сніговий покрив не є стійким через часті відлиги.

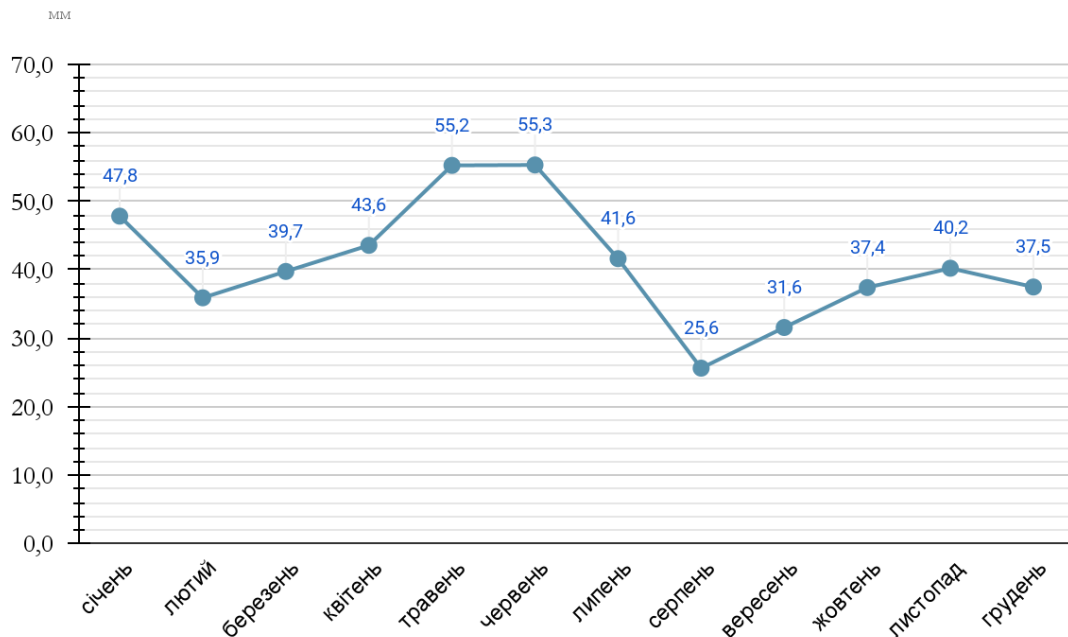


Рисунок 1.3. Середньомісячна кількість опадів (мм) у регіоні Бузького лиману (усереднено за 2010–2020 рр.) [13]

Графік на рис. 1.3 відображає загальну тенденцію: пік вологості припадає на пізню весну – початок літа, тоді як мінімальні значення спостерігаються в серпні, що свідчить про сезонний контраст кліматичних умов у зоні Бузького лиману [13]. Сумарно літній максимум (травень–липень) формує до 35–38% річної норми опадів, тоді як зимовий період забезпечує менше ніж 20% річного обсягу. Така виражена сезонна амплітуда призводить до періодів надлишку та дефіциту вологи, що напряму впливає на гідрологічний режим лиману та вологозабезпечення природних комплексів.

Вологість повітря у районі лиману також має сезонні коливання. У холодну пору року (грудень–лютий) її рівень підвищується до 80–90%, що зумовлено низькими температурами та зниженим випаровуванням. Це сприяє утворенню туманів, інверсій температури та підвищенню вологості приземного шару атмосфери.

Локальні мікрокліматичні особливості також мають важливе значення. Наприклад, у прибережній смузі лиману вологість вища у порівнянні з більш

віддаленими територіями. Це зумовлено ефектом "морського бризу" — денні припливи вологого повітря з акваторії, які зволожують приземний шар атмосфери. Уночі ж зворотний потік повітря забезпечує охолодження і часткове підвищення вологості, особливо в низинах [14].

Кліматичні умови Миколаївської області характеризуються значною варіативністю напрямків вітру протягом року. Аналіз даних метеостанцій показує, що переважаючими напрямками вітру є західний, північно-західний та південний. Зокрема, західні вітри домінують протягом більшої частини року, особливо в зимові місяці, коли їх частка може сягати 51% [16].

У весняний період спостерігається зміщення переважаючих напрямків вітру на східні та північно-східні, що пов'язано з сезонними змінами атмосферної циркуляції. Такі зміни можуть впливати на локальні метеорологічні умови, зокрема на розподіл температури та вологості повітря.

Середня швидкість вітру в регіоні змінюється залежно від сезону. Найвищі середні швидкості спостерігаються в зимовий період, зокрема в лютому, коли середня годинна швидкість вітру досягає 11,0 миль на годину (приблизно 17,7 км/год) . Це зумовлено посиленням градієнту тиску між арктичними та помірними широтами [16].

У літній період, особливо в серпні, спостерігається зниження середньої швидкості вітру до 8,8 миль на годину (близько 14,2 км/год), що пов'язано з ослабленням атмосферної циркуляції та стабілізацією погодних умов. Такі сезонні коливання швидкості вітру мають значний вплив на мікрокліматичні умови регіону, зокрема на процеси випаровування та транспірації [16].

Вітрові умови мають суттєвий вплив на гідродинаміку Бузького лиману. Переважаючі західні та північно-західні вітри сприяють формуванню поверхневих течій, які впливають на розподіл температури та солоності води, а також на перенесення наносів. Крім того, сильні вітри можуть спричиняти ерозійні процеси на берегах лиману. Зокрема, вітрова ерозія може призводити до руйнування берегової лінії, особливо в районах з

нестабільними ґрунтами та відсутністю захисної рослинності. Такі процеси можуть мати негативний вплив на інфраструктуру та біорізноманіття регіону.

Тепловий баланс Дніпро-Бузького лиману формується під впливом сонячної радіації, атмосферних умов, водообміну з Чорним морем та річкових приток. Основними компонентами цього балансу є надходження та витрати тепла через поверхню води, включаючи випромінювання, конвекцію та випаровування. Середньорічна температура поверхні води в лимані коливається в межах 12–14 °С, досягаючи максимуму в літні місяці та мінімуму взимку.

У весняно-літній період інтенсивність сонячної радіації зростає, що призводить до підвищення температури води та активізації процесів випаровування. Влітку температура поверхні води може перевищувати 25 °С, що сприяє максимальному випаровуванню. Восени та взимку зниження сонячної активності та температури повітря зменшує надходження тепла, а випаровування сповільнюється. Ці сезонні зміни впливають на гідрологічний режим лиману та його екосистему.

Випаровування є ключовим процесом у тепловому балансі лиману, оскільки воно визначає втрати води та тепла з поверхні. Середньорічне випаровування в регіоні становить приблизно 1360 мм, з максимальними значеннями в літні місяці. Цей процес залежить від температури повітря, вологості, швидкості вітру та солоності води. Зокрема, підвищена солоність може зменшувати випаровування, оскільки солоніша вода має нижчу температуру кипіння [17].

Кліматичні зміни, зокрема підвищення температури повітря та зміни режиму опадів, можуть впливати на тепловий баланс та випаровування в лимані. Прогнозується, що внаслідок глобального потепління середньорічне випаровування може збільшитися на 29–56%, що призведе до зниження рівня води та підвищення солоності. Це може мати негативні наслідки для біорізноманіття та водних ресурсів регіону.

1.3 Гідрологічні особливості

Бузький лиман, як частина Дніпровсько-Бузького лиману, є складною гідрологічною системою, формування якої зумовлене взаємодією річкових, морських та атмосферних джерел водопостачання.

Основним джерелом прісної води для Бузького лиману є річка Південний Буг, яка впадає в лиман поблизу міста Миколаїв. Довжина річки становить 806 км, і вона протікає через різноманітні геологічні та ландшафтні зони, що впливає на якість її води. Зокрема, мінералізація води зростає від верхів'я до гирла, досягаючи понад 1000 мг/дм³ біля впадіння в лиман [17].

Інші річки, такі як Інгул та Інгулець, також вносять свій вклад у водний баланс лиману. Хоча їхній обсяг стоку менший, вони мають значення для локальної гідрології та екології. Загалом, річкові притоки забезпечують близько 6,5% поверхневого стоку в лиман, з яких Південний Буг становить 5,7%, Інгул – 0,5%, а Інгулець – 0,3% [17].

Бузький лиман з'єднується з Чорним морем через Кінбурнську протоку, що дозволяє морській воді проникати в лиман. Цей водообмін є реверсивним: переважно вода тече з лиману в море, але іноді спостерігається зворотна течія, яка приносить морську воду в лиман. Це явище впливає на солоність води в лимані, яка в середньому становить 3,6‰, але може змінюватися залежно від інтенсивності водообміну та сезонних факторів.

Хоча атмосферні опади не є основним джерелом водопостачання, їхня роль у сезонному гідрологічному балансі не слід недооцінювати. Середньорічна кількість опадів у регіоні коливається в межах 450–500 мм, з максимумом у червні–липні. Опади безпосередньо впливають на рівень води в лимані, особливо в періоди тривалих дощів або посух. Крім того, опади є джерелом розчинених речовин, включаючи сполуки азоту та сірки, що можуть змінювати хімічний склад води [13].

Підземне живлення лиману є обмеженим, проте у певних зонах, особливо в прируслових ділянках, спостерігається інфільтрація вод з верхніх

водоносних горизонтів. Найчастіше це мінералізовані води, які можуть посилювати солоність у прибережній смузі. З огляду на обмежений обсяг цього джерела, його гідрологічна значущість є другорядною, однак воно потребує моніторингу в контексті змін клімату та експлуатації водоносних пластів [12].

Окремо варто виділити вплив антропогенної діяльності на джерела водопостачання лиману. Інтенсивне використання вод річок для зрошення, промислових та побутових потреб зменшує обсяг прісного стоку до лиману. Наприклад, у 2022 році було зафіксовано критичне забруднення лиману внаслідок скиду стічних вод з очисних споруд селища Галицинове.

Гідродинамічні процеси у Бузькому лимані мають складний, багатофакторний характер. Основу циркуляції водних мас тут становить взаємодія річкового стоку, надходження морської води з боку Чорного моря, атмосферних впливів, вітрових навантажень та сезонних коливань рівнів води.

Упродовж більшої частини року гідродинаміка лиману має переважно стоковий характер. Прісноводні маси, принесені річкою Південний Буг, рухаються у напрямку з північного сходу на південний захід, утворюючи потік, що поступово змішується з більш солоними морськими водами. Це сприяє утворенню зон градієнтів солоності, особливо в центральній і південній частині лиману, де морська вода частково проникає вглиб лиману при певних умовах.

Найінтенсивніші обмінні процеси зазвичай спостерігаються у весняний період, коли під впливом танення снігів і сезонного підвищення рівня Південного Бугу спостерігається різке збільшення прісноводного припливу. Цей гідрологічний імпульс посилює загальний потік у напрямку Кінбурнської протоки, знижуючи рівень солоності в акваторії, особливо у верхніх шарах. Під час таких періодів відзначається також збільшення прозорості води та тимчасове зниження концентрації біогенних речовин [18].

Водночас у літні місяці, особливо під час посушливих періодів, режим водообміну в Бузькому лимані може значно сповільнюватися. Це спричиняє формування застійних ділянок, у яких порушується кисневий режим та активізуються процеси евтрофікації, а накопичення органічної речовини в придонних шарах призводить до гіпоксичних явищ [8].

Додатковим чинником, який визначає просторову неоднорідність водообміну, є вітрові впливи. Переважно південні та південно-східні вітри сприяють згінному переносу поверхневих вод до моря, що викликає приплив морської води у нижні горизонти лиману. Внаслідок цього формується вертикальна стратифікація, коли більш теплі та малосолоні води залишаються у верхньому шарі, а щільніші морські води накопичуються в придонній зоні. Така стратифікація може зберігатися протягом тривалого часу у відсутності сильних вертикальних перемішувань.

Суттєвою відмінністю водообміну Бузького лиману є його переважна орієнтація на стік з боку Південного Бугу, тоді як зворотні компенсаційні течії з моря виникають лише за умови тривалих вітрових перенесень або атмосферних контрастів. При цьому зворотний приплив морської води найчастіше фіксується у придонних шарах, особливо вночі або у періоди різкої зміни атмосферного тиску, що є характерним для естуарних систем із обмеженою морфологією та мілководдями.

Загалом, режим водообміну Бузького лиману демонструє значну просторово-часову варіативність, що обумовлюється поєднанням природних чинників (таких як гідрологія Південного Бугу, вітрові потоки, сезонні амплітуди температури та опадів) та антропогенних навантажень, зокрема скиду стічних вод і регулювання річкового стоку.

Солоність води є одним з ключових факторів, що визначають екологічний стан Бузького лиману. Вона впливає на розподіл та чисельність гідробіонтів, зокрема риб, молюсків та фітопланктону. Зміни солоності можуть призводити до зміщення видового складу, зменшення біорізноманіття та порушення екологічної рівноваги.

Основним джерелом прісної води є річка Південний Буг, яка впадає в лиман у його північній частині. Це створює градієнт солоності від півночі до півдня, де відбувається змішування з морськими водами [1].

Середня солоність води в Бузькому лимані варіюється в межах 1–3 ‰, залежно від сезону та гідрологічних умов. У північній частині, ближче до впадіння Південного Бугу, солоність може знижуватися до 0,5–1 ‰, тоді як у південній частині, ближче до Кінбурнської протоки, вона може підвищуватися до 3–4 ‰. Такий розподіл солоності обумовлений переважанням прісноводного стоку в північній частині та впливом морських вод у південній [19].

Солоність води в Бузькому лимані зазнає сезонних коливань. У весняний період, під час паводків, збільшення стоку Південного Бугу призводить до зниження солоності, особливо в північній частині лиману. У літній період, при зменшенні річкового стоку та підвищенні температури, випаровування сприяє підвищенню солоності, особливо в південній частині. У зимовий період, при зниженні температури та зменшенні випаровування, солоність стабілізується.

Антропогенна діяльність, зокрема використання вод Південного Бугу для зрошення та промислових потреб, впливає на режим солоності лиману. Зменшення об'єму прісної води, що надходить до лиману, призводить до підвищення солоності, особливо в південній частині. Крім того, скиди стічних вод можуть змінювати хімічний склад води, впливаючи на екосистему лиману.

Температура води в лимані зазнає значних сезонних коливань. У зимовий період середня температура води становить близько 0–2 °С, з можливим утворенням льодових покривів у мілководних ділянках. Навесні температура поступово підвищується, досягаючи 12–15 °С у квітні. У літній період температура води може сягати 25–28 °С, що сприяє активізації біологічних процесів. Восени температура знижується до 10–12 °С у жовтні та 5–7 °С у листопаді [15].

Просторовий розподіл температури води в лимані є неоднорідним. У західній частині, ближче до Чорного моря, температура води зазвичай вища через вплив теплих морських течій. У східній частині, де переважає вплив прісних річкових вод, температура може бути нижчою, особливо в періоди весняного паводку. Мілководні ділянки лиману швидше прогріваються влітку та швидше охолоджуються восени, порівняно з глибшими зонами [15].

