

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут гідробіології

На правах рукопису

Коржов Євген Іванович

УДК [556.53] (282.247.05)

ГІДРОЛОГІЧНІ УМОВИ
ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
ПОНИЗЗЯ ДНІПРА

11.00.07 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Науковий керівник:
доктор географічних наук, професор
Тімченко Володимир Михайлович

Київ-2016

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА	10
1.1. Фізико-географічна та гідрографічна характеристика	10
1.2. Кліматичні особливості регіону	22
1.3. Загальні відомості про гідрологічний режим	25
2. ЕКОЛОГІЧНА ГІДРОЛОГІЯ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА	34
2.1. Методичні особливості екогідрологічних досліджень	34
2.2. Історія і сучасний стан екогідрологічних досліджень в пониззі Дніпра	39
3. КЛЮЧОВІ ГІДРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА	45
3.1. Зовнішній водообмін руслової та озерної мереж	46
3.2. Динаміка водних мас, як абіотичний компонент екосистеми	56
3.3. Гідрофізичні властивості водних мас пониззя Дніпра	72
3.4. Донні відклади	80
4. ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА АБІОТИЧНІ ТА БІОТИЧНІ КОМПОНЕНТИ ЕКОСИСТЕМИ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА	93
4.1. Зовнішній водообмін елементів водної мережі як фактор формування якості води і стану їх екосистем	93
4.2. Вплив гідродинамічних процесів на функціонування біотичних складових	98

4.3. Роль гідрофізичних властивостей водних мас та донних відкладів у формуванні показників якості води і стану гідробіоценозів 103

5. АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕКОСИСТЕМУ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА ТА МОЖЛИВІ ЗАСОБИ ПОКРАЩАННЯ ЇЇ СТАНУ 110

5.1. Компоненти та динаміка антропогенного навантаження на водні об'єкти регіону 110

5.2. Режим роботи Каховської ГЕС, як основний антропогенний чинник екологічного стану водних об'єктів в сучасний період 119

5.3. Локальні засоби поліпшення стану екосистеми в цілому і її окремих елементів шляхом регулювання гідрологічного режиму 134

ВИСНОВКИ 143

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 146

ВСТУП

Актуальність роботи. Останні найбільш повні комплексні дослідження гідрологічного режиму пониззя Дніпра проводились більш ніж 30 років тому. За цей проміжок часу значною мірою змінився (переважно погіршився) екологічний стан майже всіх водних об'єктів, що входять до складу гідрографічної мережі гирлової ділянки ріки. Сучасні гідроекологічні дослідження фіксують поступові негативні зміни в екосистемах водних об'єктів пониззя Дніпра. Особливо потерпають заплавні водойми та інші елементи придаткової мережі (стариці, затоки, протоки та ін.). Спостерігається евтрофування водних об'єктів, замулення, заростання водною рослинністю, тощо.

Однією з причин таких перетворень, безумовно, є зміни гідрологічних умов функціонування екосистем водних об'єктів гирлової ділянки Дніпра. Тому визначення та кількісна оцінка екологічно значущих елементів гідрологічного режиму стали необхідним компонентом загальних гідроекологічних досліджень пониззя Дніпра.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження по темі дисертаційної роботи проводились на Херсонській гідробіологічній станції НАН України в рамках виконання чотирьох держбюджетних та трьох договірних науково-дослідних робіт:

1) Вплив урбанізації на водні об'єкти пониззя Дніпра та шляхи її зниження (тема №0110U003836, 2010–2013 рр.).

2) Структурно-функціональні зміни в організації угруповань гідробіонтів Дніпровсько-Бузької гирлової області в умовах інтенсивного антропогенного впливу (тема №0111U002025, 2011–2015 рр.).

3) Біологічні особливості екотонних ділянок водних об'єктів пониззя Дніпра (тема №0112U000515, 2012–2016 рр.).

4) Стан слабопроточних водойм пониззя Дніпра та розробка методів його покращення (тема №0113U004336, 2013–2015 рр.).

5) Обґрунтування необхідності проведення робіт і розробка рекомендацій щодо штучного посилення водообміну заплавного комплексу Олешківської ділянки пониззя Дніпра (тема №0114U005555, 2014 р.).

6) Дослідження екологічного стану Стеблійського лиману в умовах антропогенного тиску і розробка рекомендацій щодо підтримання та покращання умов функціонування його екосистеми (тема №0114U004606, 2014 р.).

7) Прогноз впливу будівництва та експлуатації Каховської ГЕС-2 на водні екосистеми Каховського водосховища та пониззя Дніпра (тема №0114U005444, 2014 р.).

Мета та завдання роботи. Мета роботи полягає у визначенні гідрологічних процесів гирлової ділянки Дніпра, які є провідними чинниками формування її екологічного стану в сучасний період. Досягнення цієї мети потребує вирішення наступних задач:

1) визначити та кількісно оцінити найбільш значущі (ключові) гідрологічні фактори, що впливають на екологічний стан та якість води гирлової ділянки Дніпра;

2) дослідити складові водного балансу та показники зовнішнього водообміну руслової мережі та водойм пониззя Дніпра, що є найбільш значущими факторами формування їх екологічного стану;

3) оцінити гідродинамічні процеси у водоймах та водотоках і їх вплив на життєдіяльність гідробіонтів;

4) дослідити основні показники гідрофізичних властивостей водних мас різних елементів гідрографічної мережі, їх основні часові зміни та роль у формуванні екологічного стану пониззя Дніпра;

5) дослідити особливості формування та екологічну ролі донних відкладів гирлової ділянки Дніпра;

б) вивчити характер та механізми впливу різних ключових гідрологічних факторів на біотичну складову та абіотичні компоненти екосистеми пониззя Дніпра;

7) Розробити рекомендації щодо збереження біорізноманіття, відтворення та розвитку водної екосистеми пониззя Дніпра шляхом регулювання ключових елементів гідрологічного режиму.

Об'єкт дослідження – руслова мережа та водойми гирлової ділянки Дніпра – від нижнього б'єфу Каховської ГЕС до Дніпровсько-Бузького лиману.

Предмет досліджень – гідрологічний режим гирлової ділянки Дніпра.

Методи досліджень. При виконанні робіт за темою дисертації використовувались загально прийняті в гідрології методи, натурні, лабораторні та розрахункові методичні підходи, що використовують при екогідрологічних дослідженнях водних об'єктів; методи розрахунку та моделювання гідродинамічних процесів у водоймах. Обробка матеріалів натурних досліджень виконувалась з використанням програм Microsoft Office 7.0, Surfer 7.0, Corel Draw X3 та ін.

Наукова новизна отриманих результатів. На прикладі гирлової ділянки Дніпра застосовано екосистемний підхід до вивчення гідрологічних процесів та параметрів як факторів, що формують стан водних екосистем. До елементів новизни належать наступні розробки дисертаційної роботи:

Вперше:

- визначено проточність та інтенсивність водообміну руслової мережі;
- проведено районування гирлової ділянки Дніпра за гідролого-морфологічними ознаками;
- при дослідженні динаміки водних мас застосовано математичну модель циркуляції вод і доведено її прийнятність для оцінки течій у мілководних водоймах;
- досліджено особливості механізмів впливу гідрологічних факторів на біотичні складові екосистеми крупної ріки (зв'язок між прозорістю води та

біомасою зоопланктону, динамікою водних мас та кількісними показниками фітопланктону тощо);

- визначено аспекти впливу глобального потепління на гідрофізичні властивості водних мас пониззя Дніпра;

- визначено ділянки пониззя Дніпра, де відбулись найбільші природні та антропогенні зміни елементів гідрологічного режиму і, відповідно, екологічного стану;

- розроблено технологію та засоби поліпшення стану екосистем різних типів водних об'єктів пониззя Дніпра шляхом регулювання їх гідрологічного режиму.

Удосконалено:

- методику дослідження динаміки водних мас у мілководних водоймах пониззя Дніпра.

Дістало подальший розвиток:

- застосування екосистемного підходу при дослідженні гідрологічного режиму водних об'єктів;

- аналіз змін водності Дніпра в його гирловій ділянці;

- визначення показників зовнішнього водообміну, їх змін за останні 30 років та аналіз основних причин погіршення водообмінних процесів водних об'єктів пониззя Дніпра;

- дослідження основних гідрофізичних властивостей водних мас та їх вплив на життєдіяльність гідробіонтів і якість водного середовища;

- розгляд особливостей формування донних відкладів руслової мережі та водойм гирлової ділянки Дніпра в сучасний період.

Обґрунтованість результатів досліджень визначається використанням значної кількості матеріалів натурних досліджень гідрологічного режиму та екологічного стану пониззя Дніпра співробітниками Херсонської гідробіологічної станції НАН України, Інституту гідробіології НАН України, а також сучасними методами їх обробки. У роботі використані також матеріали моніторингу вироблення

електроенергії Каховською ГЕС за 1970–2014 рр. та дані щорічних звітів департаменту екології та природних ресурсів Херсонської обласної адміністрації про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області за 2001–2013 рр.

Практичне значення роботи. Рекомендації, що наведені в дисертаційній роботі, можуть бути використані при формуванні екологічних вимог щодо режиму роботи Каховської ГЕС та при плануванні заходів поліпшення екологічного стану гирлової ділянки Дніпра шляхом регулювання гідрологічного режиму.

Особистий внесок автора в роботу полягає в персональному зборі, обробці та аналізі первинних матеріалів. Автор брав безпосередню участь в 54-х експедиційних виїздах з метою дослідження гідрологічних, гідробіологічних та гідрохімічних процесів водних об'єктів гирлової ділянки Дніпра. За допомогою даних про внутрішньодобовий хід витрат води та коливань рівня водної поверхні в русловій мережі у різні періоди дослідив зміни у водообмінних процесах водойм пониззя Дніпра за останні 30 років. Провів верифікацію та застосував математичну модель циркуляції вод за методом повних потоків при дослідженні елементів гідродинаміки на мілководних водоймах пониззя Дніпра. При вивченні гранулометричного складу донних відкладів пониззя Дніпра застосував установку, принцип якої полягає у використанні вагового методу седиментаційного аналізу. Виділив основні причини мулонакопичення у водних об'єктах пониззя Дніпра. Провів оцінку впливу зміни режиму роботи Каховської ГЕС на сучасний екологічний стан різних типів водних об'єктів пониззя Дніпра та розробив технологію впровадження найбільш реальних заходів його поліпшення.

Апробація результатів дослідження. Основні досягнення та матеріали дослідження були представлені на: Наукових читаннях присвячених Дню науки (Херсон, травень 2010 р.), П'ятій всеукраїнській науковій конференції «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія» (Чернівці, вересень 2011 р.); Наукових читаннях присвячених Дню науки (Херсон, травень 2011 р.);

Третій міжнародній науковій конференції «Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений» (Херсон, травень 2012 р.); Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Актуальные проблемы современной гидрометеорологии» (Одеса, 2012 р.); Науково-практичній конференції для молодих вчених присвяченій 95-річчю Національної академії наук України «Актуальные проблемы современной гидроэкологии» (Київ, листопад 2013 р.); Наукових читаннях присвячених 95-річчю Національної академії наук України «Экологические исследования Днепро-Бугского региона» (Херсон, листопад 2013 р.); Сьомій міжнародній науковій конференції молодих вчених та талановитих студентів ФДБУН ІВПРАН «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, грудень 2013 р.); Шостій всеукраїнській науковій конференції з міжнародною участю «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології» (Дніпропетровськ, травень 2014 р.); Наукових читаннях присвячених Дню науки (Херсон, травень 2015 р.). Також матеріали та розробки дисертаційної роботи неодноразово відображались засобами масової інформації та висвітлювались в усних доповідях при громадських слуханнях присвячених будівництву Каховської ГЕС-2 (сmt. Козацьке 23.02., м. Нова Каховка 24.02. та м. Херсон 25.02.2015 р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 24 наукових працях, в тому числі в 6 статтях у фахових виданнях, двох монографіях та двох брошурах (у співавторстві), а також в матеріалах і тезах доповідей на наукових та науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. Повний обсяг роботи становить 6,54 авторських аркушів, або 158 сторінок друкованого тексту, включаючи 48 рисунків та 17 таблиць. Список літератури налічує 105 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА

1.1. Фізико-географічна та гідрографічна характеристика

Пониззя Дніпра є особливим географічним водним об'єктом, який розташовується на території Херсонської області, від греблі Каховської ГЕС до східної частини Дніпровсько-Бузького лиману. Його особливість полягає в тому, що формування гідрографічної мережі пониззя обумовлене взаємодією прісних та солонуватих вод. Це зумовлює значне біорізноманіття його екосистеми та важливе господарське значення. Загальна довжина об'єкту складає 98 км, площа – близько 500 км² з русловою ємністю приблизно 0,64 км³.

Територіально пониззя Дніпра (гирлова ділянка) складається з придельтової ділянки та дельти (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема гідрографічної мережі гирлової ділянки Дніпра

Кількість водотоків на території пониззя Дніпра збільшується поступово, зверху вниз по мірі розширення заплави річки. Водойми пониззя, яких нараховується більше 160, переважно невеликі. Більше 90% з них мають площу водного дзеркала менше 0,5 км². Заплава придельтової ділянки зосереджена вздовж основного русла Дніпра (див. рис. 1.1). На дельтовій ділянці заплава представлена численними низькими заболоченими островами, складеними з алювіальних порід.

Придельтова ділянка знаходиться між греблею Каховської ГЭС та вершиною дельти (рис. 1.2). Площа придельтової ділянки складає 145 км², довжина – 47 км. Ширина заплави коливається від 2 до 4 км. Дніпро на всій ділянці тече в порівняно неширокій долині, переважно одним руслом. Основні протоки цієї ділянки – Козак, Казачелагерська Конка, Інгулка. Основні протоки, відгалужуючись від головного русла Дніпра, утворюють великі заплавні масиви та острови, що включають безліч водойм, водотоків та заболочених земель.



Рис. 1.2. Схема розташування масивів придельтової ділянки Дніпра

У трьох кілометрах від греблі на правому березі розташований перший плавневий масив пониззя – Козацький (рис. 1.3). Він з одного боку омивається протокою Козак, а з іншого – основним руслом Дніпра. Площа

масиву близько 25 км². Найбільші водойми – Великі та Малі Дуплечі, Сабецький лиман.

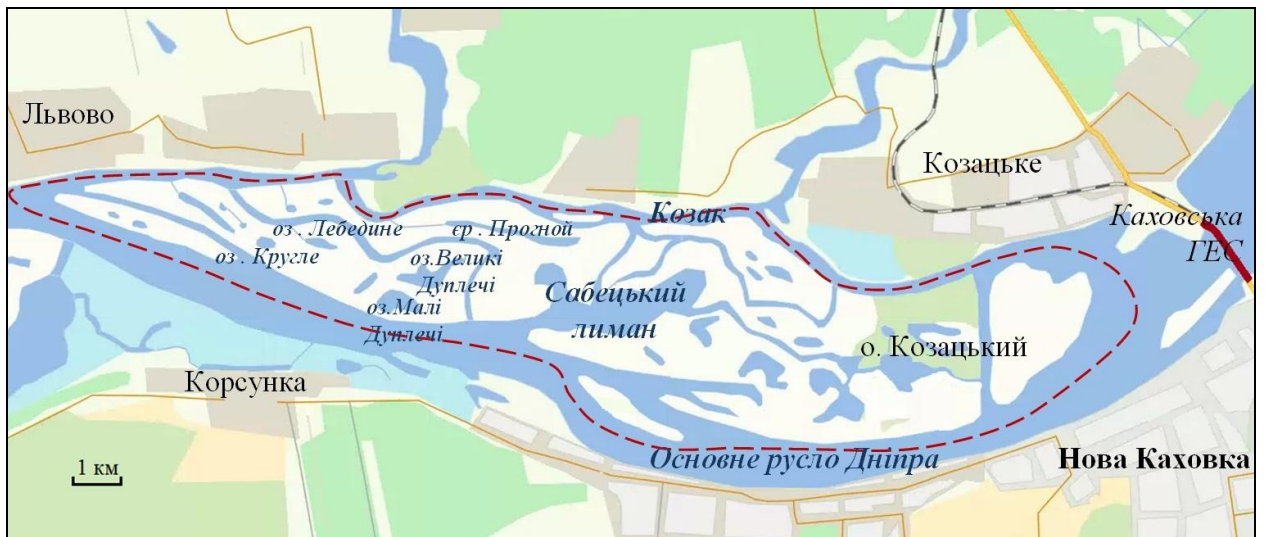


Рис. 1.3. Схема Козацького масиву гирлової ділянки Дніпра. *Примітка:* тут і далі пунктиром позначені межі масиву

Водойми протоки та ерики (далі ер.), що мають безпосередній зв'язок з русловою мережею Дніпра, зарослі вищою водною рослинністю. Озера, що не з'єднані з русловою мережею, є або пересихаючими, або мають виражені ознаки дистрофікації. До них належать озера Малі Дуплечі, Кругле, Лебедине та ін.

Правобережжя придельтової ділянки круте та обривисте, представлене виходом осадових порід. На відстані 27 км від греблі в Дніпро впадає річка Тягинка, утворюючи в місці впадіння невелику заплаву ділянку з косами та затоками, площею 2 км² (рис. 1.4). Біля с. Понятівка протока Інгулка утворює вузьку, витягнуту уздовж русла Дніпра, заплаву ділянку. Максимальна ширина її – 0,9 км, довжина складає 11,5 км, площа – близько 10 км². Найбільшою водоймою тут є озеро Капит. Заплава укрита численною чагарниковою рослинністю та заростями очерету.

Лівобережжя придельтової ділянки полого та являє собою велику заплаву терасу, що розташовується між основним руслом Дніпра та протокою Козачеллагерська Конка (рис. 1.5). Площа цього заплавного масиву більше 50 км². Територія заболочена та рясно насичена дрібними озерами,



Рис. 1.4. Схема правобережжя придельтової ділянки Дніпра



Рис. 1.5. Схема лівобережжя придельтової ділянки Дніпра

площа водного дзеркала яких не перевищує $0,5\text{км}^2$. Основні протоки масиву – Каменіха, Кринка та Конка. Найбільші водойми – оз. Фролово, Казначіївський, Дідов, Мілкий та Глухий лимани. Більшість озер цього масиву не мають зв'язку з Дніпром, але системою проток пов'язані з руслом Казачелагерської Конки.

Виняток становлять оз. Фролово та Казначіївський лиман, що мають зв'язок з руслом Дніпра. Дивергенція водного потоку та інтенсивний водообмін цих водойм спричиняють намівання барів з піску та черепашнику в місцях входу проток до озера. За рахунок надходження та седиментації крупних фракцій ці водойми мілішають. У меженні періоди по всій площі відмічаються локальні мілини та бари.

В інших озерах масиву спостерігається значне (50–70%) заростання вищою водною рослинністю. На початку 70-х років минулого століття цей масив налічував більше 120 озер з площею водного дзеркала менше $0,2\text{ км}^2$. В сучасний період їх кількість складає не більше 80-ти. Деякі ерики, які зв'язували групи озер в середині масиву, заросли чи сформували нові стариці, чого, у попередні роки, не спостерігалось.

Подібні процеси, пов'язані із заростанням та пересиханням невеликих озер, проток та ериків, формуванням стариць, є характерними не лише для цього заплавного масиву, але і для гирлової ділянки Дніпра в цілому.

Дельта Дніпра представлена багаторукавною ділянкою ріки, що включає в себе корінні береги та розташовані між ними плавневі масиви. Вершиною дельти прийнято вважати місце відгалуження першого рукава, нижче якого починається розтікання річкових вод по дельтових водотоках та водоймах [36, 48]. Таким рукавом є Верхня Конка, яка розташована проти села Садове. Площа дельти – 350 км^2 , довжина – 51 км. Долина Дніпра рівномірно розширюється від вершини дельти до гирла, трохи звужуючись (до 6 км) в середній частині. Ширина заплави коливається від 6 до 9 км та на передньому краю складає 12 км.

Річкова мережа дельти характеризується рівномірним збільшенням

кількості водотоків від вершини до гирла. В районі Херсона на лівобережній заплаві протікають дві невеликі протоки – Цюрупинська Конка та Чайка. Нижче Херсона відділяється вправо та протікає біля корінного берега, рукав Кошова. На 21-му км від вершини дельти основне русло ділиться на рукави Вільховий та Старий Дніпро. Через 9 км нижче за течією ці рукави, зливаючись, утворюють острів Великий Потьомкін. На 31-му км від вершини дельти річки Кошова, Вільховий Дніпро та Старий Дніпро зливаються в одно русло, яке через 4 км знову розділяється на два основні рукави: Рвач та Бакай. На лівобережжі протікає рукав Конка, який починається в районі міста Гола Пристань. Нижче за течією, відбувається подальший поділ рукавів на водотоки нижчого порядку, і в лиман Дніпро втікає численними великими та малими протоками [36].

Таке розтікання вод по дельтових водотоках утворює значну кількість плавневих островів, які об'єднуються у великі масиви, розділені між собою основним руслом Дніпра та великими рукавами. Серед основних масивів дельти нами виділені: Цюрупинський, Кардашинський, Херсон-Білозерський, Великий Потьомкінський, Голопристанський та Касперовський (рис.1.6).

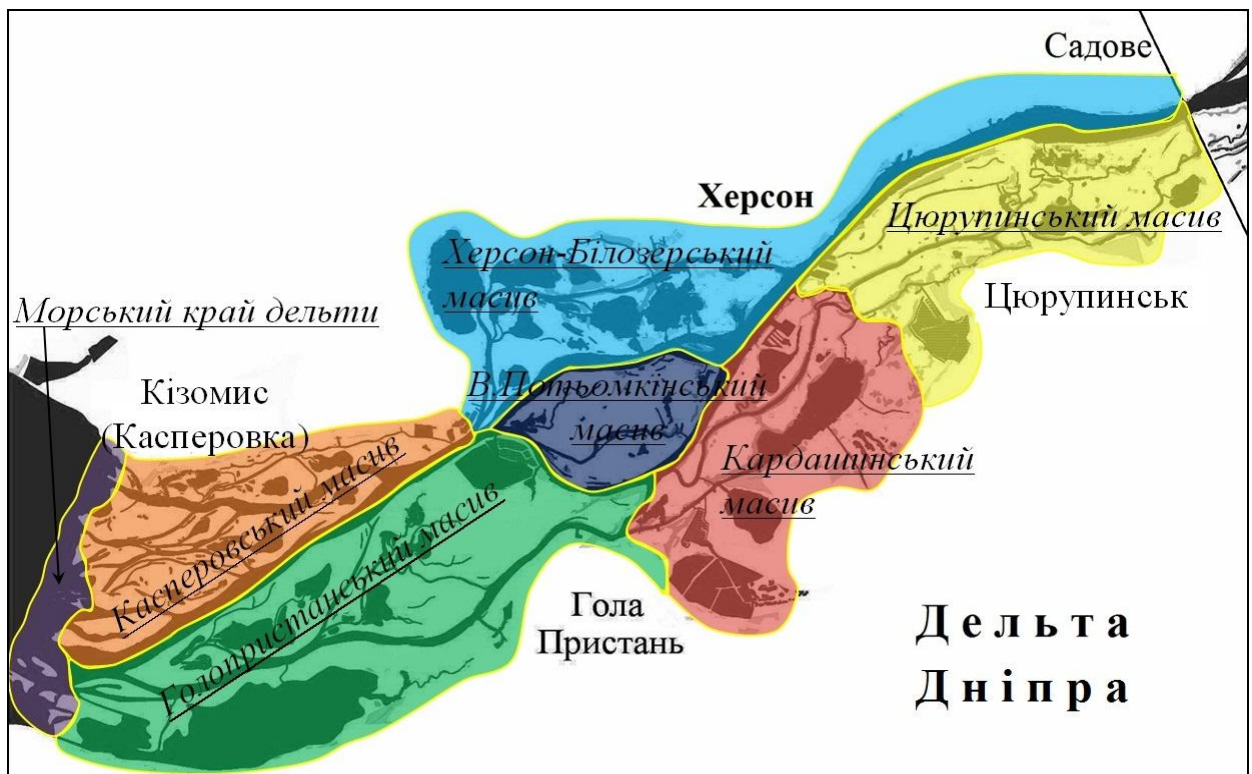


Рис. 1.6. Схема розташування масивів дельти Дніпра

Цюрупинський заплавний масив розташований на лівому березі пониззя Дніпра, його межами є рук. Проріз та протока Перебійна (рис.1.7). Площа масиву складає 55 км². Основні протоки – Цюрупинська Конка (далі Ц. Конка), Перебійна та рук. Проріз. Найбільші озера – Голубов лиман, оз. Вчорашнє. Інші водойми цього масиву за площею не перевищують 0,2 км².