Глобальні кліматичні зміни, зокрема підвищення середньорічної температури повітря, впливають на термальний режим лиману. За останні десятиліття спостерігається тенденція до збільшення температури води в літній період, що може призводити до більш тривалих періодів підвищеної температури та, відповідно, до змін у біологічних процесах, таких як цвітіння водоростей та зниження рівня розчиненого кисню [13].

Антропогенна діяльність, зокрема регулювання річкового стоку через гідротехнічні споруди, впливає на термальний режим лиману. Зменшення об'єму прісної води, що надходить до лиману, може призводити до підвищення температури води, особливо в літній період. Крім того, скиди теплих вод від промислових підприємств можуть локально підвищувати температуру води, змінюючи природний термальний режим.

Зміни в термальному режимі лиману можуть мати суттєві екологічні наслідки. Підвищення температури води може призводити до зниження рівня розчиненого кисню, що негативно впливає на водну фауну. Також, тривалі періоди високих температур можуть сприяти розвитку шкідливих водоростей, що погіршує якість води та може призводити до масової загибелі риби.

Донні відкладення Бузького лиману мають складну геологічну структуру, сформовану внаслідок тривалих геоморфологічних процесів. Узбережжя лиману складені з піщано-глинистих неогенових, лесових та піщаних четвертинних відкладень. Ці відклади є результатом ерозійних та акумулятивних процесів, що відбувалися протягом геологічного часу. На

берегових схилах спостерігаються оповзневі процеси та яроутворення, що також впливають на формування донних відкладів.

У Бузькому лимані переважають такі типи донних відкладів:

- мул – тонкодисперсний матеріал, що утворюється внаслідок осадження органічних та мінеральних частинок;
- пісок – відклади, характерні для прибережних зон та ділянок з підвищеною гідродинамічною активністю;
- глина – дрібнозернисті відклади, що накопичуються в зонах зі слабкою течією.

Розподіл цих відкладів залежить від гідродинамічних умов, глибини та морфології дна.

Донні відкладення зазнають впливу антропогенних факторів, що призводить до накопичення забруднюючих речовин. Дослідження показують наявність у відкладеннях важких металів, таких як свинець, кадмій, ртуть, а також органічних сполук, включаючи нафтопродукти та пестициди. Ці речовини потрапляють у лиман внаслідок скидів стічних вод, сільськогосподарської діяльності та атмосферного переносу [20].

Донні відкладення відіграють важливу роль у функціонуванні екосистеми лиману, оскільки вони є середовищем існування для багатьох бентосних організмів. Склад відкладень впливає на розподіл і чисельність макрозообентосу, зокрема хірономід, які є важливими компонентами харчових ланцюгів [21]. Зміни в складі донних відкладень можуть призводити до змін у структурі бентосних спільнот, що, в свою чергу, впливає на всю екосистему лиману.

Біологічна продуктивність є ключовим показником екологічного стану водних екосистем, що відображає здатність системи до виробництва органічної речовини через фотосинтез.

Фітопланктон є основним продуцентом органічної речовини в лимані, що забезпечує енергією всі трофічні рівні екосистеми. Його біомаса та продуктивність залежать від наявності поживних речовин, світлового режиму

та температури води. Дослідження показують, що максимальна біомаса фітопланктону спостерігається в літній період, досягаючи $0,2\text{--}0,25\text{ гС/м}^3$, тоді як мінімальні значення фіксуються взимку ($0,075\text{--}0,125\text{ гС/м}^3$) [21]. Ці коливання пов'язані з сезонними змінами температури, освітленості та надходженням поживних речовин. Зоопланктон відіграє важливу роль у передачі енергії від фітопланктону до вищих трофічних рівнів, таких як риба. Його чисельність та видовий склад залежать від умов середовища та наявності харчових ресурсів. У Бузькому лимані зоопланктон представлений різноманітними видами, включаючи копепода, кладоцери та ротатори.

Річковий стік є основним джерелом поживних речовин для лиману, зокрема азоту та фосфору, які стимулюють розвиток фітопланктону. Під час весняного паводку відбувається значне надходження цих елементів, що призводить до підвищення первинної продукції. Однак надмірне накопичення поживних речовин може спричинити евтрофікацію, що негативно впливає на екосистему.

Біологічна продуктивність лиману зазнає сезонних коливань, з максимальними значеннями влітку та мінімальними взимку. У літній період сприятливі умови призводять до "цвітіння" води, тоді як взимку низькі температури та обмежена освітленість знижують активність фітопланктону. Ці сезонні зміни впливають на всі трофічні рівні екосистеми. Надмірне надходження поживних речовин може призвести до зниження прозорості води та дефіциту кисню.

1.4. Біорізноманіття

Фітопланктон – ключовий компонент продукційного ланцюга Бузького лиману, оскільки саме він відповідає за утворення первинної органічної речовини у водному середовищі. Ці мікроскопічні водорості є базовим харчовим ресурсом для зоопланктону, моллюсків, молоді риб та інших водних організмів. Саме тому фітопланктон визначає основні параметри трофічної структури та енергетичного балансу лиманної екосистеми.

До складу фітопланктону Бузького лиману входять представники кількох основних таксономічних груп: діатомові (Bacillariophyta), синьо-зелені (Cyanophyta), зелені водорості (Chlorophyta), евгленові (Euglenophyta) та інші менш чисельні угруповання. Найбільш чисельно представленими є діатомові водорості, зокрема види родів *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira* та *Nitzschia*, які відіграють ключову роль у весняних та осінніх пік-фазах продукції. Ці організми мають високу фотосинтетичну активність і швидке розмноження за сприятливих умов, що дозволяє домінувати в біомасі на ранніх етапах сезонного циклу [22].

У літній період підвищення температури води та накопичення біогенних речовин, зокрема сполук азоту та фосфору, сприяє масовому розвитку синьо-зелених водоростей — *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena* spp., які можуть утворювати токсичні цвітіння. Ці види не лише знижують прозорість води, але й створюють загрозу для водних мешканців через виділення токсинів (мікроцистинів), що призводить до загибелі зоопланктону, риб та молюсків [23].

Також упродовж літа активізується ріст зелених водоростей — *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Pediastrum*, які часто з'являються в результаті надлишкового евтрофування, але мають меншу токсичність порівняно з ціанобактеріями. Їхня продуктивність значною мірою залежить від ступеня прозорості води та глибини фотозони, яка у Бузькому лимані часто обмежена через високий вміст завислих речовин [23].

Сезонна динаміка фітопланктону у Бузькому лимані демонструє класичну двофазну модель з весняним та осіннім піками. Взимку біомаса мінімальна, у зв'язку з коротким світловим днем та низькими температурами води. У весняний період, після танення льоду та збільшення світлової інсоляції, відбувається активізація фотосинтезу, що спричиняє першу хвилю масового розмноження переважно діатомових водоростей. Осінній пік зазвичай менший за весняний, проте характеризується вищою видовою різноманітністю [23].

У Бузькому лимані також виявлено значну кількість видів макрофітів, які належать до різних таксономічних груп. Зокрема, домінують представники відділів Chlorophyta (зелені водорості), Rhodophyta (червоні водорості) та Magnoliophyta (покритонасінні рослини). Серед зелених водоростей поширені види родів *Cladophora* та *Ulva*, які утворюють густі зарості на мілководдях. Червоні водорості, такі як *Ceramium* та *Polysiphonia*, зустрічаються переважно в прибережних зонах з вищою солоністю. Покритонасінні рослини представлені видами родів *Potamogeton* та *Zostera*, які формують підводні луки, важливі для нересту риб та інших гідробіонтів [23].

Макрофіти виконують низку важливих екологічних функцій: сприяють збагаченню води киснем через процес фотосинтезу, стабілізують донні осади, зменшуючи ерозію, забезпечують укриття і харчову базу для багатьох видів тварин. Крім того, макрофіти беруть участь у біогеохімічних циклах, поглинаючи надлишкові біогенні елементи, такі як азот і фосфор, тим самим запобігаючи розвитку евтрофікації.

Сезонна динаміка макрофітів у Бузькому лимані визначається температурним режимом, освітленістю та наявністю поживних речовин. Навесні та влітку спостерігається інтенсивний ріст водоростей, тоді як восени та взимку їх біомаса зменшується.

Зоопланктон Бузького лиману представлений різноманітними таксономічними групами, включаючи коловерток (Rotifera), веслоногих ракоподібних (Copepoda) та гіллястовусих ракоподібних (Cladocera). Сезонна динаміка зоопланктону відображає зміни в екологічних умовах лиману. Навесні та восени спостерігається підвищення чисельності зоопланктону, що пов'язано з оптимальними умовами для розмноження та наявністю достатньої кількості фітопланктону як джерела їжі. У літній період може відбуватися зниження чисельності зоопланктону через підвищення температури води та зменшення кількості поживних речовин.

Бентос — це сукупність організмів, що мешкають на дні або в донних відкладах водойм та беруть участь у процесах розкладу органічної речовини та сприяють біогеохімічним циклам. До складу бентосу входять різноманітні таксономічні групи: молюски, поліхети, олігохети, личинки двокрилих (*Chironomidae*) та деякі представники ракоподібних.

Зоопланктон та бентос тісно взаємодіють у трофічних ланцюгах Бузького лиману. Зоопланктон споживає фітопланктон, а сам слугує їжею для бентосних хижаків та риб. Бентос, у свою чергу, розкладає органічні залишки, сприяючи мінералізації та поверненню поживних речовин, що підтримує продуктивність фітопланктону. Таким чином, зоопланктон та бентос забезпечують кругообіг речовин та енергії в екосистемі лиману.

Іхтіофауна Бузького лиману представлена понад 60 видами риб, серед яких домінують представники родин *Cyprinidae*, *Percidae*, *Gobiidae* та *Acipenseridae*. Серед найбільш поширених видів слід відзначити ляща (*Abramis brama*), плітку (*Rutilus rutilus*), судака (*Sander lucioperca*), щуку (*Esox lucius*), карася (*Carassius* spp.) та бичків (*Gobiidae*). Також у лимані зустрічаються прохідні види, такі як осетер (*Acipenser* spp.) та кефаль (*Mugilidae*), що здійснюють міграції між морем та річками для нересту [24].

Риби Бузького лиману поділяються на кілька екологічних груп залежно від їхніх біологічних особливостей та способу життя:

- прісноводні — види, що постійно мешкають у прісноводних ділянках лиману, наприклад, карась та лящ;
- прохідні — риби, що мігрують між морем та річками, зокрема осетер та кефаль;
- евригалінні — організми, здатні переносити широкі коливання солоності, такі як бичок-кругляк (*Neogobius melanostomus*).

Таблиця 1.1 – Основні види риб Бузького лиману

Вид риби	Латинська назва	Екологічна група	Промислове значення
Лящ	<i>Abramis brama</i>	Прісноводна	Високе
Плітка	<i>Rutilus rutilus</i>	Прісноводна	Середнє
Судак	<i>Sander lucioperca</i>	Еврігалінна	Високе
Щука	<i>Esox lucius</i>	Прісноводна	Середнє
Карась	<i>Carassius spp.</i>	Прісноводна	Низьке
Бичок-кругляк	<i>Neogobius melanostomus</i>	Еврігалінна	Низьке

Вид риби	Латинська назва	Екологічна група	Промислове значення
Осетр	<i>Acipenser spp.</i>	Прохідна	Високе
Кефаль	<i>Mugilidae</i>	Прохідна	Високе

Риби є важливою ланкою в трофічному ланцюгу, адже впливають на чисельність зоопланктону та бентосу, а також слугують кормовою базою для птахів та інших хижаків. Крім того, багато видів риб мають комерційне значення для місцевого населення.

Орнітофауна Бузького лиману включає представників різних екологічних груп: гніздових, мігруючих, зимуючих та залітних птахів. Серед гніздових видів найчастіше зустрічаються: сіра чапля (*Ardea cinerea*), мала біла чапля (*Egretta garzetta*), крижень (*Anas platyrhynchos*), лиска (*Fulica atra*) [25].

Під час міграційного періоду через територію лиману пролітають численні види, зокрема: журавель сірий (*Grus grus*), гуменник (*Anser albifrons*), побережник чорногрудий (*Calidris alpina*). Зимуючі види представлені такими птахами, як: лебідь-шипун (*Cygnus olor*), гуска сіра (*Anser anser*), чернь червоноголова (*Aythya ferina*). Залітні види, що рідко спостерігаються в регіоні, включають: пелікан рожевий (*Pelecanus onocrotalus*), орлан-білохвіст (*Haliaeetus albicilla*) [25].

Таблиця 1.2 - Основні види птахів Бузького лиману

Українська назва	Латинська назва	Екологічна група	Охоронний статус
Сірі чапля	<i>Ardea cinerea</i>	Гніздовий	Звичайний вид
Мала сіра чапля	<i>Egretta garzetta</i>	Гніздовий	Звичайний вид
Крижень	<i>Anas platyrhynchos</i>	Гніздовий/ Зимуючий	Звичайний вид
Лиска	<i>Fulica atra</i>	Гніздовий	Звичайний вид
Журавель сірий	<i>Grus grus</i>	Мігруючий	Охороняється в ЄС
Гуменник	<i>Anser albifrons</i>	Мігруючий/ Зимуючий	Звичайний вид

Українська назва	Латинська назва	Екологічна група	Охоронний статус
Побережник чорногрудий	<i>Calidris alpina</i>	Мігруючий	Звичайний вид
Лебідь-шипун	<i>Cygnus olor</i>	Зимуючий	Охороняється в Україні
Гуска сіра	<i>Anser anser</i>	Зимуючий	Звичайний вид
Чернь червоноголова	<i>Aythya ferina</i>	Зимуючий	Вразливий (IUSN)
Пелікан рожевий	<i>Pelecanus onocrotalus</i>	Залітний	Занесений до Червоної книги України

Українська назва	Латинська назва	Екологічна група	Охоронний статус
Орлан-білохвіст	<i>Haliaeetus albicilla</i>	Осілий/Залітний	Занесений до Червоної книги України
Казарка червоноголова	<i>Branta ruficollis</i>	Зимуючий	Занесений до Червоної книги України

Деякі види птахів, що мешкають у Бузькому лимані, занесені до Червоної книги України, зокрема: казарка червоноголова (*Branta ruficollis*), орлан-білохвіст (*Haliaeetus albicilla*). Для охорони орнітофауни в регіоні створено природоохоронні території, такі як Станіславський та Олександрійський ландшафтні заказники загальнодержавного значення.

Основними загрозами для птахів Бузького лиману є знищення природних біотопів через господарську діяльність, забруднення води та берегової лінії, порушення режиму охоронних територій.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Стаціонарні методи дослідження якості води

Стаціонарний моніторинг якості води Бузького лиману є складовою частиною державної системи спостережень за станом поверхневих вод України. Такий тип моніторингу передбачає систематичне спостереження за станом водного об'єкта у фіксованих точках (постах) за затвердженим графіком, згідно з нормативними методиками. Його здійснення регламентується нормативно-правовими актами, зокрема Постановою Кабінету Міністрів України №758 від 19 вересня 2018 року «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» та відповідними наказами Державного агентства водних ресурсів України (Держводагентства).