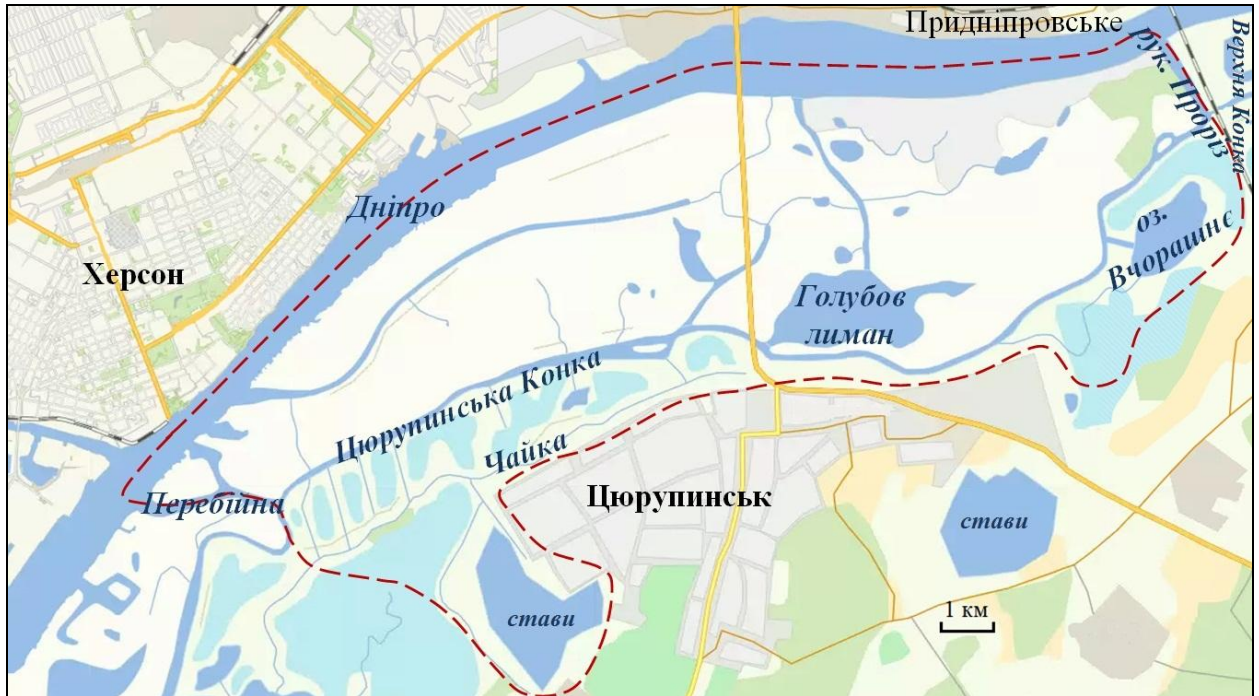


Рис. 1.7. Схема Цюрупинського масиву гирлової ділянки Дніпра

Територія масиву заболочена, включає багато стариць та пересихаючих ериків. Багато водних об'єктів масиву знаходяться під значним антропогенним впливом. Штучний рукав Проріз був прокопаний в 1930 р. у зв'язку з прокладенням залізничного полотна через с. Придніпровське. Цей рукав відокремив від Ц. Конки майже 3,5 км русла, сформувавши протоку Верхня Конка. В нинішній час ця протока звузилась та обміліла внаслідок погіршення її проточності. Однак, пр. Ц. Конка, за рахунок рук. Проріз отримує більшу кількість води, чим отримувала з Верхньої Конки, що значно покращило якість води в ній.

Кардашинський масив розташований на лівобережжі Дніпра між Цюрупинском та Голою Пристанню в районі с. Кардашинка (рис.1.8).

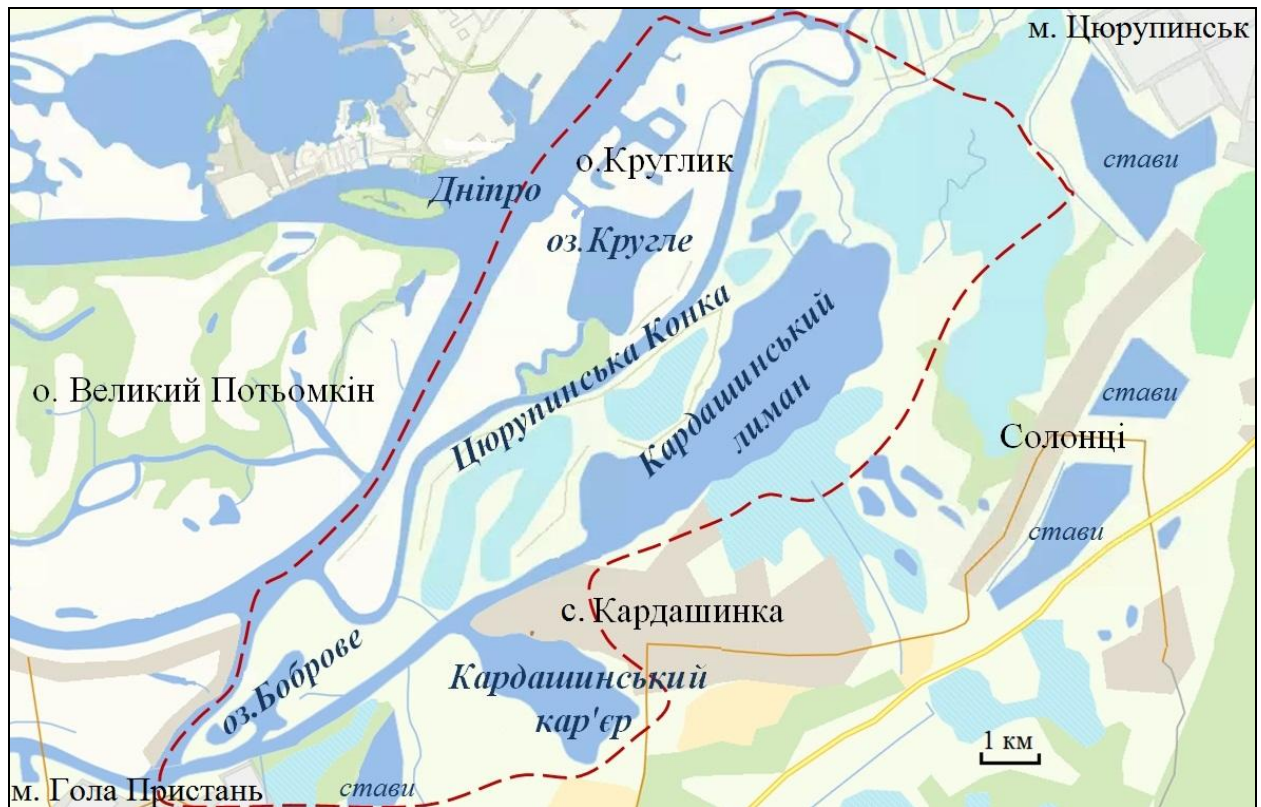


Рис. 1.8. Схема Кардашинського масиву гирлової ділянки Дніпра

Площа його – близько 50 км². Рукав Ц. Конка ділить масив в повздовжньому напрямі на дві частини: заплаву (Солонці - Кардашинка) та плавневу (о. Круглик). Найбільші водойми – Кардашинський лиман, Кардашинський кар'єр та оз. Кругле. Територія масиву сильно заболочена, має багато стариць та пересихаючих озер. Більшість проток та ериків за останні 40 років значно заросли.

Херсон-Білозерський масив розташований на правобережжі Дніпра між м. Херсон та смт. Білозерка (рис.1.9). Рукав Кошова ділить масив вздовж на дві частини: заплаву (правий берег Кошової) та плавневу (о. Карантинний). Землі масиву заболочені, площа його складає близько 45 км².

Судовий хід від греблі Каховської ГЕС прокладений по основному руслу Дніпра. Біля Херсона він повертає на Вільховий Дніпро, нижче о. Малий Потьомкін і далі проходить по рукаву Рвач. Оскільки рукав Бакай має невеликі глибини, а в нижній його частині часто зустрічаються мілини та

коси. До початку 70-х років минулого століття судовий хід проходив по Вільховому Дніпру між островами Малий Потьомкін та Карантинний.

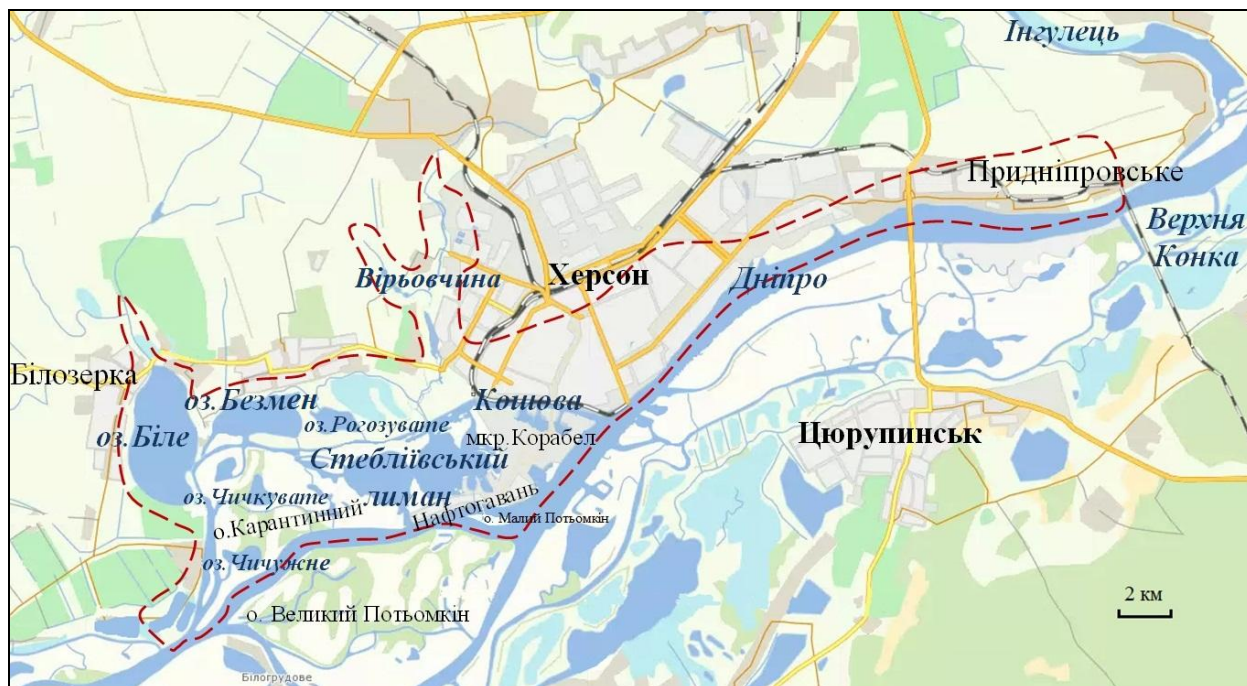


Рис. 1.9. Схема Херсон-Білозерського масиву гирлової ділянки Дніпра

Після 1967 р., коли на острові Карантинний почалось будівництво нового мікрорайону «Корабел», через цю ділянку річки був перекинутий міст з метою використання о. Малий Потьомкін в якості зони рекреації. Основою моста послужила затоплена баржа, яку розташували упоперек водного водотоку, чим перекрили його на 35%. Це сприяло обмілінню дна протоки та порушенню природної конфігурації ліній ізобат на цій ділянці. Судовий хід біля Херсона був перенесений на протоку, розташовану між островами Малий Потьомкін та Великий Потьомкін, де він проходить і в теперішній час.

Основні водотоки масиву – Жошова та Вірвовчина. Найбільші водойми – Стеблівський лиман, озера Біле, Безмен, Чичкувате, Чичужне, Рогозувате.

Практично вся територія масиву знаходиться під значним антропогенним впливом. Берегова смуга рукавів Жошова та Вільховий Дніпро забудована житловими будинками та дачними ділянками. У східній частині острова Карантинний в 1967 р. було розпочато будівництво нового

мікрорайону м. Херсона – «Корабел», внаслідок чого були висушені та засипані три озера та протока Прогной. З промисловою метою були вириті затони суднобудівельного та судноремонтного заводів. У нинішній час триває активна забудова берегової смуги верхнього плеса Стеблівського лиману, озер Біле, Безмен, Мідне, Чичужне. Багато берегових ділянок виділені під пляжі. Тільки у Херсоні їх налічується більше шести. Води вказаного масиву забруднені стічними водами річки Вірьовчини та нафтопродуктами, що поступають з річкового та морського порту, Нафтогавані (одного з районів м. Херсона), судозаводу, човнових станцій. Ці стоки безумовно негативно відображаються на стані водних екосистем регіону.

Великий Потьомкінський масив розташований на острові Великий Потьомкін (рис.1.10), довжина якого – 7,9 км, середня ширина – 2,7 км. Площа цього плавневого масиву складає 23 км².



Рис. 1.10. Схема Великого Потьомкінського масиву гирлової ділянки Дніпра

Основні протоки масиву – Прогной, ер. Масловка та ер. Прогноєць. Найбільші водойми – Ляхове, Закитне, Волокново. Практично на всьому узбережжі острова Великий Потьомкін, включаючи береги пр. Прогной та оз. Закитного, розташовані дачні та садові ділянки.

Голопристанський масив розташований ліворуч рукава Бакай від м. Гола Пристань до Дніпровсько-Бузького лиману (рис.1.11).



Рис. 1.11. Схема Голопристанського масиву гірлової ділянки Дніпра

Довжина цього плавневого масиву близько 20 км, середня ширина – 6 км, площа складає 112,2 км².

Основні протоки масиву – Нетребка, Канава, Серединка, Солоніха та рукав Конка. Рукав Конка розділяє масив на дві частини – плавневу та заплаву (прибережну), які у свою чергу діляться на ряд островів. Найбільшими з них є острови: Білогрудий, Красніковський, Гапський, Толока, Ковтуновський. Найбільші водойми – Збур'ївський Кут, Краснюкове, Нижнє Солонецьке, Верхнє Солонецьке, Лягушаче.

Касперовський масив розташований праворуч рукава Бакай, між гірлом р. Кошова та Дніпровсько-Бузьким лиманом (рис.1.12).

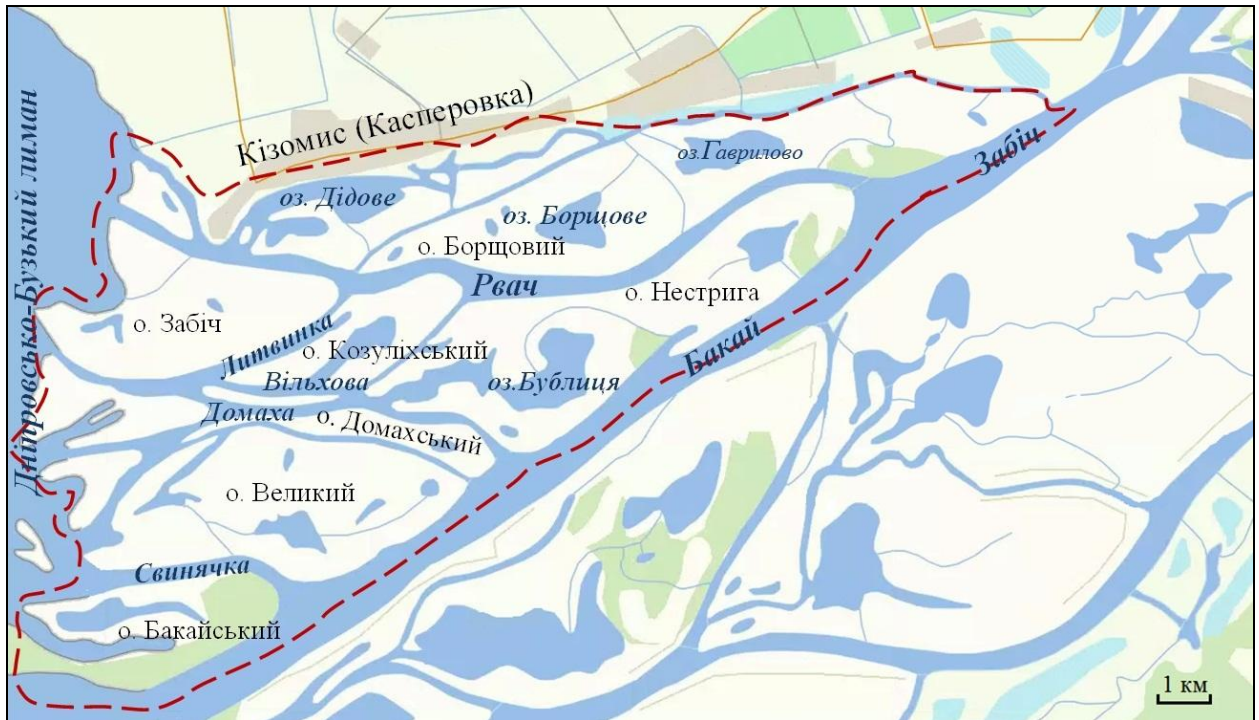


Рис. 1.12. Схема Касперовського масиву гирлової ділянки Дніпра

За формою нагадує трикутник довжиною 15 км з основою 7 км на передньому краю дельти. Площа цього плавневого масиву складає 57,3 км².

Основні протоки – Рвач, Вільхова, Домаха, Литвинка, Свинячка. Цими протоками масив розчленований на острови. Основні з них – Борщовий, Нестрига, Забіч, Великий, Козуліхський, Домахський, Бакаїський. Ці острови низькі, зарослі плавневою рослинністю та мають значну кількість озер. Підковоподібна форма островів вказує на їх порівняно невеликий вік. З обох кінців кожного острова у напрямку до приймальної водойми тягнуться піщані коси, що переходять в підводні мілини. З часом, внаслідок намівання алювіальних порід та розвитку рослинності, кінці острова зближуються, та острів набуває форми еліпса. Характерним є те, що в центральній частині острова знаходиться один або декілька плавневих водойм, пов'язаних протокою у своїй нижній частині з рукавом, що омиває острів. Найбільші озера масиву – Бублиця, Гаврилово, Дідове, Борщове.

Окремою зоною гирлової ділянки Дніпра слід виділити *морський край дельти* (рис.1.13). Це наймолодша форма рельєфу пониззя Дніпра,

представлена одним або серією осадових островів, що сформувались в місцях впадіння рукавів річки в Дніпровсько-Бузький лиман.

Найбільш значними є Касперовський, Бакайський та Соколовський райони морського краю дельти. Найбільша за площею серія островів (Соколовський та Бакайський район морського краю дельти) розташована в гирлі Бакая, оскільки він є найбільш повноводним рукавом, що впадає в лиман, і, отже, має найбільший стік твердих наносів, які формують острови та коси на передньому краї дельти. Шар твердих наносів, які поступають на територію гирлової ділянки (1,5 мм/рік), практично дорівнює інтенсивності тектонічного прогину цієї території (1 мм/рік), тому передній край дельти Дніпра з часом змінює свої контури не значно [48].



Рис. 1.13. Схема морського краю дельти (МКД) Дніпра

1.2. Кліматичні особливості регіону

Пониззя Дніпра розташоване на території Причорноморської низовини. Клімат області досліджень помірно-континентальний з м'якою зимою та жарким літом. Формується він під дією холодних континентальних повітряних мас Скандинавії та Азії, а також теплих субтропічних повітряних мас Середземномор'я та Атлантичного океану.

Для Причорноморської низовини переважаючим є західний перенос, що зумовлює характер циклонічної діяльності регіону. Циклони на територію пониззя надходять переважно з центральної Європи та північних районів Африки. Виключення становлять південні циклони, які формуються над східною частиною Середземномор'я та Чорним морем. Під час їх проходження над територією півдня України в пониззі відмічаються сильні зливи, шквальні вітри, як правило, південних напрямів та підвищення рівня води спричинені нагінними явищами на Дніпрі.

Антициклональні баричні утворення формуються при посиленні Сибірського антициклону та Азорського максимуму, відроги яких можуть затримуватись тут на декілька тижнів зумовлюючи ясну тиху прохолодну (влітку – жарку) погоду.

Середні температури зимових місяців $-1^{\circ}..-3^{\circ}\text{C}$, літніх – $22^{\circ}-23^{\circ}\text{C}$. Абсолютні значення температур повітря коливаються в межах від -24°C до 43°C . Середньорічна температура складає $9,3^{\circ}-9,8^{\circ}\text{C}$ і має стійку тенденцію до підвищення.

Середня багаторічна кількість опадів за рік на території пониззя складає 395 мм (рис. 1.14), але в останні десятиріччя їх кількість збільшилась та перевищила норму на 50 мм. Найбільша кількість днів з опадами припадає на період з листопада по лютий (12–14 днів), найменша – на серпень–вересень (6–7 днів).

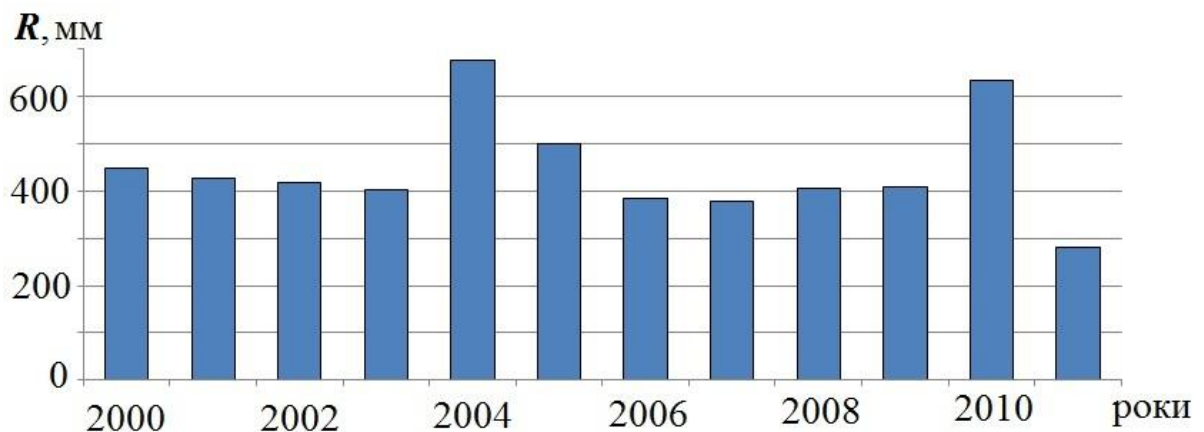


Рис. 1.14. Динаміка річних сум опадів (R) на території пониззя Дніпра

Випаровування з поверхні суші складає 428 мм за рік. Найбільше випаровування впродовж року спостерігається в травні–липні (57–60 мм), найменше – в грудні–січні (11 мм) [30]. Випаровування з водної поверхні в середньому за рік складає 850 мм та має стійку тенденцію до збільшення. Зазначимо, що в 60-тих роках минулого століття його значення складало 660мм в районі Херсона [36]. У водоймах, що розташовані на порівняно відкритій місцевості з більш сухим повітрям, що формується в умовах пісків (лівобережна частина пониззя) ці значення можуть сягати 880–1050 мм за рік [64].