Стан водного об'єкту аналізуються за такими основними показниками:

1. фізико-хімічні параметри: температура, водневий показник (рН), розчинений кисень, біохімічне споживання кисню (БСК₅), хімічне споживання кисню (ХСК), концентрації амонійного, нітритного та нітратного азоту, фосфати, мінералізація, хлориди, жорсткість, сухий залишок (табл.1.1);
2. гідробіологічні показники: чисельність та біомаса фітопланктону, зоопланктону, бентосу;
3. мікробіологічні показники: загальні коліформні бактерії, кишкова паличка, лактозопозитивні ентеробактерії.

Таблиця 1.1 - Характеристика впливу фізико-хімічних показників на якість води водних об'єктів

Показник	Характеристика впливу
Температура води	Впливає на розчинність газів, біологічну активність організмів та швидкість перебігу хімічних реакцій у воді
pH (водневий показник)	Визначає кислотність або лужність водного середовища. Оптимальним вважається діапазон значень pH від 6,5 до 8,5
Розчинений кисень (DO)	Має ключове значення для життєдіяльності гідробіонтів. Його нормальний рівень — не нижче 4–6 мг на дм ³
БСК ₅ (біохімічне споживання кисню)	Визначає кількість кисню, яку споживають мікроорганізми протягом 5 діб для розкладу органічних речовин у воді
ХСК (хімічне споживання кисню)	Показує загальну кількість речовин у воді, що окиснюються — як органічних, так і неорганічних
Прозорість (диск Секкі)	Інтегральний показник, який відображає кількість завислих часток, водоростей, глинистих домішок тощо у воді
Жорсткість води	Визначає вміст солей кальцію (Ca ²⁺) та магнію (Mg ²⁺) у воді. Оптимальна загальна жорсткість для більшості водних біоценозів — 1,5–7 ммоль/дм ³ .
Сухий залишок	Це кількість речовин, що залишаються після випарювання води та висушування осаду при температурі 105 °С. Показник характеризує загальну мінералізацію води. Норматив для прісної води зазвичай не перевищує 1000 мг/дм ³ .

Іонний склад і мінералізація характеризують природну або штучно підвищену солоність води. Основні показники цього явища:

- мінералізація: сумарний вміст усіх розчинених речовин (солей); підвищення часто відбувається при зменшенні річкового стоку;

- хлориди: характерні для морських або змішаних вод; їх надмірне накопичення є ознакою морського впливу або забруднення;
- жорсткість: визначається вмістом іонів кальцію та магнію; впливає на біоценози та якість води для господарських потреб;
- сухий залишок: загальна кількість речовин, що залишаються після випаровування зразка води; дає уявлення про загальне мінеральне навантаження.

Гідробіологічний моніторинг включає дослідження фітопланктону, зоопланктону та бентосу. Ці компоненти біоти є чутливими індикаторами трофічного стану водойми та її екологічної рівноваги.

Аналіз фітопланктону дозволяє оцінити ступінь евтрофікації водойми, прозорість води, рівень забруднення тощо. Збір проб здійснюється за допомогою спеціальних приладів — батометрів (типу Рутнера або Молчанова), які дають змогу відібрати воду з різних глибин. У лабораторії зразки концентруються методом відстоювання або центрифугування, після чого проводять якісно-кількісний аналіз. Оцінюється видовий склад, щільність фітопланктонних організмів, а також розраховується біомаса — важливий кількісний показник [27].

Для збору зоопланктону використовуються планктонні сітки з дрібною чарунковою структурою (наприклад, сітка Апштейна), через які пропускається певний об'єм води. Проби консервуються і згодом вивчаються під мікроскопом. Аналіз передбачає визначення чисельності, біомаси та систематичної структури зоопланктонного угруповання, зокрема виділення домінантних форм та індикаторних видів [27].

Ще одним ключовим об'єктом гідробіологічного контролю є бентос — сукупність організмів, що мешкають на дні водойми. Відбір донного матеріалу здійснюється спеціальними дночерпаками або драгами, які охоплюють певну площу субстрату. Після відбору зразки промивають через сита та фіксують формаліном. У лабораторних умовах здійснюється видовий аналіз, визначається чисельність, а також функціональна структура

угруповання (наявність сапробних організмів, фільтраторів, хижаків тощо). Часто застосовуються біоіндикаторні індекси, такі як індекс сапробності Пантле–Бука або індекс різноманіття Шеннона, що дають змогу зробити кількісну оцінку екологічного стану водойми [27].

Загалом, гідробіологічний моніторинг за згаданою методикою дозволяє здійснити інтегральну оцінку стану водного середовища на основі біотичних критеріїв, що є більш стабільними та надійними у порівнянні з миттєвими фізико-хімічними вимірами.

Мікробіологічний моніторинг вод Бузького лиману спрямований на виявлення патогенних мікроорганізмів, які можуть становити загрозу для здоров'я населення та екосистеми. Основними індикаторами мікробіологічного забруднення є загальні коліформні бактерії, *Escherichia coli* та ентерококи, присутність яких свідчить про фекальне забруднення водного середовища.

Відбір проб для мікробіологічного аналізу здійснюється з дотриманням суворих санітарних норм. Зразки води об'ємом 100 мл відбираються в стерильні контейнери та доставляються до лабораторії протягом 2–4 годин для забезпечення достовірності результатів. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризик зміни мікробіологічного складу проби до моменту аналізу.

Для виявлення загальних коліформних бактерій та *E. coli* широко використовується метод Colilert-18, розроблений компанією IDEXX. Цей метод базується на ферментативній активності специфічних ензимів та дозволяє одночасно виявити обидва типи бактерій. Процедура передбачає додавання реагенту до зразка води, після чого суміш інкубується при температурі 35°C протягом 18-22 годин. Результати оцінюються за зміною кольору: жовтий колір свідчить про наявність загальних коліформ, а жовтий колір з флуоресценцією – про присутність *E. coli*. Цей метод є міжнародним стандартом ISO 9308-2:2012 для визначення загальних коліформних бактерій та *E. coli* у воді [27].

Регіональний офіс водних ресурсів (РОВР) у Миколаївській області є ключовою установою, відповідальною за проведення моніторингу якості води в басейні річки Південний Буг та безпосередньо вод Бузького лиману. Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів РОВР здійснює відбір проб води на визначених створах та проводить аналіз за широким спектром показників, включаючи фізико-хімічні, гідробіологічні та мікробіологічні параметри.

Миколаївський обласний центр з гідрометеорології, який входить до структури Українського гідрометеорологічного центру, також здійснює спостереження за станом Бузького лиману. Схема розташування станцій спостереження представлена на рис. 2.1. У даній роботі було розглянуто водне середовище в межах станцій 89, 66, 67, 68, 69 та 60 як єдиного гідрологічного комплексу (включно з ділянками вище, в межах та нижче м. Миколаїв) – Бузького лиману (за програмою, наведеною у таблиці 2.1) [2].

Основна увага приділяється гідрологічним параметрам, таким як рівень води, температура, швидкість течії, а також деяким фізико-хімічним показникам. Дані, зібрані центром, використовуються для прогнозування гідрологічних умов та попередження про можливі надзвичайні ситуації, пов'язані з водним режимом.

Ефективність моніторингу якості води забезпечується тісною взаємодією між різними установами, тому РОВР у Миколаївській області та Миколаївський обласний центр з гідрометеорології обмінюються даними та координують свої дії для забезпечення повноти та достовірності інформації.



Рисунок 2.1. Схема розташування гідрохімічних станцій (пунктів) у Дніпро-Бузькому лимані [2]

Контрольні станції I категорії призначені для моніторингу стану води в лимані та гирлових ділянках річок, що розташовані у прибережній зоні з важливим соціально-економічним значенням. Такі пункти спостереження зазвичай встановлюються в місцях водокористування населення, на ділянках нересту, нагулу та сезонного скупчення риби й інших гідробіонтів, у портових і припортових акваторіях, поблизу скидання стічних вод із міських систем, промислових підприємств та аграрних комплексів, а також у гирлах річок [2].

Станції II категорії орієнтовані на контроль якості води в прибережних районах, а також у відкритій частині лиману та гирлових зонах річок. Їх основна мета — дослідження сезонних та річних коливань рівня забрудненості водного середовища [2].

Пункти спостереження III категорії зосереджені переважно у відкритих частинах лиману та гирлах річок. Вони слугують для аналізу річної динаміки забруднення морських вод, а також використовуються для розрахунків хімічного балансу у водному середовищі [2].

Таблиця 2.1 – Програма гідрохімічних спостережень у Бузькому лимані [2].

Станція	Періодичність відбору проб	Категорія	Показники
89	квітень – жовтень	II	рН, розчинений кисень, хлориди (солоність), нітрити, нітрати, азот амонійний, азот загальний, фосфати, фосфор загальний, кремній, загальна лужність, синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли, кальцій, магній, жорсткість, сульфати
66	щодавно	I	
67	щодавно	I	
68	щодавно	I	
69	лютий, травень, серпень, жовтень	III	
60	квітень – жовтень	II	

Забір проб води для подальшого аналізу здійснюється із застосуванням спеціалізованого обладнання — батометрів різних типів. Зокрема, для вивчення таких показників, як солоність, вміст розчиненого кисню та азотистих сполук, використовувався металевий батометр моделі БМ-48. У випадках, коли необхідно дослідити наявність нафтопродуктів, фенолів або синтетичних поверхнево-активних речовин, застосовують батометри з пластику великої місткості (об'ємом від 7 до 10 літрів).

Відбір зразків проводився у фіксованих контрольних точках, рівномірно розміщених по акваторії лиману (таблиця 2.2) [2]. Особливості різних типів водойм диктують специфіку методів відбору проб, тож процедура добору зразків адаптується відповідно до гідрологічних умов конкретного водного об'єкта.

Таблиця 2.2 – Станції (пункти) моніторингу хімічного забруднення вод
Бузького лиману

Стан- ція	Координати		Гли- бина (м)	Кате- горія	Орієнтири
	широта	довгота			
89	47°01'15"	31°57'55"	4,5	II	Станція розташована в гирлі річки Південний Буг на 4,5 км вище автодорожнього «Варварівського» мосту (буй 6), у районі села Матвіївка, вище міста Миколаєва.
66	46°58'42"	31°59'48"	9,0	I	Розташована в гирлі річки Інгул, у районі набережної м. Миколаїв, вище автодорожнього «Інгульського» мосту та на 50 м нижче понтонного (пішохідного) мосту.
67	46°59'00"	31°58'00"	8,5	I	Розташована в Бузькому лимані (буй 2) безпосередньо в районі автодорожнього «Варварівського» мосту в межах міста Миколаєва.

Стан-	Координати		Гли-	Кате-	
ція 68	46°56'48"	31°59'36"	бина 7,5 (м)	горія 1	Орієнтири Розташована в Бузькому лимані неподалік берегів морського порту в межах м. Миколаєва.
69	46°53'42"	31°56'18"	11,0	III	У південній частині Бузького лиману, район Волоської коси (буй 80), поблизу села Парутино, за межами міста Миколаєва.
70	46°55'18"	32°01'30"	3,5	II	У Бузькому лимані поблизу села Радісний Сад (буї 127– 128), у межах міста Миколаєва.

Репрезентативна проба – це зразок води, який найбільш повно відображає її якість за певним показником. Така проба вважається типовою і не зазнає суттєвих змін під впливом концентраційних чи інших зовнішніх чинників [26].

2.2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями

Для комплексної характеристики стану водних об'єктів і визначення рівня їхнього забруднення на пунктах гідрологічного спостереження застосовується Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (далі – Методика). Цей документ затверджений наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 31 березня 1998 року № 44. Методика погоджена з

Держкомгідрометом та Держводгоспом і офіційно запроваджена до використання з 1 січня 1999 року. Її положення відповідають вимогам чинного природоохоронного законодавства, зокрема статті 20 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», нормам Водного кодексу України та постанові Кабінету Міністрів України від 19 березня 1997 року № 244.

У структурі Методики представлена система класифікації якості водних ресурсів, а також алгоритм оцінювання. Вона є базовим документом для розробки програм моніторингу, аналізу екологічного стану поверхневих вод і формування інформаційного фонду щодо їх якості. Вона застосовується до всіх типів поверхневих вод України, зокрема до естуаріїв та лиманів, а також дозволяє не лише порівнювати якість вод у різних частинах одного водного об'єкта, а й відстежувати динаміку змін у часовому вимірі. Щодо Бузького лиману, дана система є інструментом для аналізу антропогенного навантаження на гідроекосистему, встановлення тенденцій забруднення, а також для оцінювання водних ресурсів у контексті соціальних та економічних викликів, пов'язаних із забезпеченням екологічної безпеки.

Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод базується на трирівневому підході, який охоплює три основні групи показників: блок сольового складу (I_1), блок трофо-сапробіологічних або еколого-санітарних характеристик (I_2) і блок специфічних токсичних речовин (I_3). Загальний стан водного об'єкта визначається через інтегральний екологічний індекс (ІЕ), що узагальнює значення кожного з трьох блоків.

До першого блоку (I_1), що характеризує сольовий склад, входять такі параметри, як вміст хлоридів і сульфатів, а також загальний рівень мінералізації води.

У таблицях 2.3–2.6 наведено екологічну класифікацію якості вод суші та естуаріїв, зокрема за мінералізацією, складом основних іонів, ступенем органічного забруднення (трофо-сапробністю), а також за вмістом токсичних речовин.

Окремо подані критерії оцінки якості для прісних вод із низькою солоністю (гіпо- і олігогалинні типи) та для солонуватих вод середньої солоності (β-мезогалинних) залежно від ступеня забруднення їх сольовими компонентами.