Вітер є однією з найбільш мінливих характеристик повітряних мас. В пониззі Дніпра переважаючими є вітри північно-східної четверті горизонту, а також північно-західні вітри (рис. 1.15.) [29]. Штиль спостерігається майже у 20% випадків. В зимовий період в пониззі Дніпра домінують вітри північно-східних та східних напрямків. В літні місяці починають переважати північні, південно-західні та західні напрями вітру.

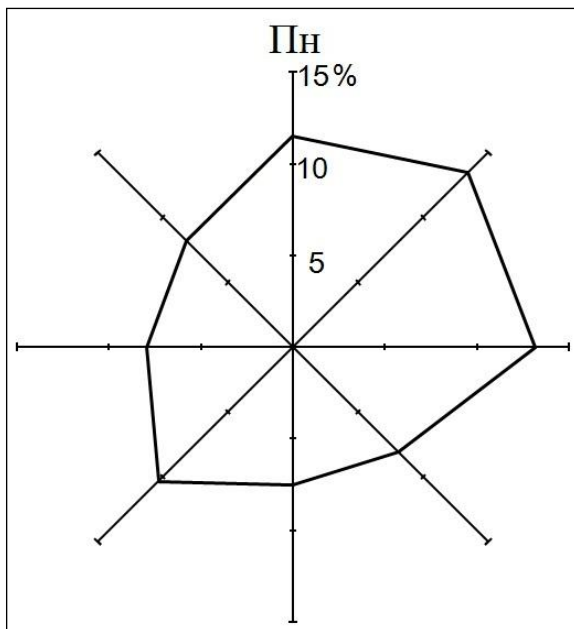


Рис. 1.15. Роза вітрів ст. Херсон за період з 1899 по 2009 рр.

Для території Причорноморської низовини характерними є слабкі та помірні вітри (3–5 м/с), повторюваність яких складає більше 80% впродовж року. Найбільші швидкості вітру спостерігаються в перехідні періоди року коли в атмосфері проходить процес зміни холодних (зимових) повітряних мас на теплі (літні) та навпаки. Навесні (березень–квітень) середня швидкість вітру складає 4,3–4,5 м/с, восени (листопад–грудень) – 3,8–4,0.

Внаслідок квазіширотного розташування руслової мережі пониззя Дніпра, вітри північно-східної четверті горизонту є згінними, а південно-

західної – нагінними для даного регіону. Найбільш інтенсивні згінно-нагінні явища в пониззі спостерігаються при штормових вітрах, які супроводжуються невеликою водністю Дніпра. Найбільша повторюваність згінно-нагінних явищ відмічається в осінньо-зимовий період та ранньою весною. В інші періоди року вона не перевищує 1–3 випадки за місяць.

1.3. Загальні відомості про гідрологічний режим

Водність є одним з ключових чинників функціонування екосистеми пониззя Дніпра. Останніми роками простежується тенденція зниження річного стоку. На нашу думку така тенденція пов'язана з переходом до маловодної фази водності Дніпра багатовікового циклу, що почалась на початку 40-вих років минулого століття. Нами був проаналізований ряд спостережень за стоком Дніпра за 195 років – з 1820 по 2015 р. (рис. 1.16.).

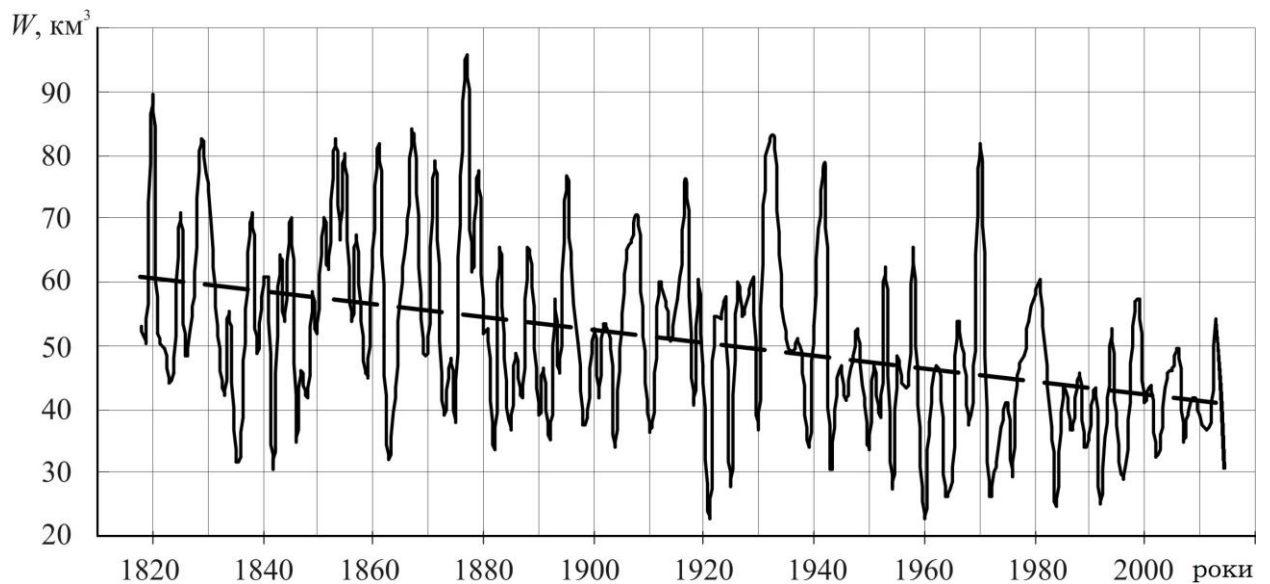


Рис. 1.16. Багаторічний розподіл річного стоку пониззя Дніпра [44, 94]

Багатоводні і маловодні фази з різною тривалістю тут змінюються послідовно. Лінія тренду виражається рівнянням: $W = -0,1014 t + 245,12$, та вказує на поступове скорочення стоку Дніпра з роками (t) в пониззі.

Згідно Г.І. Швецю [94], за 3816 років (починаючи з 1874 р. до н. е.) на Дніпрі можна відмітити дві фази багатовікового циклу: маловодну і багатоводну.

Маловодна фаза тривала 2596 років (з 1874 р. до н. е. по 722 р. н. е.). Характерним є те, що сумарна тривалість внутрішньовікових маловодних фаз перевершує багатоводні в 2,1 рази. Середнє значення річного стоку за маловодну фазу багатовікового циклу складало 97% від норми.

Багатоводна фаза багатовікового циклу тривала 1221 рік (з 772 по 1942 рр.). Особливо багатоводними вважаються Х–ХІІ століття, на що вказують Російські літописи [94]. Впродовж багатовікової багатоводної фази тривалість внутрішньовікових багатоводних фаз перевищувала тривалість маловодних майже на 80%. Середнє значення річного стоку за цю фазу багатовікового циклу склало 102% від норми.

Результати аналізу річного стоку Дніпра за багатовіковий період дозволили Г.І. Швецю [94] вважати, що його мінливість характеризується циклічністю без односторонньої тенденції зміни у багатовіковому масштабі.

В середині ХХ-го століття почався період маловодної фази наступного багатовікового циклу. Більшість дослідників зв'язують зміну багатоводних та маловодних фаз у багатовікових циклах зі зміною кліматичних умов формування стоку річки. Так А.І. Шерешевський та Л.К. Синицькая [95] оцінили стік річки Дніпро при різних можливих кліматичних змінах. У їх роботі використаний ряд сценаріїв глобальної зміни клімату, розрахованих за моделями загальної циркуляції атмосфери. Ці моделі розроблені в наукових центрах США, Великобританії та Німеччини. Виходячи з версії нестационарних сценаріїв зміни клімату (GFDL 30% і МР 30%), очікується зменшення стоку Дніпра [95]. Відмітимо, що кліматичні зміни, що вже відбулись на території України впродовж останніх двадцяти років, спричинили зміни багатьох характеристик гідрологічного режиму річок, зокрема, і характеристик дощових паводків [14].

Побудована нами різницева інтегральна крива модульних коефіцієнтів річного стоку, отримана при продовженні ряду даних Г.І. Швеця щодо водності Дніпра згідно методики [95] (рис. 1.17) підтверджує, що після 1942 р. почалась нова маловодна фаза багатовікового циклу.

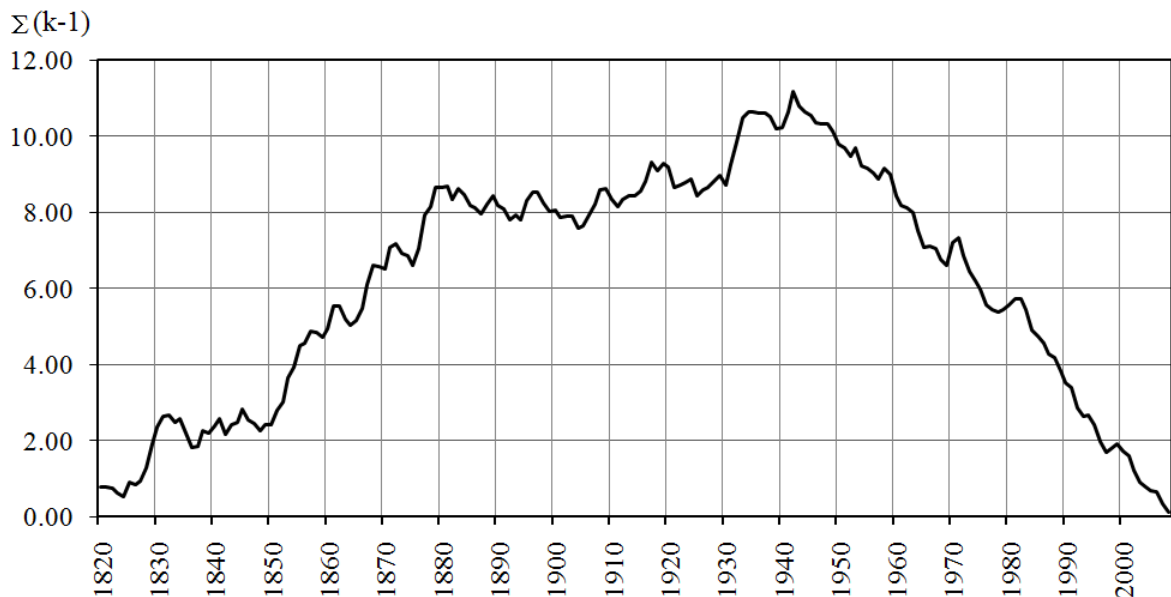


Рис. 1.17. Різницева інтегральна крива модульних коефіцієнтів річного стоку в пониззі Дніпра за період з 1820 по 2008 рік [44, 94]

Перехід між фазами багатовікових циклів відбувається без чіткого розмежування між ними. У 722 р., коли здійснювалась зміна маловодної фази на багатоводну упродовж 65-ти років (до 787 р.) спостерігалось таке чергування маловодних і багатоводних років, яке не визначило чіткого переходу до багатоводної фази. Подібним був перехід від багатоводної фази багатовікового циклу до маловодної. Впродовж 63 років (з 1879 по 1942 рр.) середнє значення річного стоку було близьке до норми (51,1 км³/рік).

Такий тип переходу від однієї фази водності до іншої у багатовіковому циклі є характерним в мінливості стоку Дніпра.

Перехід до наступної маловодної фази багатовікового циклу співпав з початком створення каскаду водосховищ на Дніпрі. Перша гребля каскаду (Запорізька ГЭС) була споруджена в 1934 р., зруйнована в 1941 р. і відновлена в 1947 році. Через десятиліття були побудовані наступні

водосховища каскаду: Каховське (1953–1956 рр.), Кременчуцьке (1960–1961 рр.), Дніпродзержинське (1963–1964 рр.), Київське (1965–1966 рр.). Останнім водосховищем каскаду стало Канівське, заповнене в 1975–1976 рр. Основним регулятором стоку Дніпра є Кременчуцьке та Каховське водосховища, корисний об'єм яких складає 8,9 та 6,8 км³. Корисний об'єм останнього повністю не використовується, та складає в нинішній час 1,2 км³, що впливає на його регулюючу здатність. Це пов'язано з необхідністю дотримання певної відмітки рівня води, для забезпечення каналів та зрошувальних систем водою. Створення каскаду водосховищ сприяло посиленню тенденції зниження стоку в пониззі Дніпра. На рис. 1.17. можна бачити різке зниження різницевої інтегральної кривої після 1942 року.

Проведений аналіз водності Дніпра показав, що є ряд періодів, які мають важливе значення у формуванні його сучасного екологічного стану. Нами виділено три основні періоди формування стоку Дніпра:

- 1) *період до зарегулювання – 1818–1946 рр.*
- 2) *період становлення стоку (формування каскаду водосховищ) – 1947–1976 рр.*
- 3) *період стабілізації стоку – з 1977 р. по нинішній час.*

Середнє багаторічне значення стоку в пониззі Дніпра за період до зарегулювання складало 55,2 км³/рік, в період становлення стоку – 42,9 км³/рік, і в період стабілізації стоку – 42,4 км³/рік. Впродовж першого періоду зміна об'єму стоку складала в середньому 2–3 % від багаторічної норми (1,0–1,5 км³). В період становлення (з 1947 по 1976 рр.), середнє багаторічне значення стоку зменшилось на 12,3 км³. Таке різке зниження водності зумовлене витратами великих об'ємів води на заповнення головних водосховищ каскаду та посиленням водоспоживання. Цей факт підтверджується зміною величин максимального та мінімального стоку в пониззі. Якщо меженні періоди у багаторічному розподілі стоку не зазнали особливих змін, то значення максимального стоку під час водопілля за третій період зменшились в порівнянні з першим більш ніж в 2 рази. Подібний

перерозподіл багаторічного стоку характерний для багатьох річок, що зазнали регулювання стоку. Навіть у періоди, коли можна було б чекати деякого підвищення водності річки, його не відбувалось внаслідок збільшення безповоротного водоспоживання стоку.

Регулювання стоку Дніпра водосховищами відбилося на його внутрішньорічному перерозподілі в пониззі ріки (рис. 1.18).

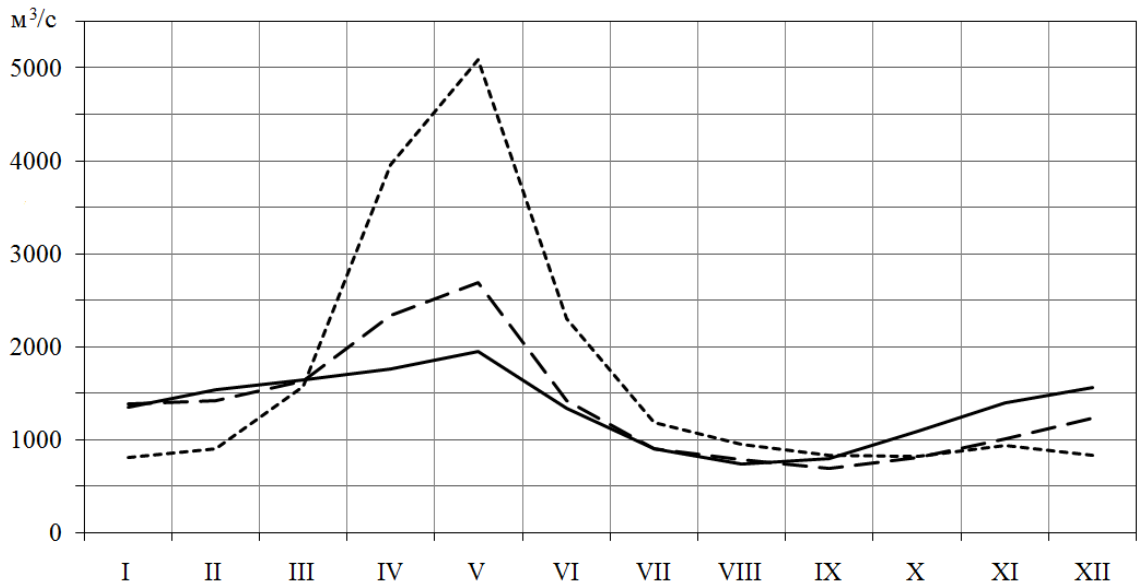


Рис. 1.18. Внутрішньорічний розподіл стоку Нижнього Дніпра: а – до зарегулювання (1818–1946 рр.), б – період становлення стоку (1947–1976 рр.), в – період стабілізації стоку (1977–2013 рр.)

Аналіз середньомісячних значень стоку Дніпра за перший період показує, що в річному стоці виділялись чотири основні фази: весняне водопілля, яке починалось у березні та зберігалось до червня, початку липня, і літньо-осіння межень, яка спостерігалась з кінця серпня до початку листопада. У листопаді було можливе осіннє збільшення стоку ріки за рахунок випадіння інтенсивних атмосферних опадів. З грудня по березень (до початку водопілля) спостерігався зимовий період, витрати води впродовж якого були трохи нижчими за середньорічні (див. рис. 1.18. а).

Впродовж третього періоду стік зазнав значного перерозподілу у внутрішньорічному масштабі. Об'єм весняного водопілля за період становлення стоку знизився в 1,7 разів (див. рис. 1.18. в), та складає 36% від

того, що спостерігався в період до зарегулювання. Максимальні значення середньомісячного стоку за перший період сягали $13700 \text{ м}^3/\text{с}$ (1931 р.) [36], за другий – $7090 \text{ м}^3/\text{с}$ (1970 р.), а за третій – $4097 \text{ м}^3/\text{с}$ (1994 р.). Зниження стоку у весняно-літній період супроводжується збільшенням осінньо-зимового стоку. Осінній об'єм стоку збільшився в 1,3 рази, зимовий – в 1,7 раз в порівнянні з першим періодом.

Водний режим пониззя Дніпра за останні 35 років (1977–2013 рр.) є найменш висвітленим в літературі. Останні систематичні дослідження проводились тут наприкінці 70-х, початку 80-х років минулого століття. Тенденція зниження стоку в пониззі зберігається і в нинішній час. Сумарне скорочення річного об'єму стоку у порівнянні з періодом до зарегулювання складає $14,4 \text{ км}^3$.

На рис. 1.19 наведена крива забезпеченості річних об'ємів стоку в період стабілізації [44].

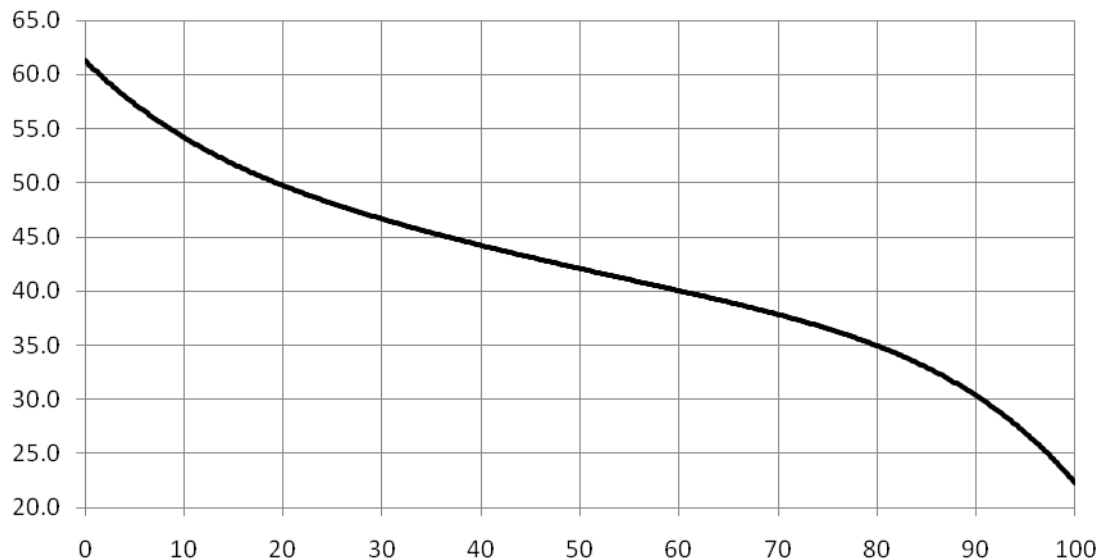


Рис. 1.19. Крива забезпеченості річних об'ємів стоку за період 1977–2013 рр.

$$X_{\text{ср}} = 42,4 \text{ км}^3, C_V = 0,21, C_S = 0,1$$

Каскад водосховищ, як і раніше, в значній мірі впливає на водний режим пониззя. Максимальні значення стоку за цей період не перевищували $57,3 \text{ км}^3/\text{рік}$. Значення коефіцієнта варіації за цей період складає 0,2, що свідчить про невелику зміну водності ріки від року до року.

У внутрішньорічному розподілі стоку виділяється три основних гідрологічних періоди: слабо-виражене весняне водопілля, літньо-осіння межень та зимовий період. Весняне водопілля спостерігається з березня до початку червня. Середнє значення стоку за весняний період складає $1685 \text{ м}^3/\text{с}$, що в 2,8 рази менше ніж за період до зарегулювання Дніпра. Літньо-осіння межень відмічається з липня по вересень. Середній стік за ці місяці складає $793 \text{ м}^3/\text{с}$. В зимовий період (з жовтня до початку березня) витрати води є трохи вищими за середньорічні та складають $1379 \text{ м}^3/\text{с}$.

З 1956 р. на фоні зниження висоти весняного водопілля вирішальне значення для функціонування екосистеми пониззя Дніпра набули нерівномірні впродовж доби та тижнів попуски Каховської ГЕС. Вони зумовлюють короткострокові внутрішньодобові коливання рівня води більшу частину року (крім весняних місяців).

Після введення в дію Каховської ГЕС в екосистемі пониззя Дніпра з'явився новий фактор її функціонування – короткострокові добові коливання рівня води, які є вирішальними у формуванні сучасного стану водних об'єктів досліджуваної ділянки.

Значного перерозподілу витрат води по рукавах дельти після зарегулювання Дніпра не відбулось. В системі основних рукавів дельти Дніпра, у порівнянні з початком минулого століття, дещо збільшилась частка стоку Рвача, а Бакая – зменшилась [49].

Від Каховської ГЕС до Херсону в основному руслі Дніпра витрати води майже не змінюються. Біля Херсону частка стоку в руслі складає 97,0%. Далі відмічається розподіл стоку по основних рукавах дельти Дніпра. При витратах Дніпра $1350 \text{ м}^3/\text{с}$ стік розподіляється наступним чином: Вільховий Дніпро – 66,0%, Старий Дніпро – 27,0% стоку.

У дельтовому розгалуженні витрати води Дніпра розподіляються по рукавах Забіч та Голопристанська Конка у пропорції 85,0 та 14,7%. Нижче стік Забіча розподіляється між рукавами Рвач та Бакай і складає 31,0 та 44,0% від витрати води в створі Каховської ГЕС відповідно.

Також відомо, що при зменшенні стоку Дніпра, частка стоку рукавів Забіч, Рвач та Бакай також зменшується, а Конки – збільшується [49].

Рівневий режим пониззя Дніпра залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш значущими є коливання спричинені попусками Каховської ГЕС, та денівеляції рівня води в східній частині Дніпровсько-Бузького лиману.

Чіткої залежності між рівнями (H) та витратами (Q) води в пониззі Дніпра немає оскільки, після спорудження каскаду ГЕС, тут сформувався неусталений водний режим. Таку залежність можливо побудувати лише для нижнього б'єфу Каховської ГЕС, яка апроксимується рівнянням [73]:

$$H_K = 0,045 Q_K - 9,09,$$

де H_K та Q_K це відмітка рівня та витрата води в нижньому б'єфі Каховської ГЕС.

Максимальні коливання рівня спостерігаються в нижньому б'єфі Каховської ГЕС, далі вони зменшуються вздовж основного русла внаслідок трансформації хвилі попуску.

Крім попусків ГЕС на рівневий режим дельти Дніпра впливають коливання рівня Дніпровсько-Бузького лиману. За багаторічний період спостережень встановлено, що середні добові коливання рівня води біля с. Касперовка становлять 0,13 м. Вже біля м. Херсон вплив цих коливань зменшується майже вдвічі, де вони складають 0,06 м. На придельтовій ділянці Дніпра, внаслідок достатнього нахилу водної поверхні, вплив коливань рівня Дніпровсько-бузького лиману мінімальний та простежується лише при інтенсивних нагінних явищах.

На придельтовій ділянці Дніпра найбільший вплив на рівневий режим мають попуски Каховської ГЕС. У коливаннях рівня води в дельті Дніпра (нижче м. Херсон) провідними є денівеляції рівня води приймальної водойми, до того ж тут вони лишаються основними чинниками водообмінних процесів у заплавах водоймах.

Коливання рівня води Дніпра впродовж року пов'язані з багаторічними змінами водного стоку. Найвищі відмітки рівня в пониззі відмічаються навесні, найнижчі – в період літньо-осінньої межени. За даними моніторингових спостережень співробітників Херсонської гідробіологічної станції НАН України, під час весняного водопілля біля м. Херсон середні відмітки рівня води складають +0,20..+0,22 м БС. В літньо-осінній період їх середні значення складають –0,12..–0,14 м БС. В зимовий період середні відмітки рівня сягають значень +0,02.. 0,00 м БС.

При штормових вітрах, особливо в періоди невеликої водності, на Дніпрі спостерігаються згінно-нагінні явища. Руслена мережа пониззя Дніпра простягається з північного-сходу на південний-захід, тому вітри цих напрямів утворюють згін чи нагін води. Згідно натурних спостережень нами встановлено, що при витратах води в Дніпрі більше $1900 \text{ м}^3/\text{с}$ вплив цих явищ на зміну рівня незначний.

Найбільша повторюваність згінно-нагінних явищ відмічаються в осінньо-зимовий період та ранньою весною. В інші періоди року вона не перевищує 1–3 випадки на місяць. Оскільки вітри північно-східних напрямів є переважаючими на території гирлової області Дніпра, згін води тут відбувається частіше ніж нагін. Вірогідність згінних вітрів швидкістю більше 10 м/с складає 3,5%, нагінних – 0,9%.

Вітрове хвилювання у водоймах пониззя незначне. Максимально можливий розгін хвиль у них в середньому складає 1,5 км. При найбільш характерній швидкості вітру для даного регіону (4 м/с) висота хвиль коливається в межах 4–6 см. При сильних вітрах, більше 12 м/с , їх висота не перевищує 15–17 см. Довжина хвиль за таких умов не перевищує 1–2 м. Це невеликі значення параметрів хвиль, але їх достатньо для повного перемішування всієї товщі води у найбільш мілководних водоймах пониззя.

Зазначені у главі оглядові дані є основою для подальших еколого-гідрологічних досліджень водної екосистеми пониззя Дніпра.

РОЗДІЛ 2

ЕКОЛОГІЧНА ГІДРОЛОГІЯ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА

2.1. Методичні особливості екогідрологічних досліджень

Екологічна гідрологія (екогідрологія) – це новий міждисциплінарний напрямок науки, що сформувався досить недавно. В 70–80 рр. минулого століття у зв'язку з інтенсивним використанням водних ресурсів виникла потреба проводити дослідження впливу господарської діяльності людини на екологічний стан та якість води різних типів водних об'єктів. В подальшому, вже на початку 90-х років минулого століття проведені дослідження сприяли виникненню окремого наукового напрямку під назвою екогідрологія [80].

Гирлова ділянка Дніпра представляє особливий науковий інтерес для екогідрологічних досліджень, адже такі ділянки завжди вважались цінними ділянками річки в яких відмічалась підвищена біопродуктивність та біорізноманіття (екотонний ефект). Внаслідок зарегульованості стоку вона є репрезентативним водним об'єктом дослідження впливу змін гідрологічного режиму на життєдіяльність флористичних та фауністичних водних угруповань та впровадження системи науково обґрунтованого управління його екосистемою. Вирішенням саме таких проблем займається екогідрологія.

Екогідрологія – це самостійний науковий напрямок, що вивчає гідрологічні процеси, як абіотичну складову водних екосистем та один з факторів формування їх екологічного стану [80, 100, 105]. Вона, на наш погляд, належить до географічних наук оскільки основним предметом вивчення є гідрологічні процеси, явища, характеристики, як абіотичні компоненти водних екосистем у всіх їх складних взаємовідносинах з іншими абіотичними та біотичними складовими екосистемами.

Основними задачами цієї наукової дисципліни є:

1) визначення та кількісна оцінка ключових гідрологічних факторів, що зумовлюють структурно-функціональні особливості екосистеми окремих водних об'єктів;

2) вивчення характеру та механізмів впливу гідрологічних умов на біотичну складову та абіотичні компоненти екосистем;

3) розробка методів управління ключовими гідрологічними факторами, що визначають інші абіотичні умови та структурно-функціональні особливості угруповань гідробіонтів, з метою регулювання, відтворення та сталого розвитку водних екосистем [80].

Такий підхід при екогідрологічних дослідженнях називається екосистемним – гідрологічні процеси розглядаються не окремо, а в якості екологічних факторів.

В рамках першої задачі екогідрології важливо враховувати, що водні об'єкти відносяться до різних типів (ріки, водойми, лимани, водосховища тощо). Однак, навіть, належачи до одного типу, окремі об'єкти мають різні особливості гідрологічного режиму. Для характеристики водного режиму у гідрології використовують велику кількість параметрів та показників. З точки зору екогідрології доцільно детально вивчати лише ті характеристики гідрологічного режиму, які мають найбільший вплив на екологічний стан водної екосистеми (ключові гідрологічні фактори). На сучасному етапі розвитку екогідрології для пониззя Дніпра нами виділено чотири найбільш загальних блоки ключових екологічно значущих гідрологічних факторів [81]:

- водний баланс та зовнішній водообмін,
- внутрішньоводоймова динаміка,
- гідрофізичні властивості водних мас,
- окремим блоком ключових гідрологічних факторів для екосистеми

пониззя нами виділено донні відклади та ґрунти.

Оцінка значущості перерахованих вище блоків при екогідрологічних дослідженнях проводиться не кількісно, а якісно, для кожного водного об'єкту окремо. Важливо враховувати, що чим сильніше змінюється елемент

навколишнього середовища, тим зазвичай більше його екологічна значущість для біологічних угруповань [32].

Зовнішній водообмін є найбільш важливим фактором формування екологічного стану більшості водойм та водотоків пониззя Дніпра. Від його інтенсивності безпосередньо залежать біотичні та абіотичні показники екосистеми. У заплавах водойм гирлової ділянки Дніпра зовнішній водообмін характеризує інтенсивність притоку та відтоку води, які є основною складовою їх водного балансу. Швидкість зміни вод у водоймах впливає на кількісні показники біомаси фітопланктону, зоопланктону, продукції вищої водної рослинності, мікрофітобентосу, фауністичний склад макрзообентосу, тощо [9]. Від інтенсивності водообміну залежать характеристики водних мас, режим розчинених у воді хімічних елементів та речовин, співвідношення процесів самозабруднення та самоочищення водойм і водотоків, тощо.

Внутрішньоводоймова динаміка також є важливою складовою у процесах формування екологічного стану водних об'єктів, особливо мілких водойм зі слабким зовнішнім водообміном та у водоймах де зовнішнього притоку вод з руслової мережі взагалі не відбувається. До цього блоку ключових гідрологічних факторів належать характеристики течій, вітрове хвилювання, коливання рівня води, перемішування водних мас. При дослідженні цього блоку параметрів оцінюється рухливість водного середовища, циркуляція вод, розповсюдження та зміщення різних водних мас, інтенсивність водообміну між окремими ділянками водного об'єкту. Внаслідок перемішування водних мас в екосистемі спостерігається перерозподіл тепла, кисню, розчинених та завислих речовин між окремими біотопами. При аналізі інформації такого роду натурні дослідження не завжди дозволяють отримувати об'єктивні данні, що пов'язано з нестационарністю меж біотопів, складною структурою течій у водних об'єктах та мінливістю поля вітру. У зв'язку з цим наряду з натурними вимірюваннями доцільно користуватись розрахунковими методами з

використанням математичних моделей, верифікованих для умов регіону дослідження.

Гідрофізичні властивості водних мас, як важливий блок факторів функціонування екосистеми, впливають на формування середовища існування гідробіонтів та безпосередньо на процеси їх життєдіяльності. До таких факторів належать температура води, склад та кількість завислих у ній речовин, оптичні властивості водних мас. Серед гідрофізичних факторів функціонування водних екосистем термічний режим є найбільш впливовим. Від температури води залежить більшість гідрохімічних та гідробіологічних процесів, їх направленість та інтенсивність. Оптичні властивості водних мас є важливим показником стану екосистеми, оскільки сонячна енергія є основною складовою прибуткової частини енергетичного балансу. Від оптичних властивостей залежить потужність фотичного шару та евфотної зони. Колір води слугує непрямою ознакою трофності та продуктивності водойм. Прозорість води зумовлює видовий склад іхтіофауни, планктонних, та деяких видів бентосних організмів. Гідрофізичні властивості водних мас широко використовуються при аналізі та прогнозуванні біопродуктивності водойм і якості води в них.

Вплив донних відкладів на екологічний стан водних об'єктів залежить від їх характеру та гранулометричного складу. Від їх типу залежить кількість та видове різноманіття представників донної флори та фауни, умови формування та існування бентосних організмів. В залежності від характеристик водної маси, у донних відкладах, що межують з нею, можуть накопичуватись токсичні речовини та важкі метали (марганець, залізо, хром, свинець та ін.), що з часом вимиваються з них та повторно забруднюють довкілля, погіршуючи якість водного середовища в придонному шарі [41]. Піщані ґрунти відіграють важливу роль у процесах самоочищення водних об'єктів, оскільки зниження концентрації органічних речовин у воді, що міститься у піску, відбувається швидше ніж у воді без нього [58].

При вирішенні другої задачі екогідрології для території пониззя Дніпра вже є ряд праць, в яких висвітлені питання розшифровки механізмів впливу гідрологічних факторів на умови функціонування водних екосистем та формування їх окремих складових [54, 56, 89, 90]. Однак, зазначимо, що висвітлення цих питань на даному етапі розвитку екогідрології є недостатнім для розробки нових методів управління водними екосистемами. Тому вивчення впливу гідрологічних процесів на абіотичні та біотичні компоненти екосистеми пониззя Дніпра лишається актуальним.

Розробка та впровадження методів управління ключовими гідрологічними факторами з метою регулювання та відтворення водних екосистем є практичною частиною екогідрологічних досліджень. Методи управління гідрологічним режимом дають змогу впливати на біопродуктивність, інтенсивність самозабруднення та самоочисну здатність водних об'єктів, контролювати потоки речовин та енергії у водоймах взагалі та між окремими складовими гідроекосистеми. На прикладі пониззя Дніпра вже були зроблені перші спроби впровадження методів управління його екологічним станом. Розроблена модель управління якістю води та екологічним станом основного русла і заплавної водойми на основі урахування динаміки співвідношення процесів самоочищення та самозабруднення органічною речовиною [89, 102, 103]. Встановлені та включені у нову редакцію «Правил експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду» нормативи щодо використання екосистемних, екологічних, цільових та екстремальних попусків Каховської ГЕС [63], при дотриманні яких екосистема пониззя Дніпра не зазнає значних негативних змін.

2.2. Історія і сучасний стан екогідрологічних досліджень в пониззі Дніпра

Наукова база екологічної гідрології ґрунтується на досягненнях багатьох дисциплін. Гідрологічні знання є провідними при розробці та розвитку методичної бази екогідрології. В пониззі Дніпра перші згадки про гідрологічні дослідження датуються V ст. до н. е. Геродот у праці під назвою «Історія», досліджуючи торгівельні шляхи скіфів, робить опис руслової мережі річки від лиману біля Ольвії (район сучасного с. Парутине Миколаївської області) до великих порогів Борисфену (нижче сучасного Дніпропетровська).

Основний інтерес до водного режиму річки з'явився наприкінці XVIII ст., коли у дельті Дніпра почалось будівництво перших портових міст (Гола Пристань, Херсон, та ін.), формувались суднохідні торгівельні шляхи. Неперервні ряди даних по гідрологічному режиму пониззя Дніпра з'явилися після становлення мережі гідрологічних постів. У пониззі Дніпра їх налічується чотири: Нова Каховка, Львово, Херсон та Касперовка. Першим був заснований пост в районі м. Херсон (1876 р.), останній – біля м. Нова Каховка (1963 р.).

Окрім стандартних стаціонарних спостережень в пониззі проводяться систематичні експедиційні дослідження гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних характеристик водотоків та водойм пониззя Дніпра. Найбільший вклад у дослідження гідрологічного та гідробіологічного режимів гирлової ділянки Дніпра в Україні зробили Інститут гідробіології НАН України, Севастопольське відділення Державного океанографічного інституту, Херсонська гідробіологічна станція НАН України, Миколаївський та Херсонський центри з гідрометеорології.

В 1969 р. в Інституті гідробіології НАН України з метою поглиблення досліджень фізичних процесів у водоймах та водотоках і їх впливу на

біологічні складові водних екосистем створено відділ гідрології (нині лабораторія гідрології та управління водними екосистемами).

Основні напрямки дослідження на той час були: динаміка вод, забезпеченість водних мас сонячною енергією та їх тепловий режим, седиментація завислих у воді речовин і формування донних відкладів. На Нижньому Дніпрі Інститутом гідробіології проводилась розробка методів експериментальних досліджень процесів водообміну та переносу розчиненої і завислої речовини у воді, оцінка взаємодії між динамікою вод та хімічними і біологічними процесами у заплавах водойм. Проведені співробітниками Інституту гідробіології дослідження у 70–80-х рр. минулого століття дозволили скласти чітке уявлення про гідрологічний, гідрохімічний та гідробіологічний режими пониззя Дніпра. У цей час активно розвиваються дослідження гідрологічних факторів, що безпосередньо приймають участь у формуванні екологічного стану водних об'єктів, їх біопродуктивності та якості води [24].

Херсонська гідробіологічна станція НАН України на початку свого існування була в структурі Інституту гідробіології АН УРСР. Заснована вона у 1952 році за ініціативи Я.В. Ролла та В.І. Владимірова як Херсонська база флоту для експедиційних виїздів на Каховське водосховище, Нижній Дніпро та Дніпровсько-Бузький лиман.

З грудня 1961 року база флоту була перетворена в Херсонську гідробіологічну станцію. Першим завідувачим станції був кандидат біологічних наук В.Л. Брюзгін. З 1966 р. завідував станцією к.б.н. Б.Ф. Григор'єв, з 1973 – к.б.н. В.І. Козлов, з 1975 – к.б.н. І.Г. Іванега, з 1978 – к.б.н. Е.Я. Россова, з 1980 – к.б.н. В.С. Полищук, з 2001 – к.б.н., с.н.с. Т.Л. Алексенко [10]. З 2014 р. по нинішній час завідує станцією к.б.н. С.В. Овечко.

У перші роки заснування дослідницька діяльність станції мала більш іхтіологічну спрямованість, оскільки гирлові ділянки завжди вважались найбільш рибопродуктивними районами річок. Науковцями була уточнена

біологічна класифікація риб, розроблена концепція раннього онтогенезу, визначені критичні періоди розвитку риб пониззя, розроблені науково обґрунтовані рекомендації щодо промислу риб гирлової ділянки Дніпра.

Основні гідрологічні дослідження водойм та водотоків пониззя Дніпра співробітниками Херсонської гідробіологічної станції почали проводитись на початку 60-х років минулого століття при вивченні впливу скорочення стоку Дніпра та його зарегульованості на показники іхтіофауни, фітопланктону, зоопланктону, вищої водної рослинності, зообентосу.

У 70-ті роки минулого століття актуальності набувають питання, пов'язані з використанням водних ресурсів пониззя Дніпра на зрошення і питне водопостачання, яке збільшилось за рахунок будівництва в басейні річки каналів та водозаборів. В цей час гідрологічні дослідження проводяться у комплексі з екологічними та гідробіологічними. Завдяки цьому розглядаються гідроекологічні проблеми гирлової ділянки Дніпра [62], проходять Перша (1970 р.) та Друга (1973р.) науково-технічні конференції з питань використання водних ресурсів та збереження екосистеми пониззя.

Наприкінці 70-х – початку 80-х років минулого століття Херсонською гідробіологічною станцією проводились дослідження водного режиму в рамках проекту створення водогосподарського комплексу Дунай–Дніпро. Основною ідеєю був транзит частки стоку Кілійського рукава Дунаю через лиманами Північно-Східного Причорномор'я до Каховського водосховища.

Прогноз майбутнього стану екосистеми Дніпровсько-Бузької гирлової області дозволив зробити висновки, щодо недоцільності впровадження цього водогосподарського комплексу. Проведені роботи в подальшому дозволили сформулювати концепцію екосистемного підходу при вивченні водних об'єктів, виділити ключові гідрологічні фактори функціонування водної екосистеми [84, 102].

З 22 лютого 2002 року Херсонська гідробіологічна станція отримала статус самостійної юридичної особи та увійшла до складу Відділення загальної біології НАН України.

Гідробіологічною станцією проводились експедиційні виїзди з метою моніторингу оцінки якості вод гирлової ділянки Дніпра та Дніпровсько-Бузької гирлової області. За багаторічний період була визначена репрезентативна схема станцій та створів, згідно якої відбір проб та первинного матеріалу відбувається і в нинішній період.

Таким чином, останні систематичні дослідження гідрологічного режиму пониззя Дніпра проводились наприкінці 80-х років минулого століття. Послідувачі гідрологічні дослідження гирлової ділянки Дніпра мали епізодичний характер та переважно були супровідними при оцінюванні її екологічного стану і гідробіологічного режиму.

Починаючи з кінця ХХ початку ХХІ століття обсяг гідроекологічних та екогідрологічних знань дозволив включити ці наукові напрямки до освітніх програм провідних університетів України.

Так, у 1998 р. в Одеському державному екологічному університеті розпочалась підготовка студентів зі спеціальності «екологія та охорона навколишнього середовища» за спеціалізацією «гідроекологія». Свою історію кафедра веде з 1947 р. коли вона була заснована та називалась «кафедра водних досліджень». Першим завідувачем кафедри був І.Ф. Бурлай, який керував кафедрою до 1968 року. У 1969 році кафедра змінила свою назву на «кафедру водних досліджень, гідравліки та геодезії». У 1979 р. завідувачем кафедри став д.геогр.н., проф. О.Г. Іваненко. З 1998 року, у зв'язку з відкриттям напрямку підготовки студентів за спеціалізацією «гідроекологія» при спеціальності «гідрологія та гідрохімія», кафедра стала називатись «кафедра гідроекології та водних досліджень». В 2000 р. кафедра переведена на екологічний факультет.

Кафедра гідроекології та водних досліджень є базовою за спеціальністю «гідроекологія». Вона має значні міжнародні зв'язки, що сприяє різнобічному розвитку та підготовці майбутніх фахівців. В нинішній час кафедрою завідує д.геогр.н., проф. Н.С. Лобода Викладачі кафедри ведуть широку просвітницьку діяльність у сфері гідроекологічних та

екогідрологічних досліджень, постійно приймають участь у Всеукраїнських та Міжнародних екологічних конференціях.

Починаючи з 2002 року в Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка на базі кафедри «гідрології та гідрохімії» створена та функціонує по сьогоднішній день кафедра «гідрології та гідроекології». Завідує кафедрою д.геогр.н., проф. В.К. Хільчевський На базі кафедри публікується періодична наукова збірка «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія», яка з 2000 року постановою ВАК України включена до переліку фахових періодичних видань за спеціальностями «Географічні науки». При кафедрі функціонує «науково-дослідницький сектор гідроекології та гідрохімії», що забезпечує проведення наукових досліджень теоретичного та практичного характеру.

Нами продовження екогідрологічних досліджень пониззя Дніпра проводились згідно загально прийнятих в гідрології та гідробіології методик [32, 68, 72]. Натурні дослідження об'єкту здійснювались впродовж 2009–2015 рр. Спостереження проводились переважно в літньо-осінній період та під час весняного водопілля. В зимовий період велись спостереження за льодовим режимом та його особливостями і характеристиками. Всього до водних об'єктів пониззя Дніпра було зроблено 54 експедиційних виїзди у складі робіт Херсонської гідробіологічної станції НАН України. На об'єктах вимірювались морфометричні, температурні, оптичні характеристики водних мас, швидкості течій, коливання рівнів води, метеорологічні параметри, визначалась кількість завислих у воді речовин та їх генезис, проводився відбір інтегральних проб донних відкладів.

При розрахунках характеристик зовнішнього водообміну руслової мережі та заплави в нинішній час та за попередні роки були використані розрахункові дані щодо внутрішньодобового розподілу витрат води в пониззя Дніпра отримані на основі добових відомостей вироблення електроенергії в створі Каховського гідровузла з архівних матеріалів зазначеної ГЕС за період з 1970 по 2014 рр. [44].

При оцінці течій використана двомірна в горизонтальній площині математична модель циркуляції вод – метод повних потоків [91], адаптована для малих глибин. У якості вхідних параметрів при розрахунках використані морфометричні показники водойм, середні величини притоку та відтоку води, метеорологічні дані.

При дослідженні гранулометричного складу донних відкладів було застосовано ваговий метод [71], за допомогою якого проаналізовано біля 80-ти проб ґрунту з різних типів водних об'єктів.

Використались дані щорічних звітів голови департаменту екології та природних ресурсів Херсонської обласної адміністрації про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області за 2001–2014 рр. [64]

Також, при дослідженнях використано: наявні картографічні та гідрологічні дані, архівні відомості щодо режиму роботи Каховської ГЕС, інші матеріали авторських натурних досліджень, відкрита інформація щодо стану екосистем водних об'єктів за період з 80-х років минулого століття по нинішній час.

Узагальнюючи зазначене в розділі, екологічна гідрологія є науковим напрямом, що стрімко розвивається та використовує методичну базу багатьох суміжних дисциплін, однак, являє собою окрему, незалежну від інших наук, систему знань.

РОЗДІЛ 3

КЛЮЧОВІ ГІДРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА

Екологічний стан гирлової ділянки Дніпра формується під впливом багатьох природних та антропогенних факторів. Одним з цього різноманіття є гідрологічний режим. Його зміни, що активно відбуваються після будівництва Каховської ГЕС, безпосередньо впливають на стан майже всіх біотичних компонентів водної екосистеми пониззя Дніпра, формуючи умови їх існування.

Для об'єкту досліджень, згідно методологічної бази екогідрології, нами було виділено чотири основних блоки ключових екологічно значущих гідрологічних факторів, зміна яких є найбільш вагомим для біотичних та абіотичних показників водної екосистеми. До них належать:

- 1) зовнішній водообмін та характеристики водного балансу екосистеми (коефіцієнт та період зовнішнього водообміну, проточність);
- 2) динаміка вод (швидкість та напрямок течій);
- 3) гідрофізичні властивості водних мас (температурний та льодовий режими, оптичні властивості водних мас);
- 4) донні відклади (тип донних відкладів, потужність мулів).

В екологічному сенсі найбільш суттєві зміни за останні 30 років відбулись у показниках зовнішнього водообміну заплавної водойми пониззя Дніпра. Їх значення в сучасний період збільшились (погіршились) майже вдвічі у порівнянні з 80-ми роками минулого століття. Послаблення водообмінних процесів призвело до зменшення показників динаміки водних мас та активізації процесів мулонакопичення у заплавної водоймах, негативно вплинуло на гідрофізичні властивості і якість водного середовища екосистем пониззя Дніпра.

3.1. Зовнішній водообмін руслової та озерної мереж

В сукупності з глобальними змінами клімату послаблення водообмінних процесів в сучасний період є найбільш вагомим абіотичним елементом екосистеми пониззя Дніпра, що формує умови існування гідробіонтів. Погіршення цих умов перш за все відбилось на процесах життєдіяльності гідробіонтів в окремих водних об'єктах та на екологічному стані пониззя Дніпра в цілому. Саме тому, при проведенні оцінки ключових гідрологічних факторів, що формують сучасний екологічний стан досліджуваної ділянки Дніпра, особливу увагу слід надати саме водообмінним процесам.