Таблиця 2.3 – Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації

Категорія якості	Клас якості	Мінералізація (г/дм ³)
Прісні (I)	гіпогалинні-1	< 0,50
	олігогалинні-2	0,51 – 1,00
	мезогалинні-3	1,01 – 5,00
Солонуваті (II)	мезогалинні-4	5,01 – 18,00
	полігалинні-5	18,01 – 30,00
Солоні (III)	еугалинні-6	30,01 – 40,00
	ультрагалинні	> 40,00

Таблиця 2.4 – Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критеріями іонного складу

Клас	Гідрокарбонати (C)			Сульфатні (S)			Хлоридні (Cl)		
Група	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
Тип	I II III	I II III	I II III	II III IV	II III IV	I II III	II III IV	II III IV	I II III

Таблиця 2.5 – Класифікація якості прісних гіпо- та олігогалинних вод
за критеріями забруднення компонентами сольового складу

Клас якості		I	II		III		IV	V
Категорія якості		1	2	3	4	5	6	7
Показ- ники, мг/дм ³	Сума іонів	<500	501- 750	751- 1000	1001- 1250	1251- 1500	1501- 2000	>2000
	Хлориди	<20	21- 30	31-75	76- 150	151- 200	201-300	>300
	Сульфати	<50	51- 55	76- 100	101- 150	151- 200	201-300	>300

Таблиця 2.6 – Класифікація якості солонуватих β -мезогалинних вод
за критеріями забруднення компонентами сольового складу

Клас якості		I	II		III		IV	V
Категорія якості		1	2	3	4	5	6	7
Показ- ники, мг/дм ³	Сума іонів	1000- 1500	1501- 2000	2001- 2500	2501- 3000	3001- 3500	3501- 4000	>4000
	Хлориди	<200	201- 400	401- 600	601- 800	801- 1000	1001- 1200	>1200
	Сульфати	<400	401- 800	801- 900	901- 1000	1001- 1100	1101- 1200	>1200

Таблиця 2.7 – Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв
за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями

Клас якості	I	II		III		IV	V
Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
Гідрофізичні: Завислі речовини, мг/дм ³	>5	5-10	11-20	21-30	31-50	51-100	>100
Прозорість, м	>1,50	1-1,50	0,65- 0,95	0,50- 0,60	0,35- 0,45	0,20-0,30	<0,20
Гідрохімічні: рН	6,9-7,0 7,1-7,5	6,7-6,8 7,6-7,9	6,5-6,6 8,0-8,1	6,3-6,4 8,2-8,3	6,1-6,2 8,4-8,5	5,9-6,0 8,6-8,7	<5,9 >8,7
Азот амонійний, мг/дм ³	<0,10	0,10- 0,20	0,21- 0,30	0,31- 0,50	0,51- 1,00	1,01- 2,50	>2,50
Азот нітритний, мг/дм ³	<0,002	0,002- 0,005	0,006- 0,010	0,011- 0,020	0,021- 0,050	0,051- 0,100	>0,100
Азот нітратний, мг/дм ³	<0,20	0,20- 0,30	0,31- 0,50	0,51- 0,70	0,71- 1,00	1,01- 2,50	>2,50
Фосфор фосфатний, мг/дм ³	<0,015	0,015- 0,030	0,031- 0,050	0,051- 0,100	0,101- 0,200	0,201- 0,300	>0,300
Розчинений кисень, мг/дм ³	>8,0	7,6-8,0	7,1-7,5	6,1-7,0	5,1-6,9	4,0-5,0	<4,0
% насичення	96-100 101-105	91-96 106-110	81-90 111-120	71-80 121-130	61-70 131-140	40-60 141-150	<40 >150
Перманганатна окислюваність, мг/дм ³	<3,0	3,0-5,0	5,1-8,0	8,1- 10,0	10,1- 15,0	15,1- 20,0	>20,0
Біхроматна окислюваність, мг/дм ³	<9	9-15	16-25	26-30	31-40	41-60	>60,0
БСК ₅ , мг/дм ³	<1,0	1,0-1,6	1,7-2,1	2,2-4,0	4,1-7,0	7,1-12,0	>12,0
Гідробіологічні: Біомаса фітопланктону, мг/дм ³	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1- 10,0	10,1- 50,0	>50,0
Індекс самоочищення	1,0	0,9 1,1	0,8 1,2	0,7 1,3-1,5	0,6 1,6-2,0	0,5 2,1-2,5	<0,5 >2,5

Таблиця 2.8 – Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв
за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії

Клас якості	I	II		III		IV	V
Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
Ртуть	<0,02	0,02-0,05	0,06-0,20	0,21-0,50	0,51-1,00	1,01-2,50	>2,50
Кадмій	>0,1	0,1	0,2	0,3-0,5	0,6-1,5	1,6-5,0	>5,0
Мідь	<1	1	2	3-10	11-25	26-50	>50
Цинк	<10	10-15	16-20	21-50	51-100	101-200	>200
Свинець	<2	2-5	6-10	11-20	21-50	51-100	>100
Хром (загальний)	<2	2-3	4-5	6-10	11-25	26-50	>50
Нікель	<1	1-5	6-10	11-20	21-50	51-100	>100
Миш'як	>1	1-3	4-5	6-15	16-25	26-35	>35
Залізо (загальне)	<50	50-70	76-100	101-500	501-1000	1001-2500	>2500
Марганець	<10	10-25	26-50	51-100	101-500	501-1250	>1250
Флориди	<100	100-125	126-150	151-200	201-500	501-1000	>1000
Ціаніди	0	1-5	6-10	10-25	26-50	51-100	>100
Нафтопродукти	<10	10-25	26-50	51-100	101-200	201-300	>300
Феноли (легкі)	0	<1	1	2	3-5	6-20	>20
СПАР	0	<10	10-20	21-50	51-100	101-250	>250

Другий блок (I_2) — еколого-санітарний — охоплює речовини, які є показниками евтрофікації та органічного забруднення. До нього входять: амонійний азот, нітрити, нітрати, фосфати, біохімічне споживання кисню протягом п'яти діб ($БСК_5$), розчинений кисень, завислі речовини та водневий показник (рН). Їх значення розглядаються відповідно до екологічних нормативів, наведених у таблиці 2.7.

Середні показники для кожного з трьох блоків індексів якості води розраховують шляхом обчислення середнього арифметичного значення порядкових номерів категорій, які відповідають усім показникам у межах відповідного блоку. При цьому кожна категорія має числовий еквівалент: перша категорія відповідає значенню 1, друга — 2 і так далі за порядком.

На наступному етапі проводиться об'єднана екологічна оцінка водного об'єкта або його окремих ділянок. Це здійснюється шляхом обчислення інтегрального екологічного індексу (I_E), що узагальнює значення всіх блокових індексів. Обчислення інтегрального екологічного індексу (I_E) проводиться за відповідною формулою:

$$I_E = (I_1 + I_2 + I_3) / 3, \quad (2.1)$$

де I_1 — індекс забруднення компонентами сольового складу;

I_2 — індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;

I_3 — індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Інтегральний екологічний індекс якості води, так само як і блокові індекси, розраховується окремо для середнього значення показників та для найгірших (граничних) значень категорій.

Оцінювання екологічного стану поверхневих вод суходолу й естуаріїв України за еколого-санітарними критеріями базується на аналізі середніх і максимально критичних значень показників, що характеризують гідрофізичні, гідрохімічні та бактеріологічні параметри, а також на значеннях сапробіологічних індексів. Встановлені значення дозволяють віднести воду

до певного трофічного рівня та сапробної зони, що вказує на рівень органічного забруднення.

Щодо спеціалізованих критеріїв — таких як токсикологічні та радіологічні показники — екологічна оцінка якості виконується індивідуально для кожного параметра, без узагальнення у середні або інтегральні значення.

Під час проведення екологічної оцінки якості води обов'язковим є порівняння отриманих результатів із встановленими для конкретного водного об'єкта екологічними нормативами. Це дає змогу визначити, наскільки фактичні характеристики води відповідають (або не відповідають) вимогам, передбаченим екологічними стандартами. Такий підхід дозволяє провести об'єктивний аналіз кожного з показників, включених до нормативного переліку для оцінки стану певного водного ресурсу.

До блоку специфічних показників токсичної та радіаційної дії (I_3) входить до восьми окремих індикаторів, важливих для оцінки рівня забруднення води потенційно небезпечними речовинами. Серед них: загальний вміст заліза, мідь, манган, цинк, хром, фенольні сполуки, нафтопродукти та синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР). Відповідні значення та граничні концентрації наведено у таблиці 2.8.

2.3 Дистанційні методи дослідження

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та загострення екологічних проблем стаціонарні методи моніторингу природних систем дедалі частіше демонструють свою обмеженість. Вони залишаються важливим джерелом локалізованих і точних даних, проте їх просторове охоплення, частота спостережень і залежність від людського ресурсу ускладнюють ефективне вивчення динамічних природних процесів. Особливо це стосується таких великих водних об'єктів, як Бузький лиман. У зв'язку з цим дистанційні методи зондування Землі (ДЗЗ), що базуються на використанні супутникових та аерофотознімків, стають незамінним

інструментом для більш ґрунтового аналізу та системного моніторингу. Поєднання ДЗЗ з геоінформаційними системами (ГІС) відкриває нові можливості для комплексної обробки, візуалізації й аналізу просторово-часових даних, що унеможливорюється при виключно стаціонарному підході.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — це метод отримання інформації про об'єкти та явища на поверхні Землі без прямого контакту з ними, за допомогою аналізу електромагнітного випромінювання. У дослідженні водних об'єктів цей метод дозволяє отримувати дані про такі параметри, як температура поверхні води, концентрація хлорофілу, ступінь замулення та інші показники якості води. В свою чергу геоінформаційні системи (ГІС) — це програмно-апаратна система, яка використовується для збору, зберігання, аналізу, моделювання та візуалізації просторових даних. ГІС забезпечує платформу, де дані ДДЗ інтегруються, обробляються та аналізуються.

Однією з ключових переваг використання супутникових знімків є здатність забезпечити одночасне охоплення великих водних територій, що дозволяє отримати просторово узгоджену інформацію про весь об'єкт дослідження. Супутникові зображення містять суцільні дані для кожної точки поверхні, що дозволяє здійснювати детальний аналіз без розривів у покритті. Не менш важливою характеристикою є висока частота оновлення таких даних, яка дає змогу спостерігати за динамічними змінами стану акваторій у реальному часі або з мінімальною затримкою [29].

Систематичне отримання супутникових знімків нашої планети забезпечує космічна програма моніторингу Landsat, що є найдовшим за тривалістю проєктом у сфері дистанційного зондування Землі. Початок проєкту датується 1972 роком, коли було виведено на орбіту перший апарат серії. Супутник Landsat 8 (рис. 2.2), знімки з якого використані у цій роботі, було запущено у лютому 2013 року. Протягом існування проєкту апаратура, розміщена на супутниках, зафіксувала мільярди зображень земної поверхні. Ці знімки є у вільному доступі і становлять безцінну базу для наукових досліджень. Наприклад, Landsat 7 забезпечує отримання зображень у восьми

спектральних каналах із просторовою деталізацією від 15 до 60 метрів на піксель. При цьому інтервал повторного охоплення однієї й тієї ж території становить у середньому 16–18 днів [29].



Рисунок 2.2. Космічний супутник **Landsat 8** [34].

Copernicus — це масштабна ініціатива Європейського Союзу, орієнтована на комплексне спостереження за станом довкілля. Космічна компонента цієї програми координується Європейським космічним агентством (ESA). Основною метою програми є забезпечення постійного та оперативного доступу до інформації для спостереження за екологічним станом планети, а також для потреб цивільної безпеки. Значною перевагою цієї програми є відкритість: усі зібрані дані надаються у вільному доступі, що дозволяє широкому колу користувачів вільно використовувати їх у своїй діяльності. Місія Sentinel забезпечує радарні та мультиспектральні космічні знімки для спостереження за суходолом, океаном та атмосферою. Для гідрологічних досліджень найбільш важливими є супутник Sentinel-2, який забезпечує оптичні знімки з високою роздільною здатністю для моніторингу суші (наприклад, рослинності, ґрунтового покриву, внутрішніх водних

шляхів і прибережної зони), а також Sentinel-3, який забезпечує моніторинг океану та глобальний моніторинг Землі [29].

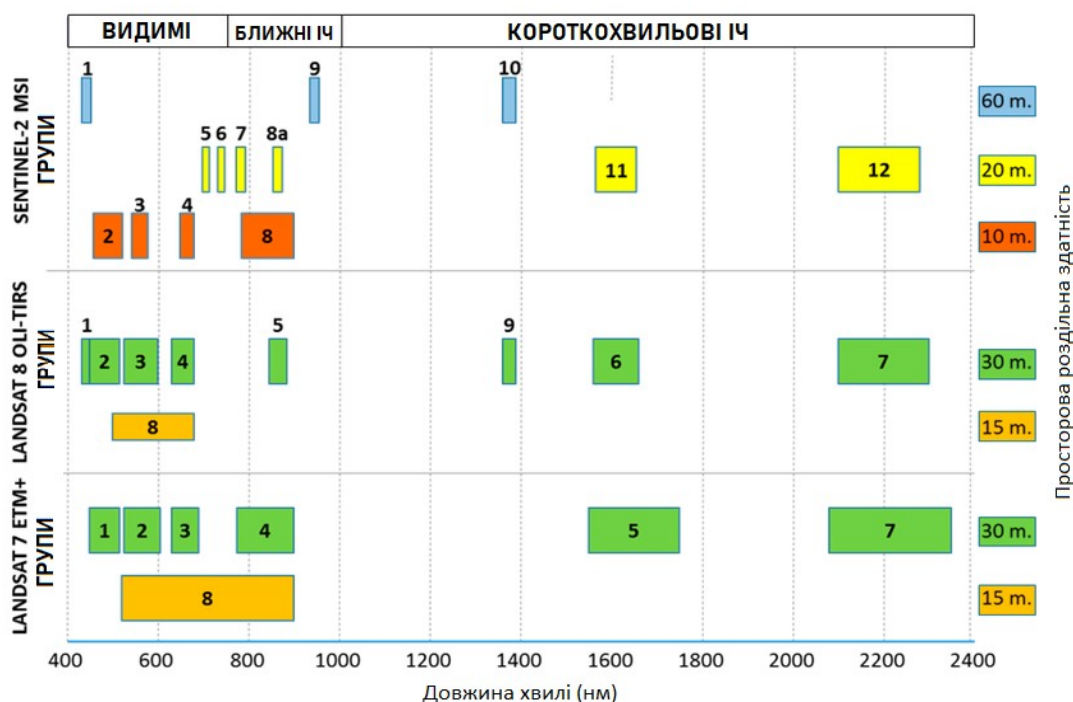


Рисунок 2.3. Порівняння каналів Sentinel-2 та Landsat 7 і 8 [30]

На рисунку 2.3 представлено порівняльну характеристику спектральних каналів супутника Sentinel-2A з відповідними каналами апаратів Landsat 8 і Landsat 7, що ілюструє відмінності та збіги у спектральному охопленні зазначених супутникових систем.

Супутникова платформа Sentinel-2A володіє спектральними характеристиками, які значною мірою подібні до тих, що притаманні апарату Landsat 8, за винятком відсутності каналу теплового інфрачервоного діапазону, присутнього у Landsat. З-поміж одинадцяти спектральних каналів Landsat 8, лише діапазони з номерами 1–4 і 8 охоплюють область видимого спектру, тоді як решта каналів працюють у невидимій частині електромагнітного спектра, тобто у близькому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах. У свою чергу, Sentinel-2 здійснює зйомку у 12 спектральних каналах, забезпечуючи високу якість зображення, особливо в червоному, зеленому, синьому (RGB) та ближньому

інфрачервоному (NIR) діапазонах, які мають просторову роздільну здатність 10 метрів, що дозволяє детально фіксувати об'єкти на поверхні землі.

Програма QGIS – це безкоштовна геоінформаційна система з відкритим програмним кодом і гнучкою системою функціональних модулів, яка підтримується і активно вдосконалюється групою розробників-добровольців. Серед безкоштовних ГІС-програм вона є найбільш універсальною та зручною у використанні. Ця програма дає змогу візуалізувати, редагувати, аналізувати дані, оформлювати карту до друку, а також забезпечує ефективну інтеграцію з іншими відкритими програмними рішеннями, зокрема PostGIS, GRASS і MapServer.

За допомогою даних ДЗЗ на основі оптичного та радарного зондування, можна створювати тематичні карти водозбірних басейнів різного масштабу, що дозволяє визначити рівень антропогенного навантаження на водну систему. У регіоні Бузького лиману такі карти дозволяють виявити порушення природного покриву, оцінити стан прибережних зон та заплав. Наприклад, у межах досліджень, пов'язаних із наслідками руйнування Каховської ГЕС, були побудовані карти затоплення прилеглих територій, зокрема частини Дніпровсько-Бузької гирлової області [31].

Крім того, дистанційні методи активно застосовуються для контролю гідрографічної мережі, в тому числі малих річок, які впадають у Бузький лиман. Це дозволяє своєчасно виявляти порушення у функціонуванні гідротехнічних споруд та динаміку берегової лінії.

Особливе значення має використання ДЗЗ для моніторингу евтрофікації – процесу надмірного накопичення поживних речовин, що спричиняє "цвітіння" води. Зокрема, знімки з супутників Sentinel-2 та Landsat використовуються для виявлення зон інтенсивного розвитку фітопланктону у Бузькому лимані, що є індикатором забруднення води стічними водами з сільськогосподарських і міських територій. Для аналізу такого типу супутникових знімків використовуються різноманітні спектральні індекси.

Зокрема, для аналізу явища евтрофікації в межах Бузького лиману були використані первинні супутникові знімки Landsat-8 (NASA, Геологічна служба США). Опрацювання зображень та подальша інтерпретація результатів здійснювалися в ГІС-програмі QGIS.

Після обробки супутникових знімків було побудовано карту просторового розподілу температури води в акваторії. Крім того, сформовано карту NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), обчислену шляхом комбінування каналів NIR та RED. Цей індекс дозволяє диференціювати об'єкти за рівнем фотосинтетичної активності: негативні значення характерні для водної поверхні, близькі до нуля – для сухої або деградованої рослинності, а позитивні, високі значення – для активної зеленої рослинності.

З метою дослідження взаємозалежності між підвищенням температури та розвитком евтрофікації, у середовищі QGIS було виконано розрахунок нормалізованого відносного альгоіндексу – Normalized Difference Algae Index (NDAI) та індексу каламутності – Normalized Difference Turbidity Index (NDTI) на основі тих самих знімків Landsat-8. Індекс NDAI визначався через поєднання каналів Green, NIR, Blue та Red. Значення NDAI нижче 0,5 вказують на відносно чисту воду, близько 0 — на початкові стадії росту водоростей, а вище 0,5 – на значне “цвітіння” водойми.

Індекс NDTI розраховувався за формулою, що використовує спектральну інформацію з червоного та зеленого каналів. Вищі значення NDTI (наближені до 0) вказують на забруднену або мутну воду, тоді як негативні значення свідчать про чисту та прозору водну поверхню.

Поєднання даних ДЗЗ з ГІС-технологіями створює потужний інструмент для екологічного моніторингу. Дистанційні методи є важливими для ефективності спостереження за динамікою водного режиму, процесами евтрофікації, а також контролю за дотриманням природоохоронного законодавства.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ СЕЗОННОЇ ДИНАМІКИ ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ ВОД БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ЗА ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ 2022-2024 РОКІВ

Бузький лиман зазнає помітних сезонних і міжрічних змін гіdroхімічного режиму. Проаналізовані дані з двох постів моніторингу за 2022, 2023 та 2024 роки дають змогу простежити ключові фізико-хімічні закономірності у зміні якості води, що обумовлюється як природними сезонними чинниками, так і антропогенним навантаженням.

Температура води в літній період сягала 26 °C (пост 1, 2022), що супроводжувалося зниженням вмісту розчиненого кисню до 6,05–6,27 мг/дм³ на обох постах у 2024 р., тобто на межі допустимого значення для водойм рибогосподарського призначення (ГДК – 6,0 мг/дм³). У той же час, фоновий рівень рН залишався стабільно слаболужним (7,8–8,5), що відповідає допустимому діапазону (6,5–8,5), однак верхні значення є сприятливими для розвитку ціанобактерій, які часто домінують у періоди "цвітіння". Фоновий рівень рН залишався стабільно слаболужним (7,8–8,5), що відповідає допустимому діапазону (6,5–8,5), хоча значення >8 сприяють розвитку ціанобактерій та підвищенню токсичності амонійного азоту у вигляді NH₃.

Амонійний азот у літній і весняний періоди фіксувався на рівні 0,32–0,58 мг/дм³ (пост 1, 2024), а в окремих випадках сягав 1,07 мг/дм³ (пост 1, літо 2022). ГДК для амонійного азоту в водоймах рибогосподарського призначення становить 0,39 мг/дм³ або 0,05 мг/дм³ (у перерахунку на NH₄⁺). Таким чином, у ряді сезонів спостерігалось перевищення ГДК у 2–3 рази, що є потенційним джерелом токсичності для водної фауни та каталізатором евтрофікації.

Нітрати (ГДК – 9,0 мг/дм³) коливалися у межах 0,13–7,1 мг/дм³, тому зафіксовані концентрації не перевищували допустимі межі.

Нітрити коливалися в межах 0,025–0,17 мг/дм³ протягом 2022 року, що перевищує гранично допустиму концентрацію для водойм рибогосподарського призначення (0,02 мг/дм³). Пікові концентрації спостерігались восени (пості 2 – понад 0,17 мг/дм³). Це свідчить про посилення мікробіологічного розкладу азотовмісних органічних речовин, зокрема в умовах високої температури та низького вмісту кисню у попередній літній фазі.

Аналогічна ситуація спостерігається щодо вмісту сульфатів (до 697,6 мг/дм³) та хлоридів (до 4759,4 мг/дм³). Згідно з нормативами, ГДК для хлоридів у воді рибогосподарського використання становить 300 мг/дм³, а для сульфатів — 100 мг/дм³. Отже, у літній період значення перевищують нормативи у кілька разів, що вказує на значну концентрацію іонних домішок — як природного (випаровування), так і техногенного походження.

Органічне забруднення, визначене за показниками БСК-5 та ХСК, мало чітку сезонну тенденцію до зростання влітку, що є типовим для періоду інтенсивної біопродукції та розкладання органіки. Пікові значення БСК-5 сягали 17,12 мг/дм³ (пост 2, зима 2023), а ХСК — до 65,91 мг/дм³ (пост 1, осінь 2023), що свідчить про високе антропогенне навантаження та порушення екологічного балансу. Для водойм рибогосподарського призначення рекомендований рівень БСК-5 не повинен перевищувати 3 мг/дм³, отже зафіксовані значення перевищують норму у 2–5 разів.

Сухий залишок у воді лиману, як узагальнений показник мінералізації, мав чітку тенденцію до зростання влітку (до 10 067 мг/дм³ на пості 2, 2024). Відповідно до класифікації вод за мінералізацією, це відповідає високому ступеню солоності (гіпергалінні). Така концентрація значно ускладнює умови життєдіяльності для прісноводних організмів та погіршує умови природного самоочищення водного об'єкта, а також якість води для господарських потреб.

Таким чином, у Бузькому лимані виявлено системні прояви евтрофікації, що посилюються у весняно-літній період внаслідок поєднання

таких факторів, як: підвищена температура, низький рівень розчиненого кисню, перевищення ГДК амонію та нітритів, накопичення органічних речовин (БСК/ХСК), висока мінералізація води.

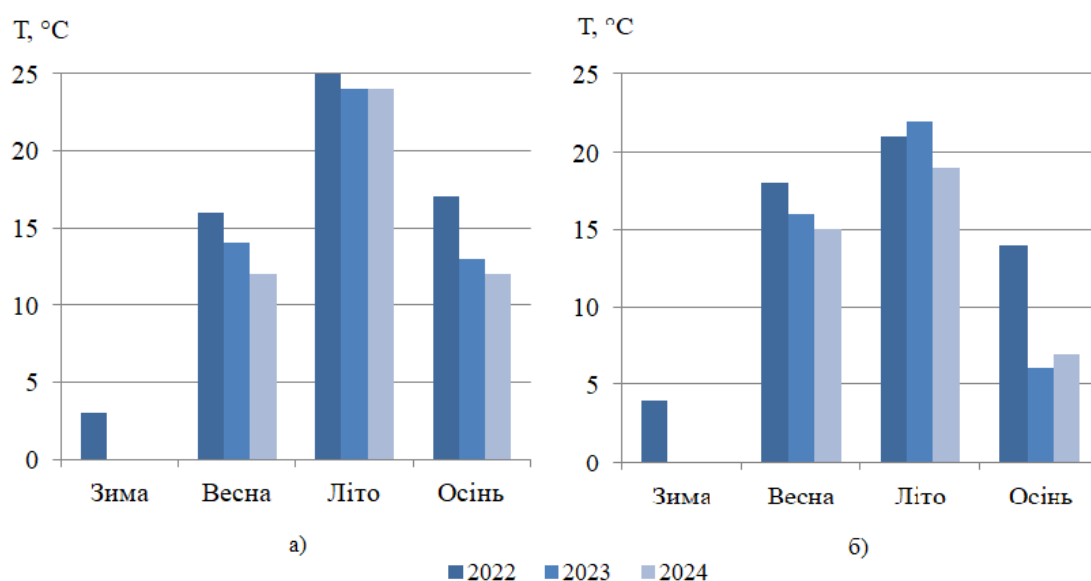


Рисунок 3.1. Температурні показники вод Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

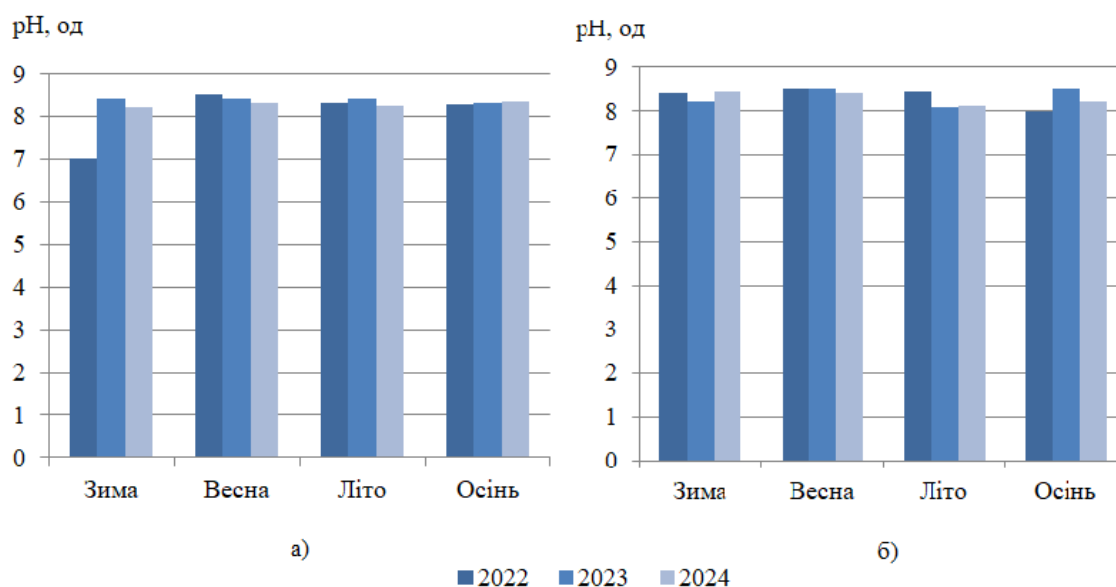


Рисунок 3.2. Показники рН для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

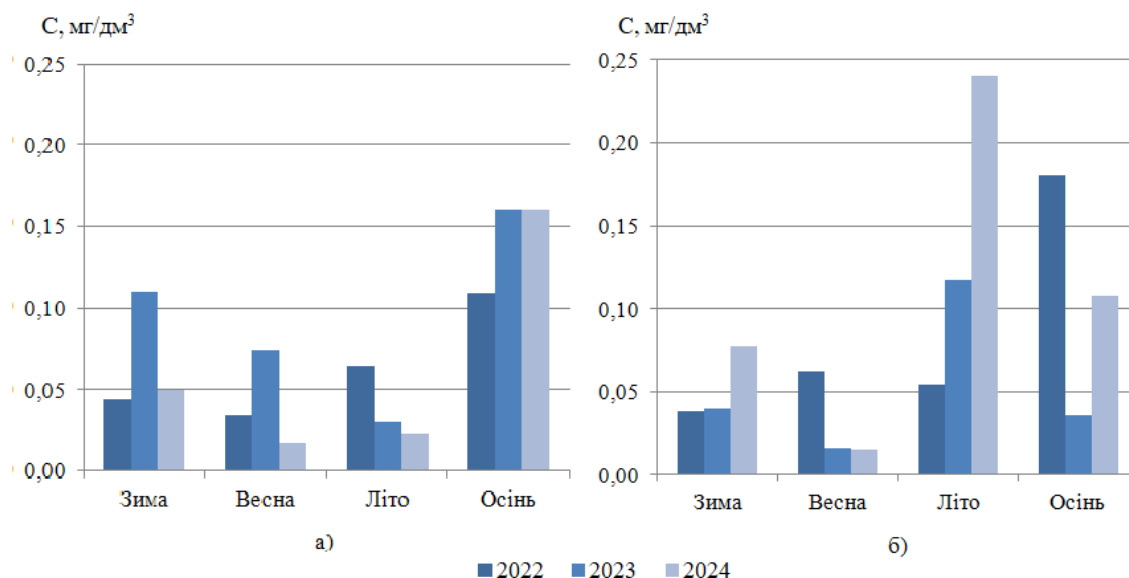


Рисунок 3.3. Показники нітритів для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки:
 а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту);
 б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