Найважливішим абіотичним фактором формування екологічного стану пониззя Дніпра є зовнішній водообмін. В русловій та додатковій мережах гирлової ділянки Дніпра водообмін залежить від багатьох факторів та має різний генезис утворення.

Основним фактором, що зумовлює зовнішній водообмін у заплавах пониззя Дніпра, є коливання рівня у русловій мережі, спричинені попусками води Каховської ГЕС [73]. На коливання рівня води та водообмінні процеси водойм пониззя впливає також режим роботи Каховського гідровузла (кількість піків за добу). Оскільки в сучасний період Каховська ГЕС працює переважно в однопіковому режимі попусків, типовим для пониззя є один підйом та один спад рівня води впродовж доби. За таких умов вода надходить з руслової мережі до водойм один раз. У періоди, коли гідровузел працює у двохпіковому режимі, цикл підняття – спаду рівня води в руслі відмічається двічі впродовж доби. У цьому випадку вода до водойм надходить два рази за добу, що посилює їх зовнішній водообмін майже вдвічі.

Водообмін руслової мережі головним чином залежить від об'єму стоку. Чим більший об'єм води скидається у нижній б'єф, тим швидше відбувається зміна водних мас у руслі та рукавах.

Добові попуски води Каховської ГЕС впродовж всього року зумовлюють короточасні коливання рівня води впродовж доби в русловій системі пониззя Дніпра. Виключення становлять весняні місяці, коли ГЕС працює у безпіковому режимі, тобто скидає постійний об'єм води впродовж доби, не спричиняючи коливань рівня у нижньому б'єфі. Встановлено, що кількість днів роботи у безпіковому режимі за рік прямо пропорційна водності Дніпра. Коефіцієнт кореляції між цими величинами дорівнює 0,82. В інші періоди року відмічаються попуски води один чи два рази за добу (рис. 3.1), які, в залежності від їх об'єму та тривалості, спричиняють коливання рівня у русловій мережі всього пониззя.

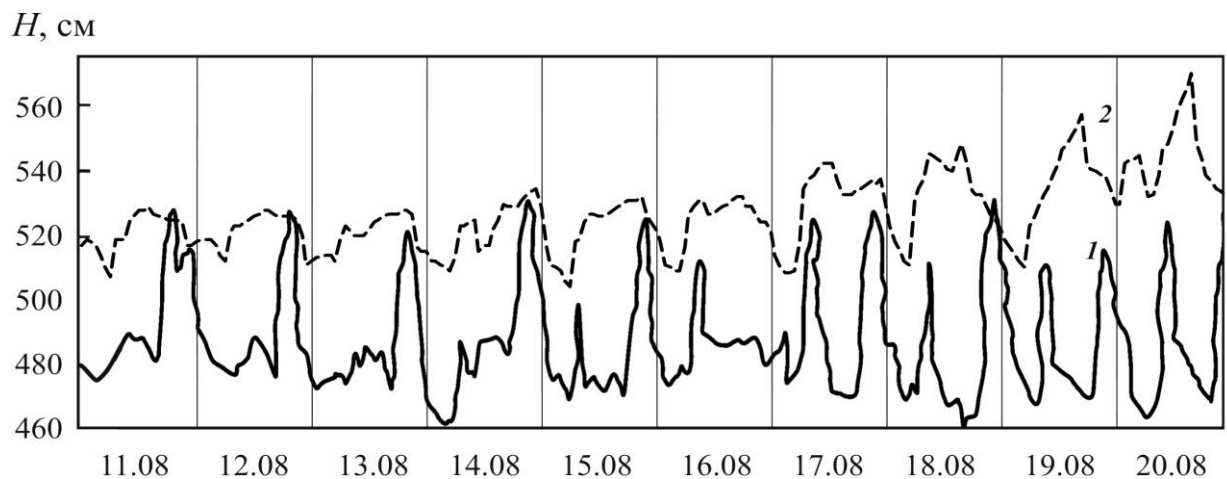


Рис.3.1. Типовий хід рівня води в нижньому б'єфі Каховської ГЕС в літньо-осінній період (H – відмітка над «0» графіка в/п Н.Каховка): серпень 1982 (1) та 2010 (2) років

Раніше, впродовж багатьох років Каховська ГЕС працювала в переважно двохпіковому режимі попусків води впродовж доби. При цьому перевищення витрат води при попусках над базовими (міжпопусковими витратами) складало в середньому $1350 \text{ м}^3/\text{с}$ [86].

Такий режим роботи гідровузла був сприятливим для функціонування екосистеми пониззя Дніпра [89, 102], яка формувалась під його впливом майже 40 років. Згідно даних щодо внутрішньодобового розподілу витрат води нами виявлено, що у 80-ті роки минулого століття два піки впродовж доби спостерігались у 42% випадків, один – у 27% та у безпіковому режимі гідроелектростанція працювала у 31% випадків.

В сучасний період (починаючи з 1994 р.) режим роботи Каховської ГЕС змінився з переважно двохпікового на переважно однопіковий. Зараз два піки за добу відмічається лише у 7% випадків, один – 60%, на безпіковий режим припадає 33%.

Очевидно, що така зміна режиму роботи Каховського гідровузла не на користь екосистемі пониззя Дніпра. На даний час існує ряд наукових праць, що свідчать про погіршення її екологічного стану. Так, багаторічні натурні дослідження фахівців Херсонської гідробіологічної станції НАН України показують, що екологічний стан пониззя Дніпра погіршився за багатьма показниками [1].

Пониззя Дніпра є районом, де не лишилось ділянок з природними умовами існування гідробіонтів. Гідрографічна мережа за останні роки також зазнала значних змін. Активізувались процеси, пов'язані з заростанням та пересиханням невеликих озер, проток, ериків, формуванням стариць.

В останнє десятиріччя відмічено підвищення видового різноманіття синьозелених водоростей, котрі зайняли друге місце після зелених [1]. Частка водоростей Bacillariophyta та Chlorophyta в сучасний період зменшилась, натомість збільшилась частка Cyanophyta та Euglenophyta у структурі фітопланктону, що свідчить про евтрофування водних екосистем досліджуваного регіону.

За показником «кількість сапрофітних бактерій», що характеризує забруднення побутовими стоками та є показником трофічного стану водних об'єктів, лише у русловій мережі Дніпра вода відповідає категорії «добра». В багатьох водоймах і протоках пониззя вода відноситься до категорії «брудна» [28].

Впродовж останніх десяти років відмічається збільшення розмірів заростей вищої водної рослинності в зонах мілководь. В теперішній час вони сягають 20–30 м за шириною, в той час як у 50-х роках минулого століття їх ширина не перевищувала 5–10 м. Зіставлення літературних джерел щодо

складу рослинних формацій з сучасними даними натурних досліджень виявило незворотні зміни у стані екосистеми пониззя Дніпра [1].

Закономірності розподілу макрзообентосу пониззя Дніпра у порівнянні з минулими роками збереглися, однак кількісні показники (біомаса, питома кількість фауністичних груп, щільність гідробіонтів) значно знизились [1].

Основним чинником, що призвів до вищезазначених змін екологічного стану пониззя, є послаблення водообмінних процесів, яке в свою чергу зумовлене переходом Каховської ГЕС на переважно однопіковий режим роботи впродовж доби. Незважаючи на те, що внутрішньодобові коливання витрат води при однопікових попусках в теперішній час можуть навіть перевищувати $1350 \text{ м}^3/\text{с}$, водообмін між русловою та придатковою мережами послабився майже вдвічі [86]. Впродовж року це особливо помітно в літньо-осінній період, коли поряд з абіотичними факторами формування екологічного стану екосистеми пониззя Дніпра суттєвої ролі набувають біотичні чинники, серед яких переважаючим є заростання невеликих проток вищою водною рослинністю.

Нами були розраховані нормальні значення періодів зовнішнього водообміну водойм пониззя в сучасний період та зіставлені з їх значеннями у 80-ті роки минулого століття [73]. Розрахунки представлені у табл. 3.1.

З наведених даних видно, що в сучасний період у порівнянні з попередніми роками водообмінні процеси у водоймах пониззя помітно послабились. Найбільше їх зниження спостерігається у водоймах придельтової ділянки Дніпра, водний режим яких зазнає найбільшого впливу роботи Каховської ГЕС. Періоди зовнішнього водообміну тут збільшились в середньому на 3 доби за останні 30 років, що у значеннях відносних відхилень складає 34,1%. В озерах Довге, Хрещате, Кругле, Сабецький лиман ця різниця сягає значень 47,6–48,6%.

Водойми, які розташовані в дельті Дніпра, значних змін у водообмінних процесах за останні 30 років не зазнали. У них, за рахунок

Таблиця 3.1.

Період зовнішнього водообміну основних водойм пониззя Дніпра

Ділянка	Назви водойм	Період водообміну, доба		Збільшення періоду водообміну	
		у 80-ті роки	сучасний	доба	відсотки
Придельтова ділянка Дніпра	оз. Довге	9,71	14,34	4,63	47,7
	оз. Хрещате	9,53	14,07	4,54	47,6
	оз. Кругле	11,39	16,93	5,54	48,6
	Верхній Сабецький л-н	9,57	14,14	4,57	47,8
	Нижній Сабецький л-н	1,66	2,45	0,79	47,6
	оз. Великі Дуплечі	9,82	14,29	4,47	45,5
	оз. Малі Дуплечі	17,77	25,83	8,06	45,4
	оз. Лебедине	11,01	15,74	4,73	43,0
	Казначіївський лиман	2,50	3,50	1,00	40,0
	Фроловський лиман	2,65	3,58	0,93	35,1
	Олексіївський лиман	7,03	7,84	0,81	11,5
	Голубов лиман	4,69	5,33	0,64	13,6
	оз. Вчорашнє	6,34	7,19	0,85	13,4
	оз. Кругле	7,27	7,93	0,66	9,1
	оз. Бурякове	11,30	13,01	1,71	15,1
Дельта Дніпра	оз. Дикеньке	11,86	13,15	1,29	10,9
	оз. Полякове	9,61	10,64	1,03	10,7
	Кардашинський лиман	7,58	8,27	0,69	9,1
	оз. Назарово-Погоріле	19,05	21,79	2,74	14,4
	оз. Закитне	8,00	8,92	0,92	11,5
	оз. Скадовськ-Погоріле	16,43	18,92	2,49	15,2
	оз. Рогозувате	11,54	13,95	2,41	20,9
	оз. Безмен	9,27	9,63	0,36	3,9
	оз. Чичужне	5,78	6,12	0,34	5,9
	оз. Горіле	21,75	23,48	1,73	8,0
	оз. Нижнє Солонецьке	10,54	11,33	0,79	7,5
	оз. Бублиця	5,40	6,00	0,60	11,1
	оз. Нижній Круглик	9,52	10,08	0,56	5,9
	оз. Борщове	10,20	11,42	1,22	12,0
	оз. Золоте	7,51	8,06	0,55	7,3
	оз. Дідове	7,52	8,55	1,03	13,7
	лиман Збур'ївський кут	6,55	7,30	0,75	11,5
	оз. Краснюкове	7,54	8,39	0,85	11,3
оз. Гапка	7,09	7,89	0,80	11,3	
оз. Лягушаче	11,72	12,59	0,87	7,4	

природного коливання рівня води внаслідок рівневих денівеляцій Дніпровсько-Бузького лиману, періоди зовнішнього водообміну в середньому змінились лише на 10% від тих, якими вони були у 80-ті роки минулого століття. Незважаючи на збільшення періоду зовнішнього водообміну водойм за рахунок зміни режиму роботи Каховської ГЕС, в дельті (нижче м. Херсон) коливання рівня лиману лишаються провідними чинниками водообмінних процесів у заплавах водоймах.

Водообмін руслової мережі дещо інший. Інтенсивність його залежить від добового об'єму попуску та руслової ємності. Для водотоків більш поширеним та прийнятним показником зміни водних мас є проточність русла. Проточність (середня швидкість течії в середньому поперечному перерізі) для окремих рукавів пониззя розраховується за формулою:

$$V_{\text{ср}} = Q_{\text{пр}} / S_{\text{ср}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{пр}}$ – добова витрата води в протоці ($\text{м}^3/\text{с}$), що визначається як частка від загальної витрати в основному руслі Дніпра у створі Каховської ГЕС, $S_{\text{ср}}$ – середня площа поперечного перерізу протоки.

В пониззі Дніпра нараховується 46 основних водотоків (рис.3.2).

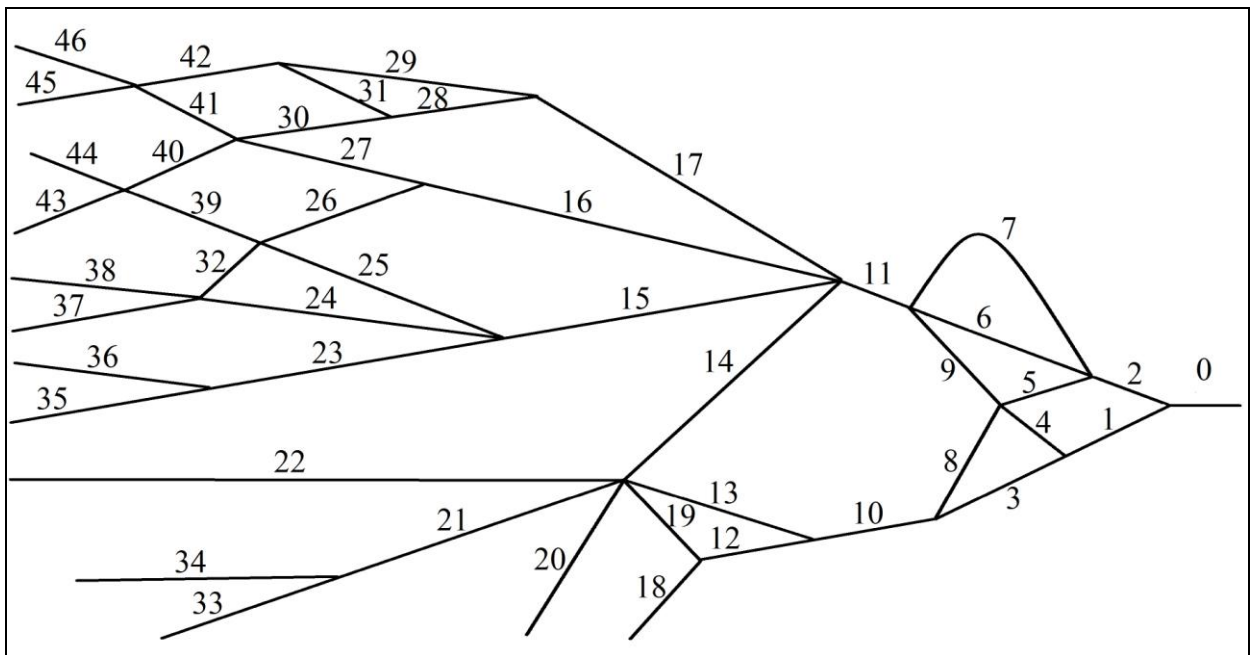


Рис. 3.2. Схема руслової мережі пониззя Дніпра

Примітка: Цифри над лініями – номери водотоків згідно табл. 3.2

В роботі [13] наведені результати розрахунків частки стоку в рукавах дельти Дніпра за методом ітерацій [23]. На їх основі, враховуючи сучасні дані щодо стоку Дніпра, ми розраховали розподіл витрат по рукавах та визначили проточність руслової мережі пониззя у характерні періоди року (табл. 3.2). Середні річні значення проточності руслової мережі пониззя Дніпра коливаються в межах від 0,03 до 0,33 м/с. Найбільш проточними є основне русло Дніпра та головні магістральні рукави (Рвач, Бакай, Голопристанська Конка). Впродовж року найбільша проточність руслової мережі пониззя відмічається в період весняного водопілля (березень – травень), найменша – під час літньо-осінньої межени (липень – вересень). В зимовий період проточність сягає значень дещо вищих за середньорічні.

Такі значення проточності руслової мережі пониззя Дніпра не є високими. В основному руслі її значення впродовж року варіює в межах 0,17–0,36 м/с – це майже вдвічі менше проточності головних рукавів в дельтах інших великих річок. Наприклад, проточність основного рукава Нижньої Волги складає в середньому 0,60–0,65 м/с, сягаючи інколи 1,00 м/с [8]. В Кілійському рукаві дельти Дунаю середня проточність складає 0,6 м/с та коливається в межах 0,20–2,50 м/с [85].

Для оцінки водообмінних процесів руслової мережі також можна використовувати традиційний показник – період зовнішнього водообміну. Його динаміка за сезонами наведена в табл. 3.3.

Період зовнішнього водообміну руслової мережі пониззя змінюється від 0,05 до 2,95 діб. Повільніше всього вода змінюється в основному руслі Дніпра, Чайці, Кошовій та Цюрупінській Конці. До проток з максимально активним водообміном відносяться протоки Канава, Переволока, середня частина рукава Рвач.

Водотоки пониззя за періодом зовнішнього водообміну можна поділити на три групи. До першої належать протоки, у яких вода змінюється менше ніж за 0,15 доби (майже 4 години). Період водообміну проток другої групи складає 0,16–1,0, третьої – більше однієї доби.

Таблиця 3.2.

Проточність руслової мережі пониззя Дніпра у різні сезони року

Номер рукава	Назви рукавів	Частка стоку в рукаві	Проточність у різні пори року, м/с			
			зима	весна	літо-осінь	середня за рік
0	Основне русло Дніпра	1,000	0,274	0,358	0,167	0,267
1	Цюрупінська Конка	0,030	0,148	0,193	0,090	0,144
2	Дніпро (Херсон)	0,970	0,205	0,268	0,125	0,200
3	Чайка	0,014	0,096	0,126	0,059	0,094
4	Цюрупінська Конка 2	0,017	0,067	0,088	0,041	0,065
5	Старий Дніпро	0,270	0,129	0,169	0,079	0,126
6	Вільховий Дніпро	0,660	0,232	0,303	0,142	0,226
7	Кошова	0,035	0,115	0,150	0,070	0,112
8	Голопристанська Конка	0,140	0,230	0,301	0,140	0,224
9	Старий Дніпро 2	0,150	0,180	0,235	0,110	0,175
10	Голопристанська Конка 2	0,150	0,230	0,301	0,140	0,224
11	Забіч	0,850	0,336	0,440	0,205	0,328
12	Голопристанська Конка 3	0,140	0,175	0,230	0,107	0,171
13	Солониha	0,016	0,105	0,137	0,064	0,102
14	Серединка	0,025	0,098	0,128	0,060	0,095
15	Бакай	0,480	0,221	0,289	0,135	0,215
16	Рвач	0,330	0,260	0,340	0,159	0,254
17	Підпільня	0,009	0,111	0,145	0,068	0,108
18	Канава	0,006	0,276	0,361	0,169	0,269
19	Голопристанська Конка 4	0,130	0,159	0,209	0,097	0,155
20	Переволока	0,001	0,197	0,258	0,120	0,192
21	Голопристанська Конка 5	0,160	0,170	0,223	0,104	0,166
22	Нетребка	0,011	0,072	0,095	0,044	0,070
23	Бакай 2	0,420	0,193	0,253	0,118	0,188
24	протока Старий Дніпро	0,011	0,120	0,157	0,073	0,117
25	Домаха	0,050	0,172	0,226	0,105	0,168
26	Вільхова	0,024	0,099	0,130	0,061	0,097
27	Рвач 2	0,300	0,295	0,387	0,181	0,288
28	Борщовка	0,004	0,055	0,072	0,034	0,054
29	Підпільня 2	0,006	0,074	0,097	0,045	0,072
30	Борщовка 2	0,002	0,028	0,036	0,017	0,027
31	Гирло	0,002	0,055	0,072	0,034	0,054
32	Домаха 2	0,060	0,098	0,129	0,060	0,096
33	Стара Конка	0,012	0,055	0,072	0,034	0,054
34	Нова Конка	0,140	0,161	0,211	0,098	0,157
35	Бакай	0,380	0,107	0,140	0,065	0,104
36	Свинячка	0,037	0,075	0,098	0,046	0,073
37	Домаха 3	0,050	0,115	0,150	0,070	0,112
38	Василькова	0,016	0,147	0,192	0,090	0,143
39	Вільхова 2	0,020	0,138	0,180	0,084	0,134
40	Литвинка	0,018	0,124	0,162	0,076	0,121
41	Рвач 3	0,290	0,285	0,373	0,174	0,278
42	Озеро Дідове	0,007	0,024	0,032	0,015	0,024
43	Бугаз	0,021	0,018	0,024	0,011	0,018
44	Литвинка 2	0,017	0,130	0,170	0,080	0,127
45	Рвач 4	0,290	0,306	0,401	0,187	0,299
46	Рвач 5	0,004	0,049	0,064	0,030	0,048

Таблиця 3.3.

Період зовнішнього водообміну водотоків пониззя Дніпра по сезонах

Номер рукава	Назви рукавів	Об'єм води в рукаві, тис. м ³	Період водообміну, доба			
			зима	весна	літо-осінь	серед-ній за рік
0	Основне русло Дніпра	343000	2,88	2,20	4,71	2,95
1	Цюрупінська Конка	4900	1,37	1,05	2,24	1,41
2	Дніпро (Херсон)	91400	0,79	0,60	1,29	0,81
3	Чайка	3600	2,16	1,65	3,53	2,21
4	Цюрупінська Конка 2	3850	1,90	1,45	3,11	1,95
5	Старий Дніпро	14400	0,45	0,34	0,73	0,46
6	Вільховий Дніпро	34500	0,44	0,34	0,72	0,45
7	Кошова	6680	1,60	1,22	2,62	1,64
8	Голопристанська Конка	2520	0,15	0,12	0,25	0,15
9	Старий Дніпро 2	8050	0,45	0,34	0,74	0,46
10	Голопристанська Конка 2	4950	0,28	0,21	0,45	0,28
11	Забіч	16400	0,16	0,12	0,26	0,17
12	Голопристанська Конка 3	3300	0,20	0,15	0,32	0,20
13	Солониха	1680	0,88	0,67	1,44	0,90
14	Серединка	1770	0,59	0,45	0,97	0,61
15	Бакай	19200	0,34	0,26	0,55	0,34
16	Рвач	10300	0,26	0,20	0,43	0,27
17	Підпільня	179	0,17	0,13	0,27	0,17
18	Канава	60	0,08	0,06	0,14	0,09
19	Голопристанська Конка 4	338	0,22	0,17	0,36	0,22
20	Переволока	10	0,06	0,04	0,10	0,06
21	Голопристанська Конка 5	7770	0,41	0,31	0,67	0,42
22	Нетребка	945	0,72	0,55	1,18	0,74
23	Бакай 2	9000	0,18	0,14	0,29	0,18
24	протока Старий Дніпро	1390	1,06	0,81	1,74	1,09
25	Домаха	920	0,15	0,12	0,25	0,16
26	Вільхова	733	0,26	0,20	0,42	0,26
27	Рвач 2	2520	0,07	0,05	0,12	0,07
28	Борщовка	200	0,42	0,32	0,69	0,43
29	Підпільня 2	336	0,47	0,36	0,77	0,48
30	Борщовка 2	160	0,67	0,51	1,10	0,69
31	Гирло	30	0,13	0,10	0,21	0,13
32	Домаха 2	2270	0,32	0,24	0,52	0,33
33	Стара Конка	960	0,67	0,51	1,10	0,69
34	Нова Конка	2040	0,12	0,09	0,20	0,13
35	Бакай	14700	0,32	0,25	0,53	0,33
36	Свинячка	2050	0,47	0,36	0,76	0,48
37	Домаха 3	720	0,12	0,09	0,20	0,12
38	Василькова	180	0,09	0,07	0,15	0,10
39	Вільхова 2	360	0,15	0,12	0,25	0,15
40	Литвинка	560	0,26	0,20	0,43	0,27
41	Рвач 3	3090	0,09	0,07	0,15	0,09
42	Озеро Дідове	120	0,14	0,11	0,24	0,15
43	Бугаз	1760	0,70	0,54	1,15	0,72
44	Литвинка 2	288	0,14	0,11	0,23	0,15
45	Рвач 4	1700	0,05	0,04	0,08	0,05
46	Рвач 5	146	0,31	0,23	0,50	0,31

Якщо оцінювати водообмін системи пониззя Дніпра взагалі (орієнтовно її ємність складає $0,64 \text{ км}^3$), то можна визначити, що за рік вона промивається дніпровською водою майже 66 разів (один раз за 5,5 доби). Це достатньо інтенсивний водообмін для такого великого водного об'єкта. Однак, зазначимо, що водна система Кілійської дельти Дунаю промивається дунайською водою ще швидше – в середньому за 3 доби. Внутрішньорічні коливання періоду зовнішнього водообміну руслової мережі пониззя Дніпра невеликі, що зумовлюється регулюванням стоку каскадом водосховищ. Так наприклад, взимку руслова система пониззя промивається за 5,0–5,6 діб, а в період весняного водопілля вода тут змінюється за 3,7–4,5 доби.