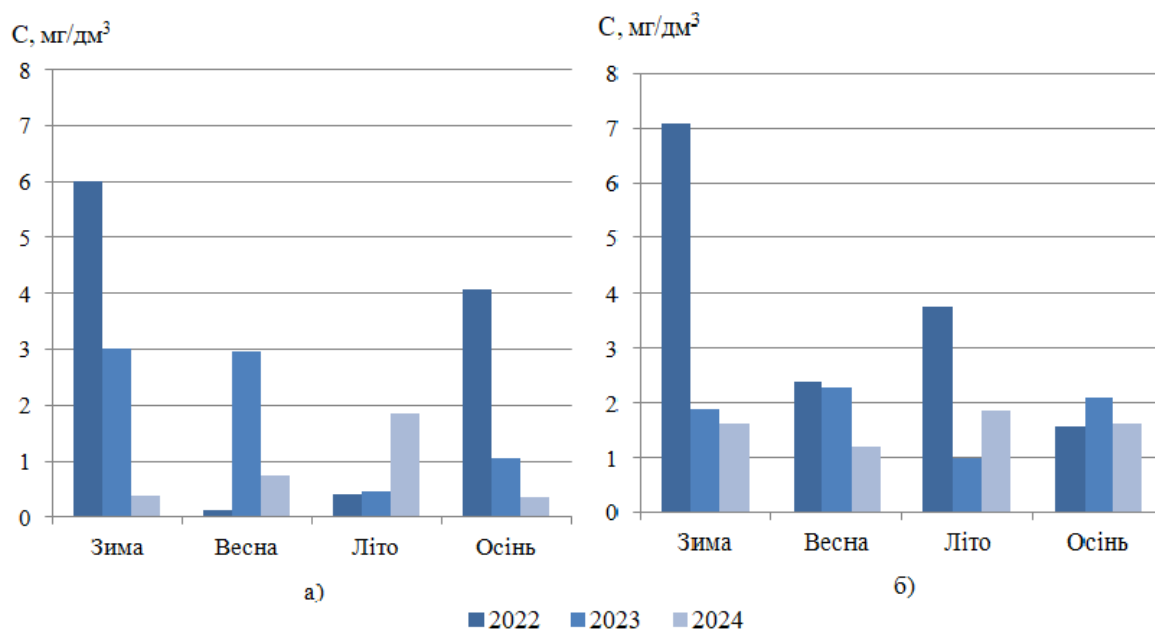


Рисунок 3.4. Показники нітратів для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки:
 а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту);
 б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

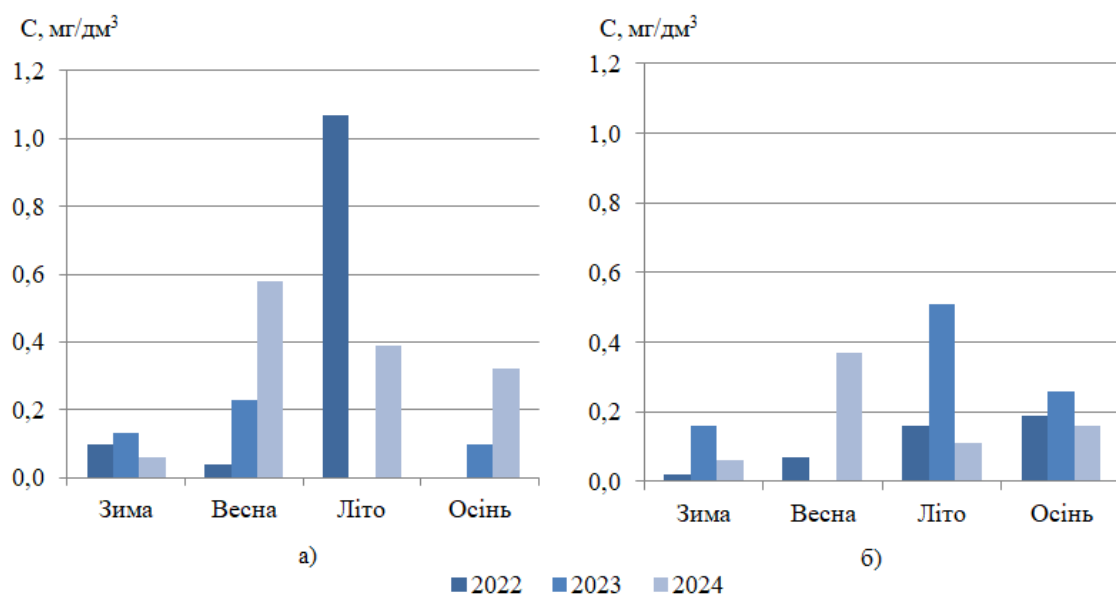


Рисунок 3.5. Показники сольового амонію для Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

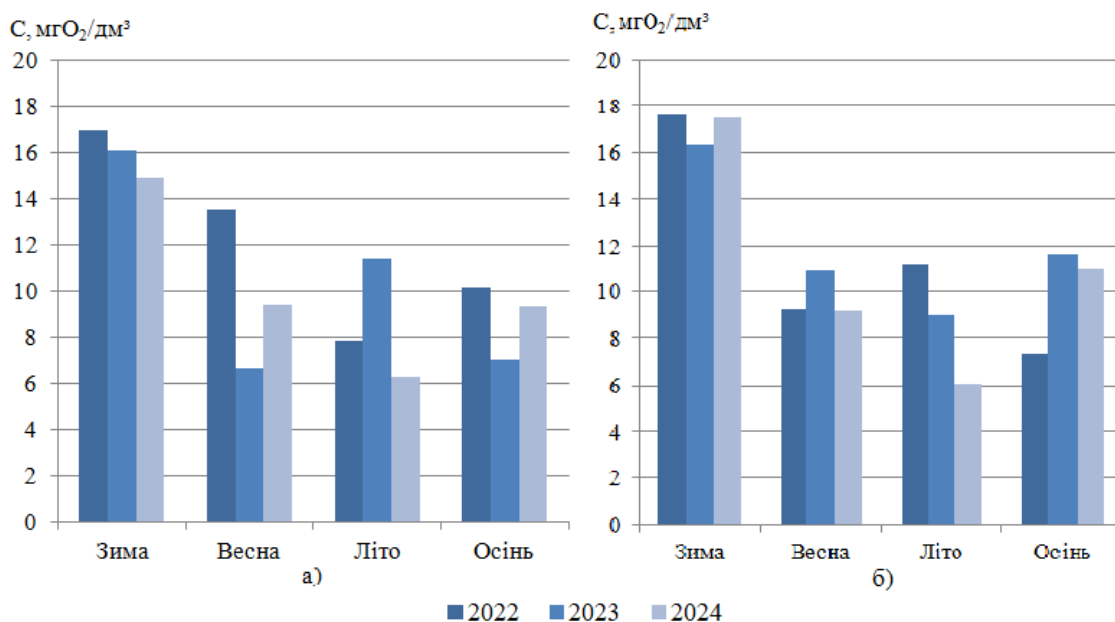


Рисунок 3.6. Показники розчиненого кисню для Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

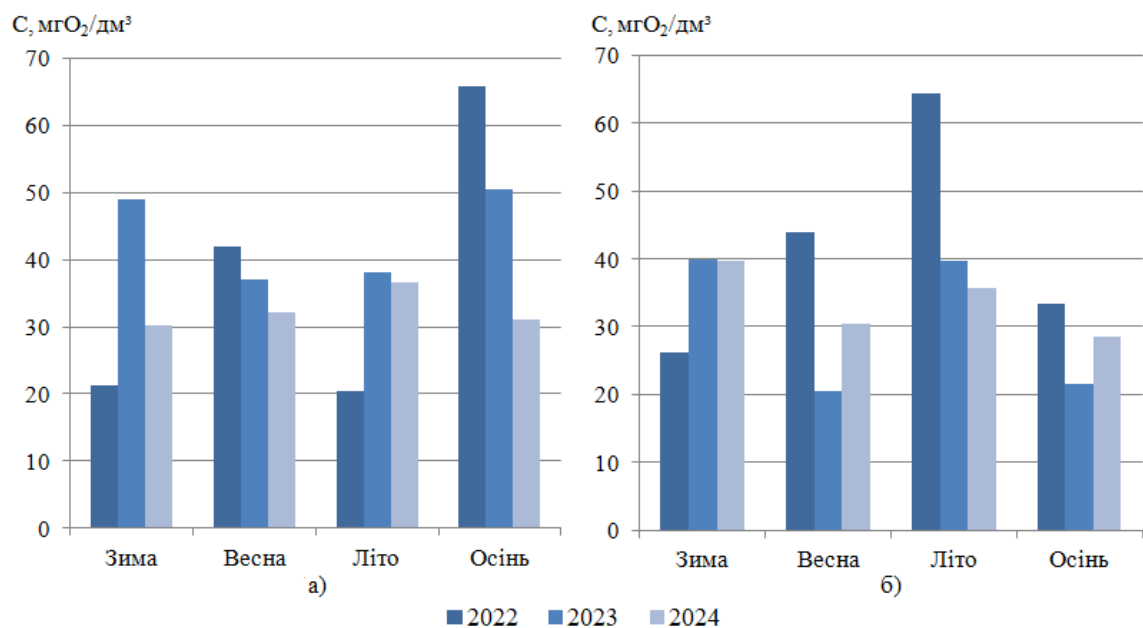


Рисунок 3.7. Показники ХСК для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки:

а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту);

б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

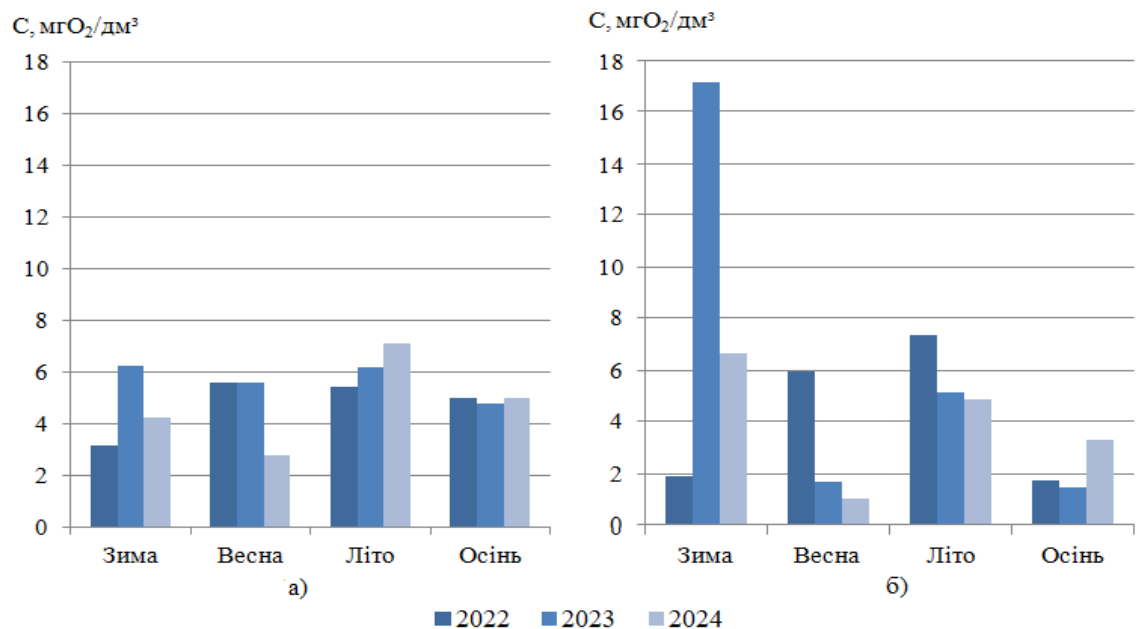


Рисунок 3.8. Показники БСК-5 для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки:

а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту);

б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

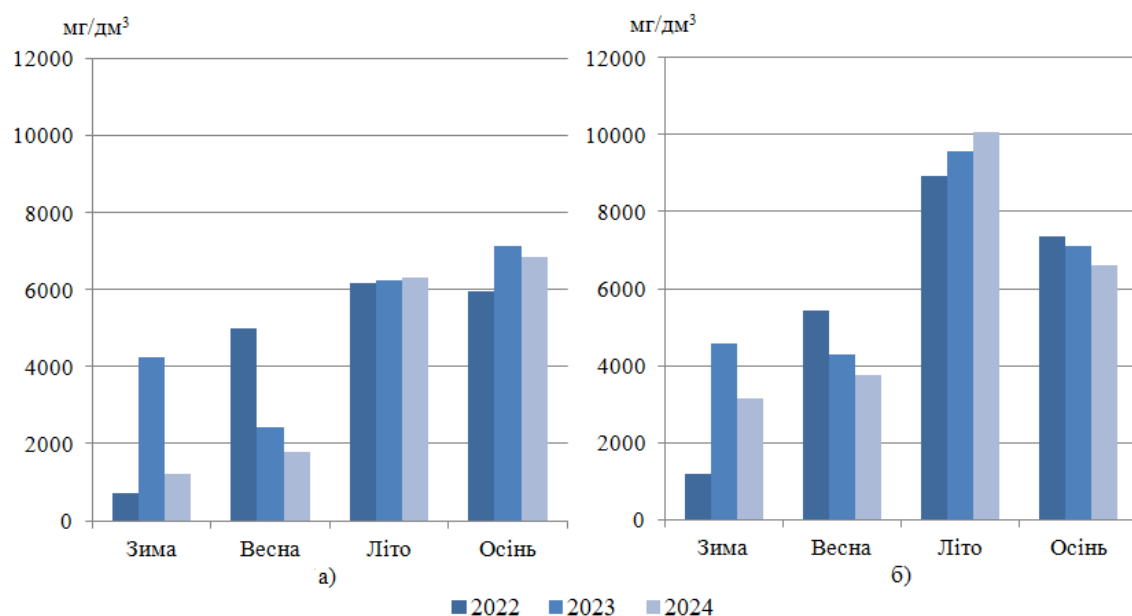


Рисунок 3.9. Показники сухого залишку для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

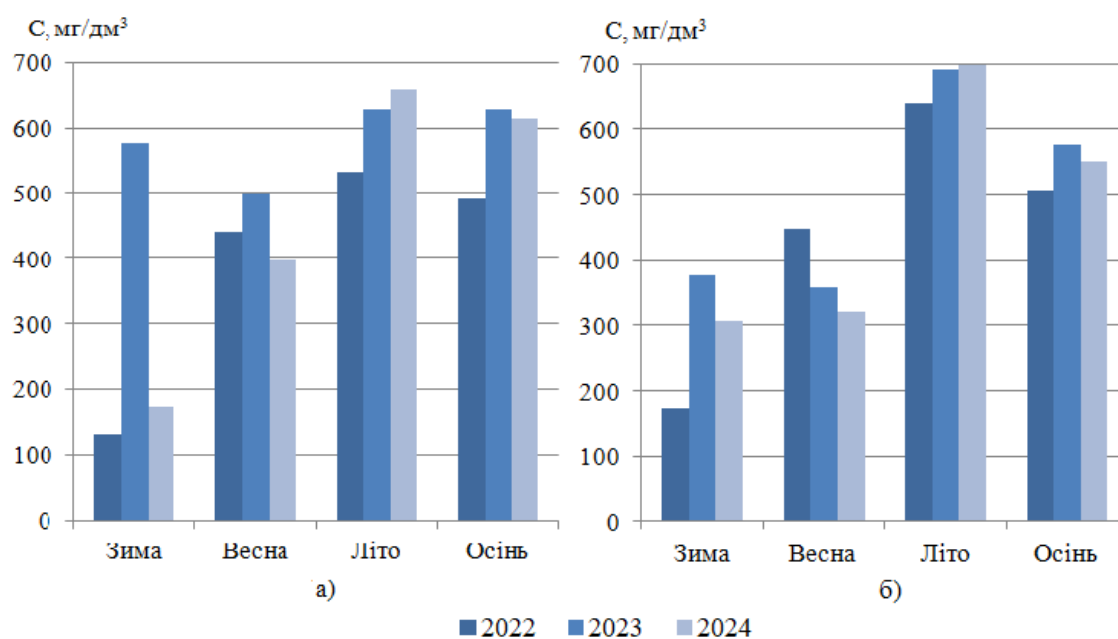


Рисунок 3.10. Показники сульфатів для Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження (в районі Варварівського мосту); б – другий пост спостереження (в районі ТЕЦ)