Висновки до підрозділу. Водообмінні процеси у водоймах пониззя Дніпра в останні роки послабились. Основною причиною цього є перехід Каховської ГЕС з переважно двохпікового режиму на переважно однопіковий режим попусків впродовж доби. Найбільше сповільнення зовнішнього водообміну відмічається у водоймах придельтової ділянки пониззя. Період їх зовнішнього водообміну збільшився в середньому на 34% у порівнянні з тим, який спостерігався у 80-ті роки минулого століття. Водойми дельти Дніпра, за рахунок переважної дії на них природних коливань рівня води у Дніпровсько-Бузькому лимані, значних змін у водообмінних процесах не зазнали.

У русловій мережі пониззя в цілому вода змінюється в середньому за 5,5 доби. По окремих рукавах значення періоду зовнішнього водообміну складає 0,05–2,95 діб. Сезонні коливання показників водообміну водотоків не мають значного відхилення від середніх річних значень внаслідок зарегульованості стоку Дніпра.

3.2. Динаміка водних мас, як абіотичний компонент екосистеми

До основних елементів динаміки водних мас відносять стокові та вітрові течії, перемішування вод, вітрове хвилювання та коливання рівня води.

У мілководних водоймах пониззя Дніпра течії води є найбільш значущою характеристикою динаміки вод. Від їх характеру, напрямку та інтенсивності залежать умови існування гідробіонтів, видовий склад та розташування їх по акваторії. Крім того вони мають дуже важливе екологічне значення, прискорюючи швидкість розчинення шкідливих речовин у воді та впливають на міграцію і розповсюдження їх у водоймі.

При екогідрологічних дослідженнях водойм пониззя Дніпра не завжди є можливість у повному обсязі оцінити режим течій загальноприйнятими методиками, описаними у відповідних керівництвах та інструкціях. Існуючі методики є досить трудомісткими, займають багато часу і вимагають значних економічних витрат. Результати вимірів часто не дають повного уявлення про течії у всій водоймі, а також при різних гідрометеорологічних умовах. З метою отримання більш повної картини течій у водоймах пониззя Дніпра ми скористались розрахунковими методами дослідження. Методи математичного моделювання течій багато років використовуються в практиці екогідрологічних досліджень різних водних об'єктів України [76, 78, 88] та близького зарубіжжя [3, 42]. Вони не лише дають повне уявлення про режим течій, але й дозволяють прогнозувати їх напрямок і швидкість при різних гідрометеорологічних умовах та у будь-якій частині акваторії водойми.

До теперішнього часу дослідження режиму течій шляхом математичного моделювання успішно застосовувалось для великих за площею водних об'єктів (морів, водосховищ, тощо), але питання щодо прийнятності цих методів для мілководних водойм, якими є озера та лимани пониззя Дніпра, лишається відкритим.

При оцінці течій використана двомірна в горизонтальній площині математична модель циркуляції вод – метод повних потоків, адаптована для малих глибин [91]. У якості вхідних параметрів при розрахунках використані морфометричні показники водойм, середні величини притоку та відтоку води, метеорологічні дані.

Враховуючи специфіку моделі, пов'язану з дискретністю введення параметрів морфометрії і нерівномірністю поля вітру над акваторією, проведено її верифікацію за результатами матеріалів власних натурних спостережень на водоймах пониззя Дніпра. Контрольні заміри параметрів течії проводились у Кардашинському лимані при переважаючому у даній місцевості північно-східному – 5 м/с вітрі, а також при північному – 5 м/с та північно-західному – 6 м/с вітрах. Величини притоку та відтоку води у водоймі розраховувались для витрат через Каховську ГЕС 1203 м³/с (26.04.2012 р.) та 1948 м³/с (15.06.2012 р.). Натурні вимірювання середніх швидкостей течії проводились пневматичним методом [88]. Аналіз результатів зіставлення розрахункових середніх по вертикалі швидкостей течії з вимірними показав їх добру схожість (табл. 3.4).

Середнє значення абсолютної похибки дорівнює 0,66 см/с, а максимальне її значення складає 1,86 см/с. Між розрахованими та вимірними напрямками течій середнє значення абсолютної похибки складає 20°, хоча в окремих випадках може сягати 50–70°.

Середні значення відносних похибок за напрямом та швидкістю течій складають відповідно 13,1 та 14,0%. Лише у декількох випадках їх значення в окремих точках вимірювання перевищували 25%. Такі невеликі відносні похибки свідчать про те, що обраний розрахунковий метод може бути прийнятним для оцінки режиму течій у мілководних заплавах водойм пониззя Дніпра.

Таблиця 3.4.

Значення абсолютних та відносних похибок розрахованих характеристик течій у Кардашинському лимані при різних вітрах

№ ст.	Вітер	Дані натурних вимірювань		Розрахункові дані		Абсолютна похибка		Відносна похибка, %	
		швидкість, см/с	напрямок, °	швидкість, см/с	напрямок, °	швидкість, см/с	напрямок, °	швидкість, см/с	напрямок, °
1	Пн.С. - 5	8,0	230	6,94	220	1,06	10	13.3	4.4
2	- " -	6,2	220	5,83	245	0,37	25	6.0	11.4
3	- " -	3,9	205	3,47	185	0,43	20	11.0	9.8
4	- " -	4,7	220	4,25	225	0,45	5	9.6	2.3
5	- " -	3,9	80	2,97	45	0,93	35	23.9	43.8
6	- " -	4,4	220	3,94	215	0,46	5	10.5	2.3
7	- " -	4,8	200	4,56	200	0,24	0	5.0	0.0
8	- " -	3,0	35	2,70	30	0,30	5	10.0	14.3
9	- " -	3,9	195	3,69	220	0,21	25	5.4	12.8
10	Пн. - 5	8,9	210	7,04	210	1,86	0	20.9	0.0
11	- " -	5,6	215	5,25	165	0,35	50	6.3	23.3
12	- " -	3,0	200	4,75	230	1,75	30	58.3	15.0
13	Пн.З. - 6	6,4	150	6,02	220	0,38	70	6.0	46.7
14	- " -	4,8	185	5,41	180	0,61	5	12.7	2.7
15	- " -	4,5	250	5,04	230	0,54	20	12.0	8.0
Середнє значення похибки:						0,66	20	14,0	13,1

Прикладом використання моделі може бути оцінка динаміки вод у Кардашинському лимані, який знаходиться на лівобережній заплаві Дніпра в районі м. Херсона. Площа водойми 5,3 км², середня глибина – 1,5 м. На рисунках 3.3 і 3.4 наведені схеми циркуляції вод в цій водоймі. Схеми вказують на те, що при штильових погодних умовах вода, яка поступає в лиман з протоки Чайка і двох бічних ериків, протікає в основному по центральній частині водойми. Розрахункова швидкість стокових течій в середньому складає 0,42 см/с, що добре узгоджується з даними натурних досліджень, згідно яким вона варіює в межах від 0,40 до 0,53 см/с.

За наявності вітру структура течій ускладнюється. По акваторії лиману формуються замкнуті циркуляції, конфігурація та інтенсивність яких залежать від напрямку і швидкості вітру. У верхній частині лиману формуються два основних вихори – циклональний та антициклональний. Між ними пролягає основний потік, що має протилежний вітру напрямок.

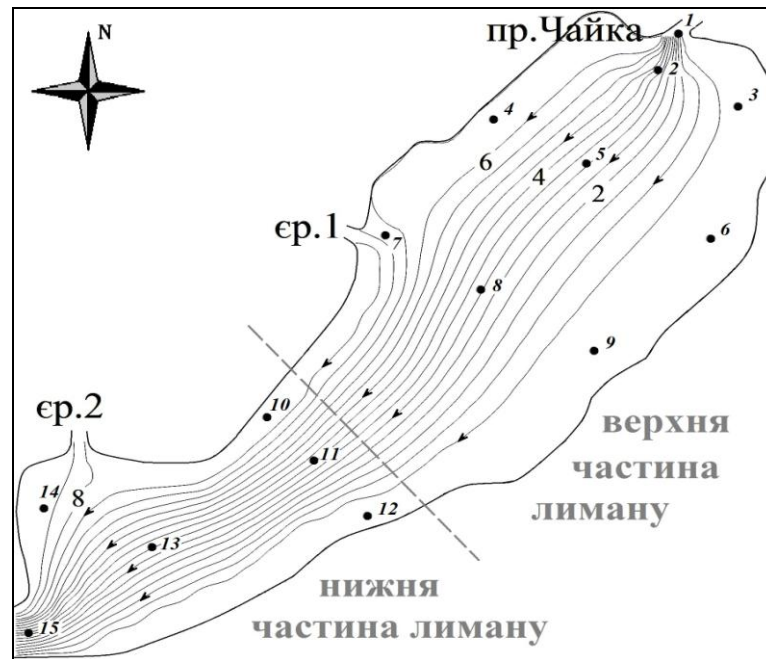


Рис. 3.3. Схема циркуляції вод у Кардашинському лимані при штильових погодних умовах. Цифри курсивом – номери станцій спостереження за характеристиками течії при верифікації математичної моделі

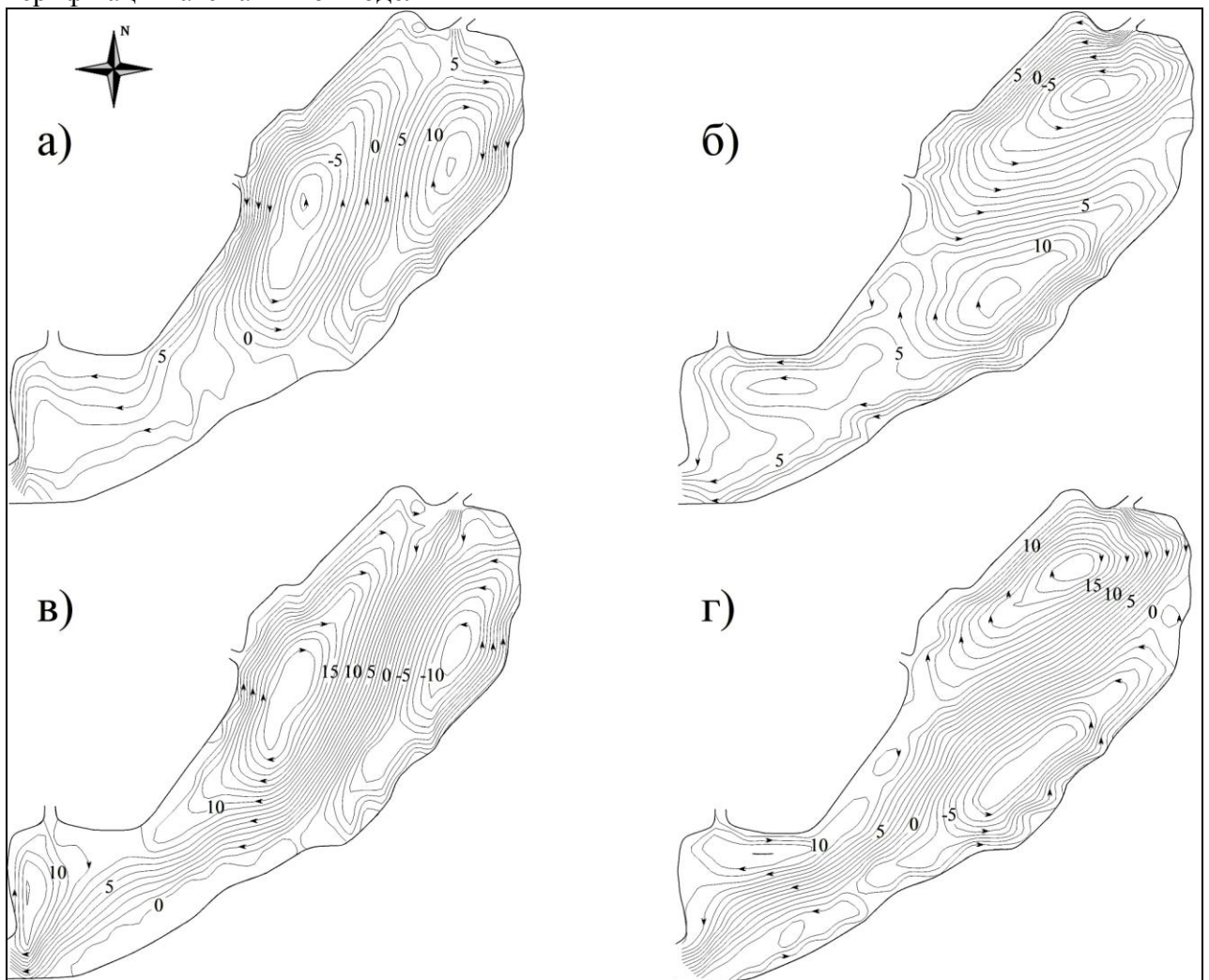


Рис. 3.4. Схема циркуляції вод у Кардашинському лимані при вітрі 5 м/с північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків

Нижня частина лиману мілка, тому водні маси тут рухаються переважно за напрямком вітру, лише біля лівого берега спостерігаються слабкі компенсаційні течії.

При вітрі 5 м/с швидкість течії в лимані збільшується на порядок у порівнянні з штильовими умовами. При меридіональних вітрах вона складає 4,05–5,15 см/с, при широтних – 3,84–4,96 см/с.

Максимальні значення середніх по вертикалі швидкостей течії спостерігаються в прибережній зоні та у нижній більш мілководній частині лиману.

Характерним є те, що конфігурація ліній циркуляцій вод під дією вітру північних та південних напрямків є схожою та різниться лише напрямком течії у вихрових утвореннях. Те ж саме спостерігається і при широтних вітрах. При збільшенні швидкості вітру конфігурація та розташування основних вихрових утворень не змінюється, але збільшується їх інтенсивність. Якщо при вітрі 5 м/с витрата циркуляційного потоку складає 10–12 м³/с, то при посиленні вітру до 10 м/с вона збільшується до 20–25 м³/с. При вітрі 15 м/с загальна витрата сягає 35–40 м³/с.

Як показали дослідження, на водоймах пониззя Дніпра найбільш складні циркуляційні потоки води спостерігаються на ділянках з антропогенно зміненою орографією дна. Прикладом можуть служити схеми течій Стеблівського лиману (рис.3.5).

Тут при будь-яких погодних умовах в нижньому плесі формується рівномірний розподіл ліній току. В той же час на штучно деформованому верхньому плесі (судовий хід, кар'єри, тощо) спостерігається складна система циркуляції вод з наявністю багатоцентрових вихрових утворень.

Одним із аспектів застосування методу математичного моделювання течій є оцінка впливу динаміки вод на процеси самоочищення водних об'єктів. Відомо, що для визначення динамічної складової самоочищення використовують відносну величину $K_d/K_{ст}$ [41], що залежить від швидкості течії наступним чином:

$$K_d/K_{ст} = v / (0,0031 + 0,0348 v),$$

де: $K_{ст}$ – коефіцієнт біохімічного окиснення речовини в нерухомому водному середовищі; K_d – динамічна складова узагальненого коефіцієнта самоочищення, v – швидкість течії в м/с.

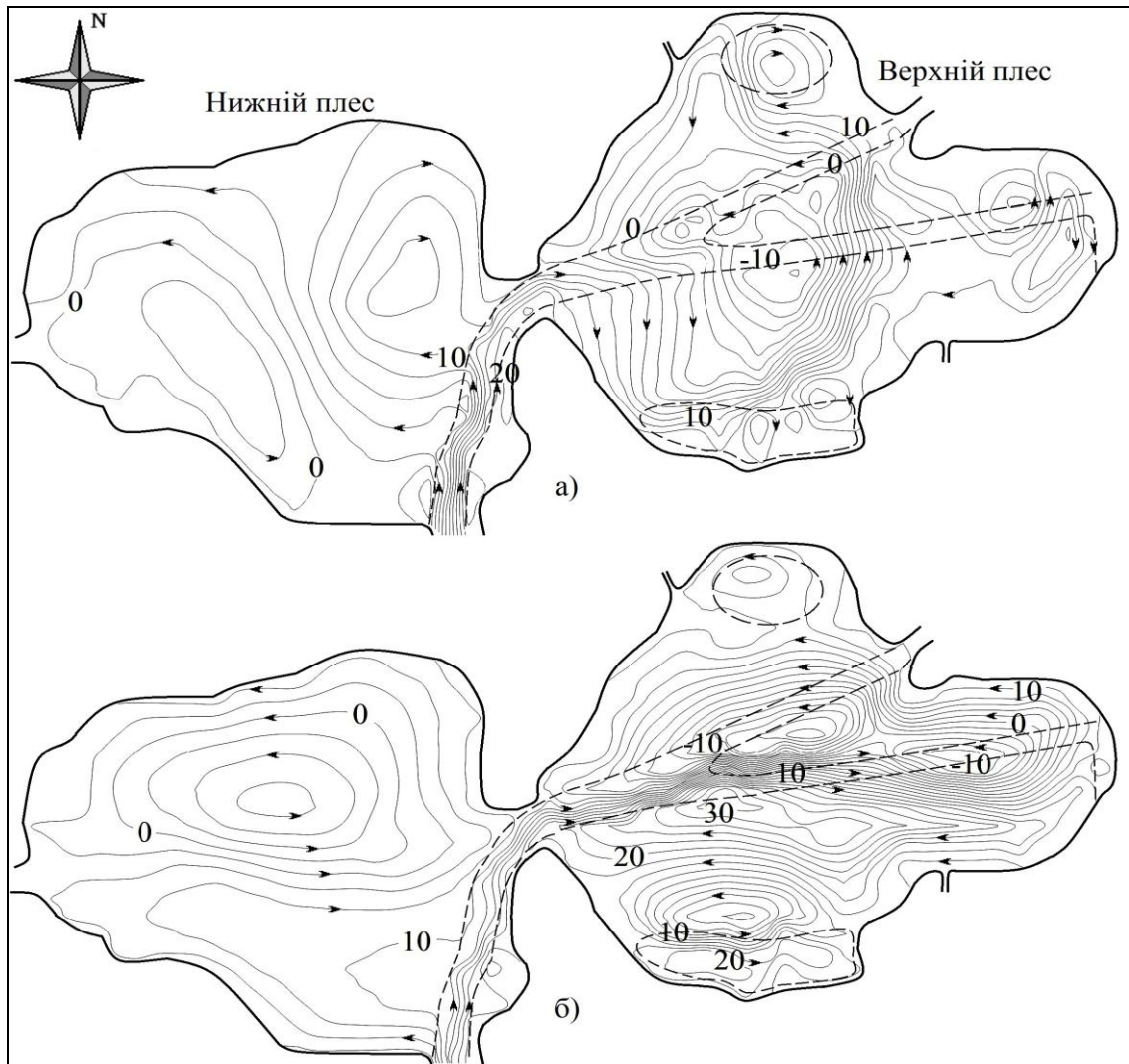


Рис. 3.5. Схема циркуляції вод у Стеблівському лимані при вітрі 5 м/с північного(а) та східного (б) напрямків [19]

Примітка: Пунктиром виділені зони, де проводились днопоглиблювальні роботи

Так, у Кардашинському лимані при середній швидкості вітру динамічна складова самоочищення ($K_d/K_{ст}$) складає 9,2–9,9. При цьому, у нижній частині лиману вона дещо більша (табл. 3.5).

Таблиця 3.5.

Динамічна складова самоочисного потенціалу Кардашинського лиману при вітрі швидкістю 5 м/с

Напрямок вітру	Середня швидкість течії, м/с		Значення $K_d/K_{ст}$	
	нижня частина	верхня частина	нижня частина	верхня частина
Північний	0,046	0,044	9,8	9,5
Східний	0,047	0,042	9,9	9,2
Південний	0,046	0,044	9,8	9,5
Західний	0,047	0,042	9,9	9,2

Окрім режиму течій до елементів динаміки вод також належать менш значущі для водної екосистеми фактори, а саме: перемішування водних мас, коливання рівня води та хвильові процеси.

Конвективне перемішування водних мас відбувається переважно внаслідок формування у водоймах нестійкої температурної стратифікації. Найбільш виражений цей процес у водоймах пониззя Дніпра в жовтні–листопаді, коли йде поступове охолодження поверхневих водних мас. У водоймах зі слабким турбулентним перемішуванням вод конвективне перемішування стає вирішальним гідродинамічним фактором вирівнювання гідрофізичних, хімічних та біологічних показників за глибиною.

Колівання рівня води в русловій мережі після будівництва Каховської ГЕС стали основним фактором, що формує водообмінні процеси заплави пониззя Дніпра, особливо його придельтової ділянки. Як відмічалось нами раніше у підрозділі 3.1, наряду з добовими коливаннями рівня води від попусків Каховського гідровузла, не менш важливим фактором формуючим рівневий режим в руслі є коливання рівня Дніпровсько-Бузького лиману. Найбільший вплив вони мають в дельті Дніпра (нижче м. Херсон).

У водоймах коливання рівня скорочуються на 30–70% від тих, які відмічались в руслі, що суттєво знижує їх значущість для екосистеми.

Вітрове хвилювання у водоймах пониззя слабо виражене за рахунок недостатніх умов для розгону хвиль. Максимально можливий розгін хвиль у них в середньому складає 1,5 км. При швидкості вітру 4 м/с висота хвиль коливається в межах 4–6 см. При сильних вітрах, більше 12 м/с, їх висота не перевищує 15–17 см. Довжина хвиль за таких умов не перевищує 1–2 м. Це невеликі значення параметрів хвиль, але їх достатньо для повного перемішування всієї товщі води у мілководних водоймах пониззя.

Прикладом оцінки дії окремих елементів динаміки водних мас на водний об'єкт може бути аналіз їх впливу на берегову смугу штучної водойми Кардашинський кар'єр, що досліджувалась нами у 2015 р.

Штучно створена водойма Кардашинський кар'єр розташована на лівобережній заплаві дельти Дніпра біля села Кардашинка Голопристанського району Херсонської області. Водойма має овальну форму витягнуту з північного заходу на південний схід (рис. 3.6)



Рис. 3.6. Схема розташування оз. Кардашинський кар'єр

З русловою мережею вона пов'язана однією протокою, що має вихід до р. Чайка. Площа водойми 2,62 км², довжина біля 2,0 км, середня ширина 1,3 км. У водоймі міститься біля 9,96 млн. м³ води.

Берегова смуга помірно похила з різким звалом глибин – вже на відстані 20 метрів від берегової смуги відмічаються глибини більше 3 м. Берег у північній та західній частині водойми пологий, зарослий очеретом, неподалік розташовуються дачі та присадибні ділянки. На півдні та заході водойми, де йде розробка ґрунтів, на березі розташовуються великі кучугури піску місцями висотою більше п'яти метрів. В цих місцях узбережжя обривисте, розмите, при наявності скидів відпрацьованого (органічно насиченого) ґрунту, заросле прибережною рослинністю.

Незв'язні ґрунти, якими представлене узбережжя у місцях видобутку, швидко піддаються розмиру. У зв'язку з цим з метою запобігання зсувів, ерозії та руйнування берегової смуги важливо не допускати формування фронтальної експозиції узбережжя. Кут підводного укосу фіксованого уступу не повинен бути більшим за 15°, надводного – 30°. При порушенні зазначених пропорцій під впливом розмивної здатності водного потоку на мілководді відбуваються зсуви обводненого ґрунту на глибину, обвали прибережних масивів.

Відзначимо, що досить ефективно перешкоджають розмиву берегової смуги прибережні водні рослини. Укорінившись вони зменшують швидкість течій, зменшуючи розмивну здатність потоку. До того ж у фітоценозах частки ґрунтів більш щільно зв'язані між собою, що збільшує їх опір дії несприятливих факторів водного середовища (хвильові процеси, коливання рівню води, тощо) (рис. 3.7).

На рис. 3.7 видно, що частина берегу вільна від прибережних рослин має вигляд бухти. В місцях берегової смуги де зростають куртини очерету сформувались миси, які вдаються до водної поверхні.



Рис. 3.7. Розмивна дія водного потоку на берегову смугу кар'єру

Орографія дна водойми значно антропогенно змінена. Середня глибина озера 3,8 м, максимальні глибини сягають відміток 6,0–6,5 м, хоча, місцями трапляються мілини менше одного метру. Через активний видобуток ґрунту з акваторії водойми у воді відмічається значна кількість завислих речовин, в складі яких переважає мінеральна частка (80–90 % від загальної кількості).

Аналіз промірних робіт глибин показав їх значну мінливість в просторі. Окремі результати промірів глибин наведені на рис. 3.8 та 3.9.

Значний нерівномірний розподіл глибин у водоймі та різкий звал глибин біля узбережжя пов'язаний з активним видобутком піску з акваторії та незначною динамічною активністю водних мас. Навіть у тих районах озера де вже багато років не ведеться розробка ґрунтів дно має нехарактерне для природних водойм окреслення – за рахунок відсутності значних швидкостей течій води, згладжування ложа з часом відбувається дуже повільно.



Рис. 3.8. Схема розташування типових створів промірів глибин. Порядкові номери відповідають початку створу

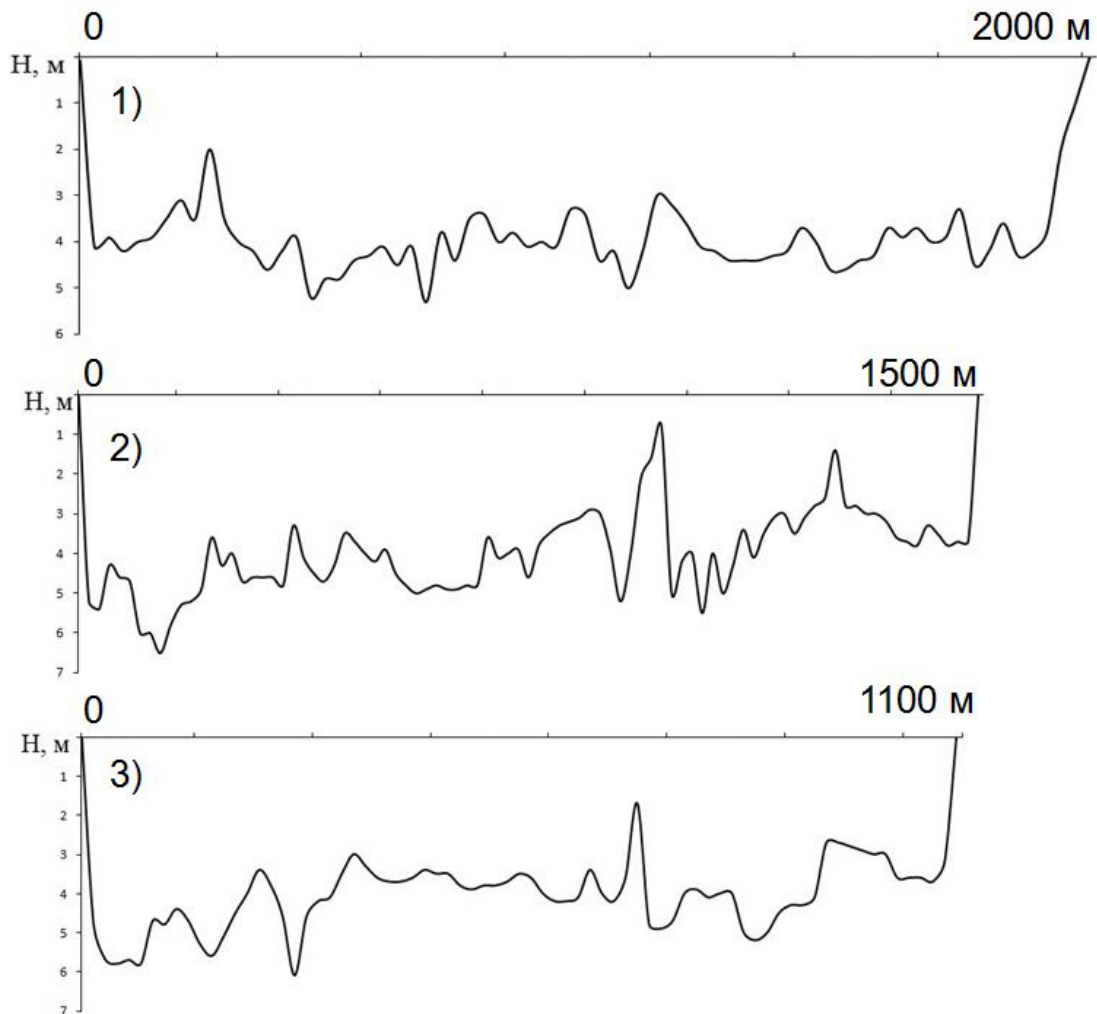


Рис. 3.9. Розподіл глибин по повздовжньому (1) та поперечним (2, 3) створам. Нумерація створів наведена згідно рис. 3.8

Дно кар'єру зайнято дрібним мулом помірно насиченим органічними речовинами. У місцях видобутку ґрунту середні значення діаметру часток складають близько 0,17 мм, на іншій частині акваторії крупність дноформуєчих часток складає переважно 0,07–0,12 мм. Для розмиву часток такої крупності та переформування орографії дна придонні течії повинні складати 0,45–0,60 м/с, чого у водоймі не спостерігається навіть при значному надходженні вод. Середні значення придонних швидкостей течії становлять 0,05–0,15 м/с.

Головні фактори, що формують берегову смугу Кардашинського кар'єру – *вітрові хвилі* і *коливання рівнів води*. Під впливом хвиль відбуваються процеси абразії берегів, акумуляції змитого матеріалу і перенесення його вздовж берегу. Коливання рівнів води визначають вертикальну зону хвильового впливу на берегову смугу, ширину зони затоплення і переробки берегів. Процеси затоплення і підтоплення берегів, також хвильова діяльність в подальшому може сприяти розвитку прибережних геодинамічних процесів: обвалів, зсувів, тощо.

Колівання рівнів води у Кардашинському кар'єрі безпосередньо залежать від їх амплітуди коливань у русловій мережі пониззя Дніпра та пропускної здатності протоки, якою водойма з нею пов'язана. Опосередковано показником інтенсивності динамічної активності вод та коливань рівня води у заплавах водоймах є зовнішній водообмін. Чим більший об'єм води надходить за добу до водойми, тим інтенсивніше коливається рівень води у добовому масштабі та швидше рухаються водні маси по акваторії.

Кардашинський кар'єр належить до водних об'єктів пониззя Дніпра зі слабким зовнішнім водообміном. Не дивлячись а те, що протока, якою вона пов'язана з русловою мережею, досить широка (ширина 75 м, довжина 440 м, середня глибина 2,7 м), не заросла та має добру пропускну здатність, водні маси тут змінюються річковою водою повільно.

Згідно проведених розрахунків, в середньому за добу, до озера надходить біля 405,7 тис. м³ води, це зумовлює повну зміну вод у ньому за 24,5 діб. Такий період зовнішнього водообміну свідчить про слабку змінюваність та динамічну активність водних мас водойми, наявність значних за площею застійних зон, малу амплітуду коливань рівня води.

Для регіону досліджень у русловій мережі середня амплітуда коливання рівня складає 0,2 м. Згідно розрахунків інтенсивності водообміну проведених за методикою [74] встановлено, що від цієї величини до водойми за рахунок опору протоки, в залежності від пори року, доходить до 72–78% коливань рівня з руслової мережі.

Середні добові величини коливання рівня води в Кардашинському кар'єрі впродовж року становлять 0,14–0,16 м. Максимальні значення коливання рівнів відмічаються в літньо-осінній період року та можуть сягати значень до 0,36 м/добу. Мінімальні значення цієї величини відмічаються навесні і складають 0,05–0,07 м на добу.

Такі значення ходу рівня води впродовж доби, хоча й здатні спричинити короткострокове затоплення берегової смуги, в зоні дії якого буде відбуватись переробка берегів, але, як вказують розрахунки, вертикальна потужність цієї зони невелика і значних процесів абразії берегів не викликає.

Більш значущим фактором переформування берегової смуги для Кардашинського кар'єру є вітрові хвилі. Особливо активно під дією вітрових течій відбувається переформування прибережної мілководної частини водойми, оскільки саме на цих ділянках завдяки хвильовим процесам значно збільшується динамічна активність водних мас.

Хвилі виникають під дією вітру на водну поверхню та, за сприятливих умов (достатня довжина розгону, тривалість дії вітру, тощо), можуть збільшуватись до значних розмірів. Зважаючи на це, проаналізувавши кліматичні данні, щодо домінуючих напрямків вітру в регіоні, у водоймі

можна виділити найбільш хвиленебезпечні ділянки та береги, які найбільш схильні до зміни берегової смуги під впливом вітрових хвиль.

Для регіону переважаючими є північні та північно-східні вітри. Штиль спостерігається майже у 20% випадків впродовж року [29]. В зимовий період для району досліджень характерним є домінування вітрів північних, північно-східних та східних напрямків. В літні місяці збільшується повторюваність південних, південно-західних та західних напрямків вітру, але домінуючим напрямком лишається північно-східний.

Впродовж року найбільша повторюваність вітрів припадає на північні, північно-східні, східні та напрямки вітру західної частини горизонту.

Для території Причорноморської низовини характерними є слабкі та помірні вітри (3–5 м/с), повторюваність яких складає більше 80% впродовж року. Найбільші швидкості вітру спостерігаються в перехідні періоди року коли в атмосфері проходить процес зміни холодних (зимових) повітряних мас на теплі (літні) та навпаки. Навесні (березень–квітень) середня швидкість вітру складає 4,1–4,3 м/с, восени (листопад–грудень) – 3,9–4,3 [29].

Виходячи з вище зазначених кліматичних даних, до найбільш вразливих ділянок, що схильні до розмиву вітровими хвилями є навітряні береги, а саме південно-західний та південний (рис. 3.10).

Переважаючі вітри регіону породжують вітрові хвилі, які додатково посилюються максимальним розгоном по акваторії та більшу частину року діють на берегову смугу зазначеної частини водойми. Довжина розгону хвиль в наведеній зоні при вітрах північно-східної чверті, що домінують більшу частину року над регіоном, коливається від 1,5 до 2,0 км. За таких значень розгону хвиль, вже при помірних швидкостях вітру біля південного та південно-західного берегів їх висота сягає значень 10–15 сантиметрів, при сильних вітрах – збільшується до 30 см.

Через помірний розмив берегової смуги в цій частині водойми на берегах формуються круті схили, які нерідко слугують місцем поселення птахів – мешканців біля водних територій (рис. 3.11).

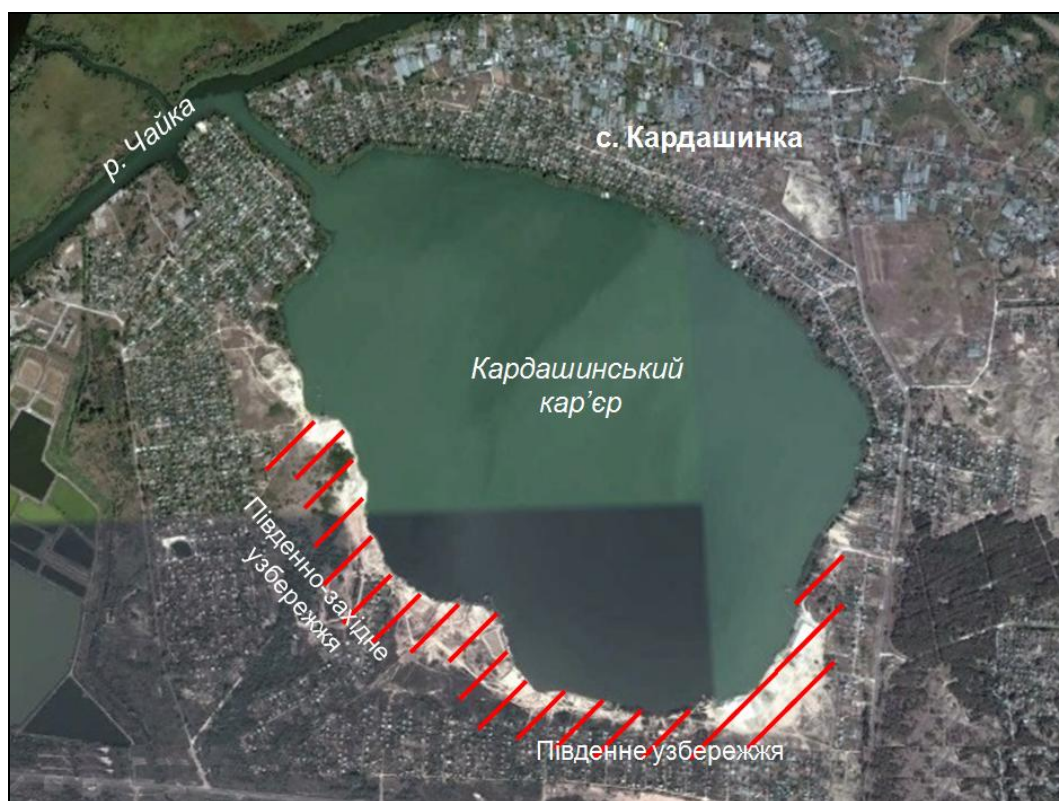


Рис. 3.10. Схема розташування зони найбільш уразливої до розмиву під впливом вітрового хвилювання (заштрихована ділянка берега)



Рис. 3.11. Домівки птахів та фітоценози на крутих розмитих схилах берегів у південній частині водойми

Розрахункові дані та натурні дослідження вказують на те, що висоти хвиль в Кардашинському кар'єрі хоча й не значні, але достатні для формування зони абразії берегів, розмиву берегової смуги, зсувів та активізації інших геодинамічних процесів.

Виходячи з наведеного матеріалу, можна відмітити доцільність впровадження берегоукріплюючих заходів на південно-західному та південному березі Кардашинського кар'єру, як на ділянках найбільш схильних до розмиву.

При невеликих значеннях коливань рівня води та помірній активності хвильових процесів доцільніше всього застосовувати біологічні методи берегоукріплення (висадку прибережних рослин таких як очерет, дерев, чагарників). Укорінені рослини сприяють укріпленню незв'язних берегових ґрунтів покращуючи їх органолептичні властивості. Насадження рослин в районі берегової смуги ефективно знизить розмивну здатність водного потоку в прибережній смузі та динамічну активність хвильових процесів в зоні активного впливу.

Висновки до підрозділу. Проведені дослідження дають змогу стверджувати що математичне моделювання течій може бути одним із реальних важелів оцінки режиму течій мілководних водойм, як основного елемента динаміки водних мас, включаючи заплавні озера пониззя Дніпра.

Застосування методу дає можливість оцінювати загальний вид циркуляції вод при різних гідрометеорологічних умовах, показники рухомості водних мас та динамічну складову процесу їх самоочищення.

Аналіз інших факторів динаміки вод у заплавних водоймах пониззя Дніпра вказує на те, що за рахунок їх невеликого діапазону змін у просторі та часі вони не мають значного впливу на стан водних екосистем досліджуваного регіону.

3.3. Гідрофізичні властивості водних мас пониззя Дніпра

Окремим блоком ключових абіотичних факторів функціонування екосистеми пониззя Дніпра є гідрофізичні властивості водних мас. З цього блоку факторів найбільш значущими є термічний режим, кількість завислих у воді речовин та оптичні властивості водних мас [80].

3.3.1. *Термічний режим* пониззя Дніпра формується під дією кліматичних та гідродинамічних факторів, а також залежить від морфометричних особливостей окремого водного об'єкту.

Річний хід температури води схожий з ходом температури повітряних мас, що панують над регіоном (рис. 3.12).

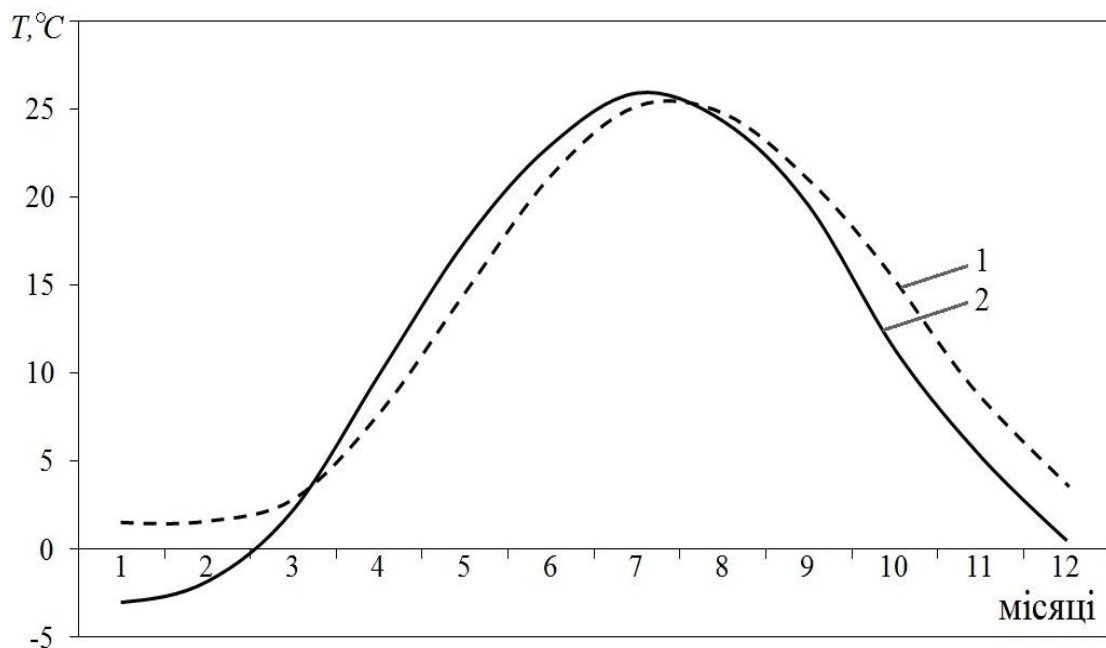


Рис. 3.12. Річний хід температури води в Дніпрі (1) та повітря (2) в районі м. Херсон за 1992–2013 рр.

Весняний прогрів водних мас розпочинається в березні та продовжується до кінця червня, початку липня. Як правило, температура води в русловій системі зростає від греблі Каховської ГЕС в сторону лиману. Різниця між цими ділянками пониззя складає 3–5°C. Вплив Каховського водосховища та каскаду ГЕС взагалі на термічний режим гирлової ділянки

Дніпра незначний. Здебільшого він виражається у більш повільному прогріві водних мас навесні та повільнішому їх охолодженні восени. У липні – серпні спостерігаються максимальні температури води, що коливаються в межах 26–28°C.

З кінця серпня починається період охолодження водних мас, що триває до початку січня. У січні – лютому, в залежності від тривалості морозного періоду, на водотоках та водоймах формується льодостав.

В останні десятиліття на всій земній кулі відбувається підвищення температури повітря, яке наряду з природною циклічністю термічних коливань посилюється антропогенним впливом на атмосферу. Така світова тенденція відбилась на термічному режимі повітря та вод України. Найбільш значне збільшення температур відмічається у північних областях України (зона мішаних лісів). На південному узбережжі Криму підвищення температур не відмічалось. По сезонах потепління більш виражене у зимові місяці та ранньою весною ніж в іншу частину року. В окремі роки в зимові місяці середні місячні температури перевищують норму на 7–9°C (лютий 1995р., січень 2001, 2007р., та ін.). Особливо активно процес потепління відбувається на території України з 90-х років минулого століття. За період з 1991–2007 рр. на території України практично кожного року відмічається від 8 до 10 місяців, що мають додатні відхилення температури повітря від кліматичної норми [4].

Впродовж XX ст. на півдні України відбувається підвищення річної температури повітря від десятиліття до десятиліття. На початку XXI ст. відхилення температури повітря від кліматичної норми у степовій зоні становило 1,5–2,4°C [4]. Такі кліматичні зміни насамперед вплинули на термічний та льодовий режими Дніпра, зокрема, його гирлової ділянки. За даними багаторічних натурних спостережень співробітників Херсонської гідробіологічної станції НАН України середні річні значення температури води у Дніпрі біля м. Херсон за останні 20 років збільшились на 1,4–2,0°C. В окремі місяці впродовж 2002–2010 рр. температура води перевищувала

норму на $3,5\text{--}4,5^{\circ}\text{C}$. Впродовж року практично в усі місяці відмічаються додатні відхилення середньомісячної температури води в Дніпрі від норми. Найбільші відхилення відмічаються в зимові місяці та в липні – серпні [11].

Термічний режим водойм пониззя Дніпра має свої особливості. Водойми прогріваються та охолоджуються швидше ніж води в русловій мережі Дніпра. Різниця температур між руслом та водоймами, в залежності від інтенсивності водообміну між ними складає $3\text{--}7^{\circ}\text{C}$. Максимальна температура води відмічається у липні – серпні та сягає значень $27\text{--}32^{\circ}\text{C}$.

Водообмін з русловою мережею у значній мірі зумовлює термічний режим водойм та гідрофізичні властивості їх водних мас взагалі. Для водойм з періодом зовнішнього водообміну менше чотирьох діб (Нижній Сабецький, Казначіївський лиман, оз. Фролово), за рахунок інтенсивного динамічного перемішування водних мас, характерна гомотермія, навіть в період весняного нагріву та осіннього охолодження. Різниця температур води між руслом та водоймою складає $0,5\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$. Зі збільшенням періоду зовнішнього водообміну ця різниця зростає. Річний хід температур у водоймах з інтенсивним зовнішнім водообміном схожий з їх змінами у русловій мережі.

У водоймах з повільною зміною водних мас процес прогріву та охолодження вод відбувається швидше ніж у водних об'єктах з інтенсивним водообміном, оскільки вплив води, що надходить з руслової мережі Дніпра, на внутрішньо водоймовий термічний режим зменшується. У таких водоймах він здебільшого формується під впливом кліматичних факторів (температура повітря, сонячна радіація) та морфометричних особливостей (глибина, звивистість берегової смуги). В період весняного прогріву у водоймах з повільним водообміном (Малі Дуплечі, Назарово-Погоріле, Лягушаче, Борщове та ін.) температура води значно вища ніж у русловій мережі. Різниця температур сягає $4,0\text{--}6,5^{\circ}\text{C}$. Наприкінці травня у водоймах формується стійка пряма температурна стратифікація. Термоклин у літні місяці, в залежності від морфометричних особливостей водойм, розташовується на глибинах $0,5\text{--}1,0$ м. Зі збільшенням періоду зовнішнього

водообміну глибина розташування термоклину зменшується і збільшується вертикальний температурний градієнт. Згідно даних натурних досліджень у червні 2011 р. в Кардашинському лимані при штильових погодних умовах температурний градієнт коливався в межах $0,4\text{--}1,6^{\circ}\text{C}$ на 1 метр глибини (фактичний період зовнішнього водообміну 13,5 діб). В озері Скадовськ–Погоріле градієнт температури складав $1,8\text{--}2,4^{\circ}\text{C}/\text{м}$ (фактичний період зовнішнього водообміну 24,0 доби).