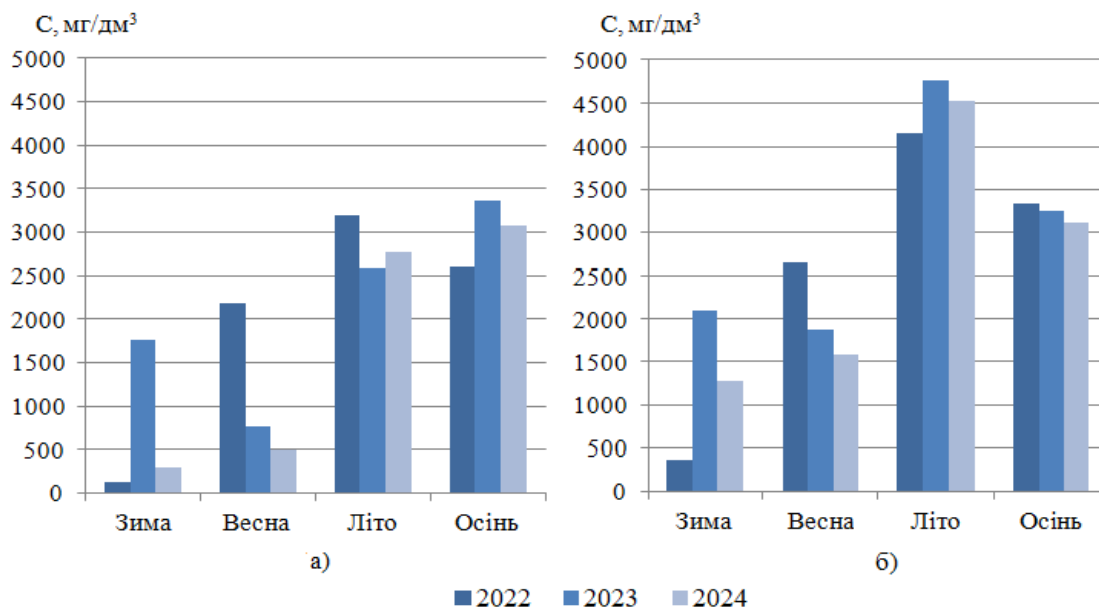


Рисунок 3.11. Показники хлоридів для вод Бузького лиману за 2022-2024 роки: а – перший пост спостереження в районі Варварівського мосту (№ 89); б – другий пост спостереження в районі ТЕЦ

Комплексний аналіз даних із двох постів моніторингу Бузького лиману за 2022–2024 роки засвідчив наявність сезонних закономірностей і міжрічної динаміки фізико-хімічних показників, що безпосередньо впливають на розвиток процесів евтрофікації та екологічну якість водного середовища. У водах Бузького лиману зафіксовано стійке перевищення ГДК за рядом показників: амоній, нітрити, хлориди, сульфати, БСК-5, ХСК. Отримані результати вказують на формування несприятливих умов у теплий період року, які можуть призводити до масового "цвітіння" води. Виявлено взаємозв'язки між основними показниками: температура негативно корелює з вмістом кисню, рН впливає на токсичність амонію, а БСК-5 та ХСК зростають разом із біопродукцією. Найбільше навантаження на водну екосистему спостерігається влітку, коли поєднується вплив високих температур, зниження кисню та зростання органіки. Загальна екологічна ситуація свідчить про системні ознаки евтрофікації, що потребує посиленого моніторингу та розробки заходів зменшення антропогенного навантаження.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Аналіз супутникових знімків Landsat-8 за березень, липень та вересень 2024 року дозволив провести комплексне дистанційне оцінювання екологічного стану Бузького лиману з використанням нормалізованого відносного альгоіндексу (NDAI), індексу каламутності (NDTI) та нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI), які мають високу кореляцію з фізико-хімічними параметрами води. Для дослідження були відібрані дні з мінімальною хмарністю в межах зазначених періодів, що забезпечило високу якість інтерпретації результатів.

Температура поверхневих вод Бузького лиману є ключовим екологічним чинником, що суттєво впливає на сезонну динаміку гідробіологічних процесів. Її просторово-часовий аналіз дозволяє не лише виявити зони найбільшого навантаження, а й поглибити розуміння механізмів евтрофікації та термічної дестабілізації водойми.

На основі просторового розподілу температури води (рис 4.1) встановлено чітку сезонну динаміку. У березні температура поверхневих вод є найнижчою серед усіх досліджених періодів, із середніми значеннями у межах 8–12 °С. Найбільш прогріті ділянки розташовуються у верхній частині лиману — поблизу міста Миколаїв, що пов'язано з меншими глибинами, уповільненим водообміном та тепловим впливом урбанізованого середовища. У центральній та нижній частинах лиману температура є більш однорідною, що свідчить про знижену активність теплових процесів у весняний період.

У липні спостерігається максимальний температурний пік: температура води досягає 30–35 °С, а у прибережних та гирлових зонах — перевищує цей показник. Найвища температура фіксується у верхній ділянці лиману, де також були зареєстровані найвищі значення альгоіндексу NDAI, що свідчить про прямий зв'язок між підвищенням температури води та інтенсивністю цвітіння водоростей. У літній період спостерігається посилення теплової стратифікації, що обмежує вертикальне перемішування води.

У вересні температура води поступово знижується до 22–26 °С, проте зберігається відносно високий рівень теплового навантаження у верхній частині лиману. Це зумовлено затримкою охолодження води внаслідок її високої теплоємності, а також впливом кліматичних умов пізнього літа. Просторовий розподіл температури свідчить про збереження теплової неоднорідності: найтепліші ділянки — прибережні, мілководні та урбанізовані зони.

Оцінка NDVI підтверджує вищенаведені результати (рис. 4.2). У березні індекс фіксує мінімальні значення на всій акваторії лиману, що є характерним для ранньовесняного періоду. У липні спостерігається стрімке зростання NDVI (до 0,4–0,6) у прибережній зоні, зокрема на мілководді, що вказує на інтенсивну вегетацію водної рослинності. У вересні значення NDVI дещо знижуються, але залишаються на рівні, що свідчить про наявність залишкової біомаси.

Індекс каламутності води (NDTI) демонструє подібну динаміку (рис. 4.3). У березні відзначено підвищену каламутність у нижній течії лиману, що може бути пов'язано з впливом весняного стоку. У липні значення індексу значно зростають у ділянках, прилеглих до м. Миколаїв та гирла річки Південний Буг. Це може свідчити як про підвищене надходження завислих речовин, так і про масовий розвиток водоростей. У вересні спостерігається зменшення значень NDTI, що корелює зі спадом сезонної вегетації водної флори.

На підставі аналізу просторового розподілу NDAI (рис. 4.4) встановлено, що у березні рівень біологічної активності у лимані є низьким. Значення NDAI на більшості площ не перевищують 0,2, що свідчить про відсутність масового розвитку фітопланктону. У липні зафіксовано інтенсивне цвітіння води у центральній і верхній частині лиману, зокрема біля гирлових та прибережних зон. Максимальні значення альгоіндексу ($>0,8$) свідчать про високу концентрацію водоростей та активний процес евтрофікації водойми в умовах високих температур та дефіциту опадів. У

вересні індекс поступово знижується, набуваючи середніх значень 0,4–0,6, що вказує на завершення піку біологічної продуктивності та стабілізацію екологічного стану.

Таким чином, застосування супутникових індексів NDAI, NDTI та NDVI дозволило простежити просторово-часову динаміку екологічних процесів у Бузькому лимані. Пікова біологічна активність припадає на липень, тоді як березень і вересень репрезентують періоди відповідно до- та післяактивної фази водної екосистеми. У липні найвища температура корелює з піковими значеннями NDAI ($>0,8$), що вказує на зв'язок між прогріванням води та активним “цвітінням” води. Також спостерігається збіг підвищених температур із зонами високої каламутності (NDTI), що може бути наслідком зростання кількості зважених органічних речовин та водної біомаси. Значення NDVI на найбільш прогрітих ділянках також вищі, що свідчить про прискорену вегетацію водної рослинності за умов підвищеної температури.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ В ЛАБОРАТОРІЯХ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

При виконанні кваліфікаційної роботи визначено шкідливі та небезпечні фактори при аналізі проблеми забруднення. Працівники, що проводять моніторинг та систематизацію даних щодо стану водних ресурсів користуються санітарними нормами, що забезпечують безпеку при надзвичайних ситуаціях.

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які діють на працівника лабораторії обробки даних щодо стану водних ресурсів

В процесі своєї трудової діяльності всі працівники лабораторії обробки та систематизації даних моніторингу про стан водних ресурсів піддаються впливу певних небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До основних виробничих факторів при роботі з комп'ютерною технікою у лабораторії належать:

1. Підвищений рівень електромагнітних випромінювань. Цей фактор може відноситися до роботи з електронною технікою, такої як комп'ютери, монітори, мобільні телефони.

2. Незадовільний мікроклімат у приміщенні. Порушення параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості повітря) призводить до дискомфорту та зниження працездатності персоналу. Для забезпечення безпечних умов праці важливо підтримувати оптимальні параметри мікроклімату за допомогою систем вентиляції, кондиціонування та зволоження повітря.

3. Підвищений рівень шуму або вібрацій у приміщенні. Працівники можуть бути піддані впливу шуму або вібрацій, особливо якщо вони працюють з обладнанням, що генерує шум або вібрації. Для запобігання цьому можна використовувати захисні пристрої, такі як навушники або навушники, а також забезпечити ефективну ізоляцію від джерел шуму або вібрацій.

4. Недостатнє природне або технічне освітлення робочої зони: Недостатня або надмірна яскравість світла, неправильне розміщення джерел освітлення спричиняють зорову втому, зниження концентрації уваги та головний біль. Для усунення цього фактору необхідно організувати комбіноване природне та штучне освітлення згідно з нормативами.

5. Інтенсивність праці. Високий рівень навантаження на центральну нервову систему, монотонність роботи та інші фактори можуть впливати на здоров'я працівників. Необхідно регулярно виконувати перерви, фізичні вправи та забезпечити раціональний режим роботи для запобігання негативним наслідкам.

6. Ураження електричним струмом можуть бути небезпечними та призводити до серйозних травм на робочому місці. Причини уражень електричним струмом можуть включати: неналежне використання, старіння або пошкодження кабелів живлення, що може призвести до витoku електричного струму. Розетки та вилки, які не працюють належним чином, також можуть створювати небезпеку. Якщо ізоляція проводів або електричних пристроїв пошкоджена або зношена, то може виникнути небезпека ураження електричним струмом. Коротке замикання в електричних пристроях може призвести до великої кількості електричного струму, що створює небезпеку для працівників.

Ураження електричним струмом може мати серйозні наслідки.

Електричний струм, що проходить через тіло людини, може призвести до нагрівання тканин, спричиняючи опіки та обвуглення. Проходження електричного струму через тіло може спричинити розкладання рідин у

тканинах, що може вплинути на функціонування органів та тканин. Електричний струм може впливати на нервову систему та інші системи організму, призводячи до різних фізіологічних і патологічних змін.

7. Втома зору є однією з найбільш розповсюджених негативних наслідків роботи, пов'язаної з тривалим використанням комп'ютерної техніки під час обробки та аналізу статистичних даних. Основною причиною цього є надмірне напруження органів зору при безперервному фокусуванні на екрані монітора.

До проявів зорового перенапруження належать: головний біль, погіршення чіткості зображення, відчуття сухості та втоми очей.

У більш складних випадках може розвиватися синдром комп'ютерного зору, що характеризується комплексом симптомів: затуманення зору, двоїння предметів, сухість і подразнення очей, а також больові відчуття в зоні шиї та плечового поясу. Цей стан здатен призводити до суттєвих порушень зорової функції за тривалої відсутності профілактики.

Окрім цього, робота зі статистичними методами та порівняння даних може призвести до ряду інших фізичних та нервово-психічних стресів:

Фізичний стрес: тривале сидіння може призвести до ряду фізичних проблем, включаючи біль у спині, шиї та плечах.

Нервово-психологічний стрес: тривала робота зі статистичними методами та порівняння даних може призвести до ряду нервово-психологічних проблем, включаючи тривогу, депресію та виснаження.

5.2 Вимоги до організації робочих місць користувачів ПК

Робоче місце – це просторова зона дії, оснащена технічними засобами, в якій здійснюється трудова діяльність працівника або групи працівників.

При розміщенні робочих місць з персональними комп'ютерами рекомендується дотримуватись певних відстаней між робочими столами з відеомоніторами. Згідно з нормативними вимогами, відстань між робочими столами з відеомоніторами у напрямі тилу поверхні одного і екрану іншого

повинна бути не менше 2,0 метра. Це допомагає уникнути непотрібного перекриття візуального поля працівників і забезпечити комфортні умови сприйняття інформації [35].

Також рекомендується дотримувати відстань між бічними поверхнями відеомоніторів не менше 1,2 метра. Це дозволяє забезпечити достатнє просторове розташування між екранами, що сприяє зручності сприйняття візуальної інформації та запобігає впливу сусідніх екранів на очі працівників [35].

При розміщенні робочих місць з персональними комп'ютерами в приміщеннях з шкідливими виробничими факторами рекомендується використовувати ізольовані кабінки з організованим повітрообміном. Це допомагає зменшити вплив шкідливих факторів на працівників та створити безпечні умови праці.

Крім того, при виконанні творчої роботи, що вимагає значного розумового напруження або високої концентрації уваги, рекомендується ізолювати робочі місця з персональними комп'ютерами одне від одного за допомогою перегородок висотою 1,5-2,0 метра. Це дозволяє забезпечити незалежність працівників, що сприяє підвищенню продуктивності та якості роботи [35].

Щодо розміщення екрану відеомонітора, рекомендується розміщувати його на відстані 600-700 мм від очей користувача. Проте, відстань не повинна бути менше 500 мм з урахуванням розмірів алфавітно-цифрових знаків і символів на екрані. Це допомагає забезпечити оптимальну зону зорового сприйняття, комфорт при роботі з відеомонітором.

Конструкція робочого столу є одним із ключових елементів правильного облаштування місця для роботи з персональним комп'ютером. Поверхня столу повинна бути достатньо просторою для зручного розташування всіх необхідних технічних засобів: монітора, системного блоку, клавіатури, миші та іншого додаткового обладнання. Оптимальна ширина стільниці має становити не менше 120 см, а глибина — щонайменше

80 см, що дозволяє забезпечити комфортне розташування робочих предметів. Висота стола повинна відповідати фізіологічним особливостям користувача, аби при роботі лікті залишалися на одному рівні зі стільницею, а ноги — вільно стояли на підлозі або підставці.

Конструкція столу повинна бути стійкою і забезпечувати надійне розміщення обладнання без ризику його перекидання чи механічних пошкоджень. Бажаною є можливість регулювання висоти столу, що дозволяє підлаштовувати його під індивідуальні антропометричні параметри працівника, забезпечуючи зручність при зміні положення тіла під час роботи. Для впорядкування кабелів і проводів стіл повинен мати спеціальні технологічні отвори або канали, які сприятимуть охайному розташуванню шнурів та уникненню їх сплутування.

Поверхня столу має бути рівною, матовою, без блиску, що запобігає появі небажаних відблисків від джерел світла на моніторі і, відповідно, знижує навантаження на зір. Для зручності та підвищення ефективності роботи бажано, щоб конструкція столу передбачала додаткові елементи: висувні шухляди, полички чи підставки для зберігання документів та офісного приладдя. Такі доповнення сприяють організації робочого простору, зменшують час пошуку необхідних матеріалів і підвищують загальну продуктивність користувача.

5.3 Розробка заходів техніки безпеки

Для забезпечення безпечної експлуатації електрообладнання на робочому місці необхідно дотримуватись ряду важливих вимог. Перед початком роботи слід ретельно оглядати кабелі живлення, розетки та вилки з метою виявлення можливих механічних пошкоджень або дефектів, що можуть призвести до аварійних ситуацій. Використання несправних або технічно зношених електроприладів категорично забороняється.

Особливу увагу варто приділяти стану ізоляції проводів та електрообладнання: у разі виявлення ознак зношення, тріщин або інших

пошкоджень ізоляційного шару необхідно невідкладно замінити такі елементи для запобігання можливим електротравмам.

В обов'язковому порядку на робочому місці мають бути встановлені засоби захисту від ураження електричним струмом: автоматичні вимикачі, розетки із заземленням, диференційні реле та інші пристрої, що дозволяють знизити ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій.

Крім того, працівники повинні проходити відповідне навчання з електробезпеки та систематично ознайомлюватись з актуальними інструкціями з охорони праці, дотримуючись вимог безпечної експлуатації електротехнічного обладнання у процесі виконання професійних обов'язків.

Загальний принцип полягає в тому, щоб уникати контакту з відкритими струмоведучими частинами та дотримуватись належних заходів безпеки для запобігання ураженню електричним струмом.

Для зменшення зорового напруження та негативного впливу дисплея рекомендується вживати наступні заходи:

- забезпечення належного освітлення робочого місця згідно з нормами та стандартами;
- уникання яскравих плям на робочій поверхні або екрані шляхом правильного розміщення джерел світла та використання антиблікових покриттів на екранах;
- регулярні перерви для очей, під час яких рекомендується зосереджувати погляд на віддалених об'єктах або виконувати вправи для очей. Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 5.1).

З метою зниження ризику виникнення передчасної втоми у працівників, які тривалий час працюють за персональним комп'ютером, доцільно організовувати робочий процес із чергуванням завдань, що потребують використання комп'ютерної техніки, із видами діяльності, які не пов'язані з нею.

Таблиця 5.1 Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I (сумарна кількість прочитуваних знаків за робочу зміну, яка не перевищує 60 тисяч знаків за зміну)	50	80
II (сумарна кількість зчитуваних або введених знаків за робочу зміну, яка не перевищує 40 тисяч знаків за зміну)	70	110
III (сумарний час безпосередньої роботи з ПК за робочу зміну, який не перевищує 6 годин за зміну)	90	140

До обов'язкових профілактичних заходів слід віднести застосування моніторів із високою якістю зображення, достатньою яскравістю та контрастністю, що сприяє зменшенню навантаження на органи зору. Важливим є також забезпечення ефективної вентиляції приміщення, що дозволяє запобігти пересиханню слизових оболонок очей.

Для захисту зору рекомендується використовувати спеціальні антиблікові екрани або окуляри, які знижують негативний вплив світлових відблисків і мерехтіння монітора. Працівникам слід регулярно проходити профілактичні огляди зору та консультиватися з офтальмологом з метою вчасного виявлення можливих порушень та їх корекції.

Комплексне виконання цих рекомендацій сприяє зменшенню втоми очей, підвищенню загального комфорту під час роботи та збереженню працездатності протягом робочого дня.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було реалізовано поставлену мету — проведено оцінку сучасного екологічного стану водних ресурсів Бузького лиману із використанням гідрохімічних методів аналізу та супутникових даних дистанційного зондування. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. Встановлено, що головними природними чинниками, що впливають на гідрохімічний режим Дніпро-Бузького лиману, є стік річки Південний Буг, випаровування та змішування з морськими водами, а серед антропогенних — скиди стічних вод та сільськогосподарське використання прилеглих територій.
2. Проаналізовані багаторічні гідрохімічні показники (2022–2024 рр.) свідчать про стійку тенденцію до зростання концентрацій амонійного азоту, нітратів, хлоридів і сульфатів, що перевищують встановлені ГДК для водойм рибогосподарського та побутового призначення.
3. В результаті аналізу гідрохімічних параметрів вод Бузького лиману встановлено, що сезонна динаміка якості води проявляється при підвищенні температури з одночасним зниженням вмісту розчиненого кисню до критичних значень (6,05–6,27 мг/дм³). Також було зафіксовано періодичне перевищення ГДК за вмістом амонійного азоту (до 1,07 мг/дм³) та нітратів (до 7,1 мг/дм³), що свідчить про значне надходження біогенних речовин з території басейну лиману.
4. Встановлено, що у літньо-осінній період спостерігається збільшення органічного навантаження, що підтверджено зростанням БСК-5 до 17,12 мг/дм³ та ХСК до 65,91 мг/дм³, перевищуючи нормативні значення для водойм рибогосподарського призначення у кілька разів.
5. За даними супутникового моніторингу (Landsat-8) виявлено просторові особливості розподілу температури, каламутності та біологічної активності вод за допомогою індексів NDAI, NDTI та NDVI, що

підтверджують розвиток евтрофікаційних процесів у весняно-літній період. Інтенсивне цвітіння води було виявлено у центральній і верхній частині лиману, зокрема біля гирлових та прибережних зон.

Отже, отримані результати вказують на взаємозв'язок між гідрохімічними характеристиками вод та показниками дистанційного зондування, що підтверджує ефективність комплексного підходу до оцінки стану водних екосистем. Такий підхід дозволяє оперативно визначати «гарячі точки» забруднення та зони ризику деградації екосистем для подальшого планування природоохоронних заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бузький лиман [Електронний ресурс] // *Вікіпедія : вільна енциклопедія*. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бузький_лиман (дата звернення: 12.03.2025).
2. Гур'єва В. В. Оцінка якості води за комплексом гідрохімічних показників у Дніпро-Бузькому лимані : магістерська кваліфікаційна робота / В. В. Гур'єва ; наук. керівник Н. С. Кічук ; Одеський державний екологічний університет. – Одеса, 2018. – 166 с.
3. Бузький лиман [Електронний ресурс] // *Енциклопедія сучасної України*. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-22209> (дата звернення: 13.03.2025).
4. Шуйський Ю. Д., Вихованець Г. В., Панкратенкова Д. О. Вплив гідротехнічного будівництва на трансформацію берегової зони морів України // *Український географічний журнал*. – 2019. – № 4. – С. 33–40. – Режим доступу: <https://ukrgeojournal.org.ua/uk/node/633>
5. Беліцька М. В. Літологія і технологічні властивості донних осадків річок Дніпровсько-Бузького лиману : дис. ... канд. геол. наук : 04.00.21 / М. В. Беліцька ; Ін-т геологічних наук НАН України. – Київ, 2016. – 166 с. – Режим доступу: <https://uacademic.info/ua/document/0416U005599>
6. Іллін Ю. П. Середні багаторічні значення та варіабельність потоків води, солі та розчинених поживних речовин у системі Дніпро-Бузького лиману // *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*. – 2022. – Т. 2, № 2. – С. 71–80.
7. Climate change impacts on the Dnipro-Buh Estuary hydrology and salinity dynamics: a remote sensing analysis [Електронний ресурс] // *Frontiers in Water*. – 2024. – Vol. 6. – Article 1447378. – Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2024.1447378/full>
8. Microclimate of the Dnipro-Buh Estuary: water-air interaction and thermal buffer effect [Електронний ресурс] // *ArcGIS StoryMaps*. – 2023. –

<https://storymaps.arcgis.com/stories/e5ee69c170264066b4d48c02cb455eaa>

9. Strużyński W., Radwan M. Seasonal variation of freshwater inflow and salinity gradients in the Dnieper-Bug Estuary system [Электронный ресурс] // *Oceanologia*. – 2019. – Vol. 61, Issue 4. – P. 543–552. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1642359319300461>

10. Khomenko I., Kurbatova I. Climate variability and water balance dynamics in the Dnipro-Buh Estuary: Landsat 8-based assessment [Электронный ресурс] // *ResearchGate*. – 2019. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/333415021>

11. Seasonal amplitude of temperatures and freezing patterns of the Southern Bug Estuary // *Frontiers in Water*. – 2024. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2024.1447378/full>

12. Greenpeace. DRIVING THE CHANGE: Climate impacts and climate action in Ukraine [Электронный ресурс]. – 2024. – Режим доступа: https://www.greenpeace.org/static/planet4-ukraine-stateless/2024/09/52fb985a-driv_eng_interactive_4web_compressed.pdf

13. World Bank. Climate Knowledge Portal: Ukraine – Climate Data – Historical [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ukraine/climate-data-historical>

14. Climate Change and Environmental Risks in Ukraine // *StoryMaps ArcGIS* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://storymaps.arcgis.com/stories/e5ee69c170264066b4d48c02cb455eaa>

15. ClimatesToTravel. Climate – Dnipro (Ukraine) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.climatestotravel.com/climate/ukraine/dnipro>

16. Weather Spark. Average Weather in Mykolayiv, Ukraine – Year Round [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://weatherspark.com/y/90205/Average-Weather-in-Mykolayiv-Ukraine-Year-Round>

17. Tokarchuk O., Khvesyuk M., Vasylyeva S. The impact of climate change on evaporation from the water surface in Ukraine [Електронний ресурс] // *ResearchGate*. – 2022. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/359857697_The_impact_of_climate_change_on_evaporation_from_the_water_surface_in_Ukraine
18. Ільїн Ю. П. Середній стан та сезонна мінливість структури і динаміки перехідних вод у регіоні Дніпровсько-Бузького естуарію [Електронний ресурс] // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2023. – № 32. – С. 63–79. – Режим доступу: <https://uhmj.org.ua/index.php/journal/article/view/215>
19. Тучковенко Ю. С., та ін. Гідрологічні та гіdroхімічні характеристики Бузького лиману : науковий звіт за держбюджетною темою № 0113U000696 / Одеський державний екологічний університет. – Одеса, 2014.
20. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту Плану управління річковим басейном Причорноморського басейнового управління водних ресурсів [Електронний ресурс]. – Київ : Державне агентство водних ресурсів України, 2021. – 192 с. – Режим доступу: <https://davr.gov.ua/fls18/tt6/ReportCEOPrychornomorya.pdf>
21. Petrov A. V., Prokin A. A., Kulygin S. V. Chironomidae (Insecta: Diptera) fauna of Lower Dnipro. Part 1: Subfamily Tanypodinae [Електронний ресурс] // *ResearchGate*. – 2021. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/348392063_Chironomidae_Insecta_Diptera_fauna_of_Lower_Dnipro_Part_1_subfamily_Tanypodinae
22. Polikarpov G. G., Alokhina T., Gudzenko V., Zheleznyak M. Distribution of radionuclides in modern sediments of the rivers flowing into the Dnieper-Bug Estuary // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 280. – Article 11003. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128011003>

23. Bepalova L., Mankovska E. Environmental features of the Dnieper-Bug estuary: hydrological and ecological aspects // *Journal of Environmental Studies*. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 45–52.

24. Перспективи рибогосподарського використання лиманів північно-західного Причорномор'я : монографія / за ред. В. І. Шевченка. – Одеса : ОДЕКУ, 2021. – 220 с. – Режим доступу: https://eprints.library.odetu.edu.ua/9560/1/Monografiya_Perspekt.rub.vukorus.lum.aniv%20p-z.Pru4ornomorya_2021.pdf

25. Кінбурнська коса – царство птахів / [уклад. В. Домбровський, О. Шевченко, Н. Деркач та ін.]. – Миколаїв: Департамент екології та природних ресурсів Миколаївської ОДА, 2021. – 60 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/file/Kinburn-bird-book.pdf>

26. Хижняк М. І., Євтушенко М. Ю. Методологія вивчення угруповань водних організмів : навч. посіб. / М. І. Хижняк, М. Ю. Євтушенко. – Київ : Український фітосоціологічний центр, 2014. – 269 с.

27. ISO 9308-2:2012. Water quality – Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria – Part 2: Most probable number method [Електронний ресурс]. – Geneva: International Organization for Standardization, 2012. – 15 р. – Режим доступу: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/52246/403ebc91450842448deb731f60824c35/ISO-9308-2-2012.pdf>

28. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксінок, А.В. Яцик. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.

29. 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

30. Pardo-Pascual, J. E., Sánchez-García, E., Almonacid-Caballer, J., Palomar-Vázquez, J. M., Priego de los Santos, E., Fernández-Sarría, A., &

Balaguer-Beser, Á. Assessing the Accuracy of Automatically Extracted Shorelines on Microtidal Beaches from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2 Imagery // Remote Sensing. – 2018. – Vol. 10, No. 2. – Article No. 326.

31. Магась Н. І. Використання методів дистанційного зондування землі (ДЗЗ) для аналізу перебігу затоплення територій = *Application of remote sensing methods for analysing the course of flooding of territories* / Н. І. Магась // Матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці". – Миколаїв : НУК, 2023. – С. 284–287.

32. Лебідь О. Г., Охарєв В. О., Федосєєнков С. Г., Шундель О. І., Теличко Р. І., Клименков О. А. Геоінформаційні технології екологічного моніторингу акваторії Чорного моря після руйнування Каховської ГЕС // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2023. – Вип. 4 (48). – С. 130–144.

33. Landsat 8 [Електронний ресурс] // *Вікіпедія – вільна енциклопедія*. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Landsat_8 (дата звернення: 03 05. 2025).

34. Landsat Data Continuity Mission [Електронний ресурс] // *NASA Landsat Science*. – Режим доступу: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-data-continuity-mission/> (дата звернення: 03.05.2025).

35. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні норми і правила роботи з відеодисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин : затв. наказом МОЗ України від 10.12.1998 р. № 382. – Київ : МОЗ України, 1998. – 18 с.