3.3.2. *Льодові явища* гирлової ділянки Дніпра характеризуються значною мінливістю. В пониззі Дніпра русло вкривається кригою після формування заберегів, сала, шуги (рис. 3.13). Характер замерзання в подальшому зумовлюється ходом температури повітря. При різкому її зниженні впродовж 2–4 діб формується суцільний льодовий покрив. Взимку часто спостерігаються значні коливання температури повітря, що порушують стійкість льодового покриву. Внаслідок короточасних відлиг в районі прибережної смуги може формуватись декілька шарів льоду між якими знаходяться прошарки води товщиною 8–15 см (рис. 3.14).



Рис. 3.13. Початок льодоставу на Вільховому Дніпрі в районі м. Херсон в кінці січня



Рис. 3.14. Два шари льоду в районі прибережної смуги

Льодовий покрив, також, може порушитись внаслідок значних попусків води через греблю Каховської ГЕС в період льодоставу. При формуванні

льоду в тиху та морозну погоду замерзання відбувається поступово однорідною кіркою. При сильних вітрах та значних течіях води в період замерзання льодовий покрив має бугристу структуру. Ближче до фарватеру в руслі ріки утворюються льодові тороси та глиби висотою 50–70 см. В окремих випадках висота торосів перевищує 1 м.

Весняний льодохід проходить в пониззі Дніпра без заторів. Бита крига, у вигляді рихлої маси, виноситься до лиману після чого русло річки повністю звільняється від льодового покриву. Середня тривалість льодоходу складає 14 діб [36]. Скресання починається від Каховської ГЕС.

В останні 30 років змінилися умови льодоутворення та тривалість льодоставу на Дніпрі. Подібні зміни більшість науковців пов'язують з переважанням м'яких зим на півдні України в цей період [4, 11, 12]. Згідно матеріалів спостережень попередніх років (1876–1950 рр.) [36] тривалість льодоставу складала 79 діб. Середня дата початку льодоходу на гирловій ділянці Дніпра була 5 березня (рання – 26 січня, пізня – 2 квітня). Очищення русла від льоду наступало 14 березня. Початок льодоставу в середньому наступав 26 грудня (рання – 20 листопада, пізня – 22 березня). Тривалість періоду з льодом (незалежно від його виду, форми та кількості) в середньому складала 90 діб. Середня товщина льоду в руслі складала 25 см.

В сучасний період (2000–2014 рр.) [12] характеристики льодоставу помітно змінилися, суттєво змістились дати його початку та кінця. Тривалість льодоставу складає 25–30 діб. Початок льодоходу припадає на 20 лютого. Очищення русла від льоду наступає 26 лютого. Початок льодоставу в середньому наступає 23 січня. Тривалість періоду з льодом, в середньому, складає 65 діб. Середня товщина льоду в руслі біля м. Херсон 18 см.

У зв'язку з кліматичними змінами в пониззі Дніпра льодостав наступає, в середньому, на 29 днів пізніше. Його тривалість за останні 50 років скоротилась в 2,6 рази.

У водоймах пониззя Дніпра процес охолодження водних мас починається у серпні – вересні і продовжується до появи льодових утворень.

Льодостав у водоймах більш потужний, ніж у русловій мережі Дніпра. На початковій фазі замерзання по акваторії формуються льодові поля, що вільно переміщаються по водоймі та поступово змерзаються між собою. В мілководних та невеликих за площею озерах льодостав починається з появи заберегів. Стійкий покрив формується у третій декаді грудня і тримається до першої – другої декади березня. Товщина льодового покриву в середньому на 10–15 см більша ніж в руслі, та може сягати в окремі зими 30–40 см.

3.3.3. *Оптичні властивості водних мас* з екологічної точки зору є важливими показниками. Від них залежить ступінь поглинання водною товщею сонячної енергії, що надходить на поверхню водного об'єкту. Найбільш поширеними показниками для оцінки оптичних властивостей водних мас при екогідрологічних дослідженнях є прозорість та колір води. У свою чергу прозорість має тісний прямий зв'язок з кількістю завислих у воді речовин. Ця залежність доволі чітко апроксимується рівнянням [77]:

$$P = 190 \rho_v^{-0,513} 10^{0,006(ППП)},$$

де P – прозорість води, см; ρ_v – кількість завислих у воді речовин, г/м³; ППП – втрати при прокалюванні, %.

Зарегулювання стоку Дніпра призвело до того, що основна маса завислих у воді частинок осідає у дніпровських водосховищах і в гирлову ділянку надходить лише невелика частка від загальної кількості. Цим пояснюється порівняно велика прозорість водних мас в пониззі Дніпра. Прозорість зумовлюють кількість та склад завислих речовин у воді, водність річки, швидкість течій та інтенсивність водообмінних процесів. В період до будівництва та введення в дію Каховської ГЕС ті гідротехнічні споруди, що вже були збудовані (зокрема Запорізька ГЕС), значного впливу на екосистему пониззя Дніпра не чинили. Прозорість води в русловій мережі у той час була нижчою за сучасні значення (табл. 3.6).

Таблиця 3.6.

Прозорість води руслової мережі гирлової ділянки Дніпра у вересні

Назва водотоку	Прозорість, м	
	вересень 1953 р. [66]	вересень 2010–2013р.
Дніпро вище Інгульця	1,25	2,6–4,5
Дніпро в районі м. Херсон	1,25	2,8–4,3
Кошова біля входу до Стеблівського лиману	1,30	1,5–2,0
Кошова нижче оз. Біле	0,50	0,8–1,1
Рвач біля с. Кізомис (Касперовка)	1,00	2,8–4,0
Бакай	1,25	2,5–4,0
Конка біля пр. Канава	1,00	2,5–3,7
Чайка біля виходу з Кардашинського лиману	1,00	1,2–1,3

Після становлення каскаду ГЕС на Дніпрі вода в русловій мережі його пониззя стала прозоріша на 1–3 м. У складі завислих у воді речовин збільшилась частка органічної складової. Якщо раніше вона складала 10–15% [16], то нині, в залежності від сезону, сягає 20–30%.

Прозорість водних мас пониззя Дніпра може зменшуватись під впливом антропогенних факторів. За даними експедиційних досліджень в травні 2011 року прозорість води в Дніпрі біля міста Херсон була 3,0 м, а вже в районі нафтобази складала 2,4 м. В руслі р. Вірьовчини вона була 1,1 м, а в гирлі біля р. Кошової – 1,6 м. В р. Кошовій біля міста Херсон її значення сягало позначки 1,8 м, а в гирлі, нижче оз. Білого в квітні 2013 р. – 1,1 м. Наведені данні доводять, що на антропогенноуражених ділянках прозорість води в руслі менша на 20–40% від загального фону.

Непрямим показником продуктивності водойм є колір води. За кольором води можна судити про генезис та склад розчинених органічних речовин, що містяться у воді. Чиста вода має колір від синього до зеленувато-жовтого. При збільшенні завислих речовин вода змінює колір на зелений, жовтий. Жовтувато-бурого та коричневого кольору надають воді сполуки гумінових та фульвокислот. При великій кількості завислих речовин вода набуває кольору зависі [72].

Впродовж року в русловій мережі гирлової ділянки Дніпра колір води коливається від IX до XI за стандартною шкалою кольору. У водоймах пониззя Дніпра колір води (номер за шкалою) має пряму залежність від періоду зовнішнього водообміну з русловою мережею. У водоймах з періодом водообміну меншим за 3 доби колір води в середньому коливається в межах IX–XII. При періоді зовнішнього водообміну 3–15 діб, що притаманний для більшості водойм гирлової ділянки Дніпра, води мають колір XII–XVII. У водоймах з періодом водообміну більшим за 15 діб колір води змінюється в межах від XVI до XIX, в окремих випадках (оз. Борщове, Скадовськ-Погоріле, Лягушаче) може сягати значень XX–XXII. Сезонні коливання кольору води зумовлюються переважно розвитком фітопланктону і процесами продукції та деструкції органічних речовин у водоймах.

3.3.4. *Седиментаційний режим.* Після спорудження каскаду ГЕС на Дніпрі кількість завислих речовин у водах гирлової ділянки скоротилась. У складі зависі збільшилась органічна частка. Сумарне річне надходження завислих речовин до гирлової ділянки Дніпра становить 679 тис. т. [22]. Середній вміст завислих речовин в руслі Дніпра біля м. Херсон складає 15–20 г/м³, в період весняного водопілля може сягати значень 35–40 г/м³. Середньорічний вміст завислих речовин в рукавах дельти Дніпра трохи більший ніж в руслі придельтової ділянки. Середня кількість завислих у воді речовин складає в рук. Рвач – 24,2, в Бакаї – 19,6, в Конці – 21,8 г/м³ [21].

Впродовж року у водоймах пониззя Дніпра кількість завислих у воді речовин коливається у великих межах – від 1,5 до 363 г/м³ [21]. Серед великої кількості факторів, що зумовлюють кількість завислих у воді речовин та прозорість, домінуючими для водойм гирлової ділянки Дніпра є інтенсивність зовнішнього водообміну та рівень розвитку водних організмів. Чим швидше відбувається водообмін між руслом та водоймою тим більша прозорість і менша кількість завислих у воді речовин. У водоймах з періодом зовнішнього меншим за 2 доби завислі речовини складають 15–18 г/м³,

прозорість – до дна. При періоді водообміну 2–15 діб у водоймах міститься 15–60 г/м³ завислих речовин, середня прозорість води знижується до 0,7–1,5 м. У водоймах з періодом зовнішнього водообміну більше 15 діб завислих речовин, як правило, міститься більше 30 г/м³, прозорість води знижується до 0,2–0,8 м.

В складі зависі у водоймах з періодом зовнішнього водообміну більшим за 6 діб переважають органічні частки, що складають 45–60% від загальної кількості [21, 22]. Для водойм внутрішньорічна динаміка кількості завислих у воді речовин характеризується максимальними значеннями в літній період та мінімальними в осінній. Прозорість води у водоймах, відповідно, має протилежний розподіл впродовж року. Такі особливості пов'язані з сезонними фазами розвитку фітопланктону [16, 66], а також, з процесами каламучення донних відкладів.

Таким чином, гідрофізичні властивості водних мас гирлової ділянки Дніпра за останні 35 років зазнали змін. На фоні глобального підвищення температури повітря змінився термічний та льодовий режими водних об'єктів пониззя Дніпра. Кількість завислих речовин у воді зменшилась, але у їх складі збільшилась частка органічної складової. Ці та інші зміни гідрофізичних властивостей водних мас можуть впливати на стан, як окремих компонентів, так і екосистеми пониззя Дніпра в цілому.

3.4. Донні відклади

Донні відклади руслової мережі та водойм пониззя Дніпра мають свої відмінності. Для руслової мережі притаманні піщані ґрунти, для водойм – мули різної потужності та крупності часток.

Донні відклади *руслової мережі гирлової ділянки Дніпра* представлені пісками та замуленими пісками. Біля Каховської ГЕС седиментують найбільш крупні фракції наносів. Нижче за течією частка крупних фракцій

зменшується, а дрібних – збільшується. По ширині потоку частка крупних фракцій піску зменшується від лінії максимальних глибин до берегів. Місцями зустрічаються мули – переважно у водотоках зі слабкою проточністю (Каменіха, Верхня Конка, Підпільня, Борщовка) та на ділянках з антропогенним навантаженням (Інгулець, Вірьовчина, Кошова).

Рукав Кошова, що відгалужується від основного русла Дніпра в районі міста Херсон, зазнає значного антропогенного навантаження. На його берегах розташовані великі суднобудівні та судноремонтні підприємства, річний порт, цегляний завод, житлові будинки та дачі. Центральну частину русла займають піски та замулені піски. Характерним є те, що в найбільш антропогенноураженій частині ріки (від м. Херсон до с. Комишани) донним відкладам притаманний чорний колір та скрізь фіксується сірководень. Донні відклади берегової смуги (15–20 м) представлені піщаним мулом та у деяких слабо проточних прируслових затоках – мулом.

Річка Вірьовчина протікає на правобережній заплаві дельти Дніпра в районі м. Херсон та впадає в рукав Кошова. Водні маси Вірьовчини у значній мірі засмічені скидами асфальтового заводу та стічними водами очисних споруд, збудованих у 70-ті роки минулого століття. У перші роки після будівництва очисний комплекс забезпечував фізичну та хімічну очистку скидів та суттєвого впливу на якість вод даного водного об'єкту не наносив. На сучасному етапі рівень очистки стічних вод є недостатнім. Через скиди стічних вод до річкової системи потрапляє значна кількість органічних сполук, нафтопродуктів та біогенних речовин [64]. Внаслідок антропогенного впливу донні відклади представлені мулом із значним шаром детриту. Потужність мулистих відкладів у гирлі річки становить 50–60 см. Процес гниття органічних сполук у шарі мулу сприяє виділенню сірководню.

Єрик Чайка протікає вздовж м. Цюрупінськ та впадає у Кардашинський лиман. У 1985 р. між містами Херсон та Цюрупінськ був збудований автодорожній міст, що перетинає Дніпро в районі селища Антонівка та

Цюрупінську Конку. У зв'язку з цим була осушена верхня частина єр. Чайка, який до 80-х років минулого століття брав початок від Цюрупінської Конки в районі озера Голубов Лиман. Такий незначний вплив на водність єрика призвів до зміни складу донних відкладів. Якщо до 80-х років минулого століття дно протоки було зайняте ярусом зануреної рослинності, що росла на замуленому піщаному ґрунті, то у нинішній час донні відклади єр. Чайка в районі Цюрупінська представлені мулами. Берегова смуга єрика заростає вищою водною рослинністю різних ярусів.

Донні відклади в антропогенноуражених частинах водних об'єктів, в залежності від речовин, що їх формують, мають властивості, відмінні від фонових, зокрема характерний запах та колір. Акваторії що знаходяться під антропогенним впливом внаслідок зміни хімічного складу вод піддаються більшому замуленню, ніж природні водні об'єкти.

У водоймах гирлової ділянки Дніпра умови формування донних відкладів безпосередньо залежать від інтенсивності зовнішнього водообміну. Як зазначалось раніше, до водойм з найбільш інтенсивним зовнішнім водообміном належать водойми придельтової ділянки Дніпра (див. табл. 3.1). За рахунок достатньої проточності для цих водойм характерні піщані ґрунти та замулені піски. Навіть у найбільш застійних водоймах цієї ділянки потужність мулів не перевищує 20–25 см.

Водоймам, що розташовані нижче 60-ти км від Каховської ГЕС притаманний слабкіший зовнішній водообмін. Добова амплітуда коливання рівня води на цій ділянці річки у сучасний період становить біля 20 см, що майже вдвічі менші ніж у нижньому б'єфі Каховської ГЕС (табл. 3.7) [44].

Таблиця 3.7.

Середня амплітуда добових коливань рівня води в гирловій ділянці Дніпра за період 2000–2015 рр.

Відстань від Каховської ГЕС, км	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Колівання рівня води, см/добу	36,7	33,3	29,9	26,6	24,2	22,8	21,4	20,1	20,7	21,3

За умови таких незначних добових коливань рівня води період зовнішнього водообміну водойм дельти в теплий період року складає в середньому 10–13 діб, а в деяких перевищує 25 діб. У зв'язку з цим, у водоймах дельти розташованих нижче м. Херсон активно протікають процеси мулонакопичення і тут відмічається найбільша потужність відкладів мулу. Накопичення мулу на цій ділянці відбувається навіть у великих за площею добре проточних водоймах. Прикладом таких водойм є Стеблівський та Кардашинський лимани.

Стеблівський лиман розташований на плавневому масиві пониззя Дніпра в районі міста Херсона у східній частині о. Карантинний. За морфологічною будовою він складається з двох, приблизно однакових за площею плесів – верхнього та нижнього. Між собою вони з'єднані вузьким гирлом. Більше 80% улоговини верхнього плеса зазнало змін внаслідок днопоглиблювальних робіт. Найбільш близьким до природного стану залишилось нижнє плесо, хоча біля східних його берегів поглиблено протоку, що з'єднує водойму з Вільховим Дніпром [19].

В розподілі донних відкладів нижнього та верхнього плесів відзначається зональність за глибиною (рис. 3.15).

На центральній ділянці нижнього плеса, де глибини сягають 1,6–2,0 м, розташована зона мулу, яка складає 42,5% площі дна.

Ближче до берегів зона мулу переходить у зону піщаного мулу, яка займає 20,5% площі. На глибинах 1,0–1,3 м розташована зона замулених пісків (32,0%). В місцях втікання ериків і проток у водойму намиваються невеликі бари. На цих ділянках ґрунт піщаний, з битим черепашником та незначною кількістю детриту (0,5%) (табл. 3.8).

На верхньому плесі центральну ділянку дна нижче ізобати 4 м, де проводились днопоглиблювальні роботи, займають мули та глинисті мули (в сумі 29,9% площі). Потужність відкладів мулу тут складає 40–50 см. Між ізобатами 2 і 4 м розташовані піщані мули (33,2%). Ближче до північного берега на мілинах та у гирловій частині розташовані замулені піски (36,9%).

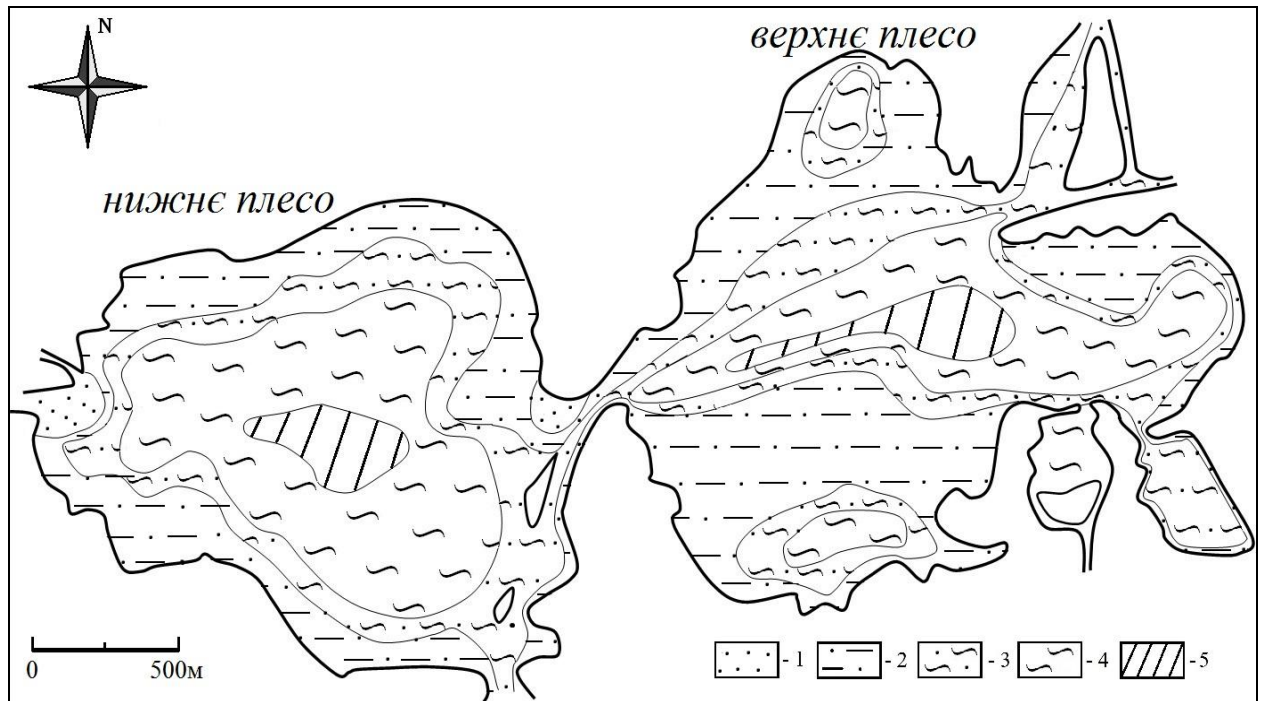


Рис. 3.15. Схема розподілу донних відкладів у Стеблівському лимані. Умовні позначення: 1 – пісок та пісок з битим черепашником, 2 – замулені піски, 3 – піщані мули, 4 – мули, 5 – глинисті мули

Таблиця 3.8.

Структура донних відкладів у Стеблівському лимані [19]

	Нижнє плесо		Верхнє плесо		Вся водойма	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Пісок	0,01	0,5	0,00	0,0	0,01	0,2
Замулений пісок	0,64	32,0	0,79	36,9	1,43	34,5
Піщаний мул	0,41	20,5	0,71	33,2	1,12	27,1
Мул	0,85	42,5	0,57	26,6	1,42	34,3
Глинистий мул	0,09	4,5	0,07	3,3	0,16	3,9
Всього	2,00	100,0	2,14	100,0	4,14	100,0

В цілому, по акваторії лиману переважають донні відклади, представлені замуленим піском та мулом (34,5 та 34,3% площі). Трохи меншу територію займають піщані мули – 27,1% площі. На глинистий мул та піщані ґрунти припадає найменша частка акваторії лиману – 3,9 та 0,2% площі відповідно.

Інтегральні криві гранулометричного складу донних відкладів (рис. 3.16) вказують на те, що ґрунти Стеблівського лиману складаються переважно з фракцій середньої крупності (близькі до рівнофракційного

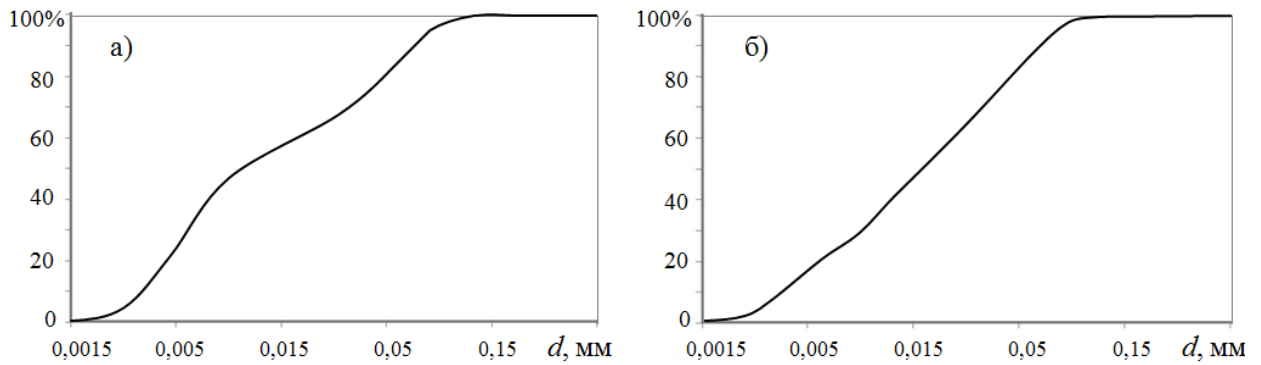


Рис. 3.16. Інтегральні криві гранулометричного складу донних відкладів нижнього (а) та верхнього (б) плесів Стеблівського лиману (осереднені дані для кожного з плесів)

складу). Найменша частка припадає на піщані ґрунти, які у донних відкладах верхнього плесу взагалі не зустрічаються.

Кардашинський лиман розташований на лівобережній заплаві дельти Дніпра в районі села Кардашинка. Верхня частина лиману більш глибока (рис. 3.17 а), вона менш динамічна і процеси мулонакопичення тут відбуваються більш інтенсивно ніж на мілководді.

В розподілі ґрунтів лиману відзначається зональність за глибиною (рис. 3.17 б). Вздовж узбережжя тонкою смугою (70–100 м) простягається зона пісків. В місцях входу проток та ериків до лиману формуються невеликі бари, що складаються з битого черепашника та крупних піщаних фракцій.

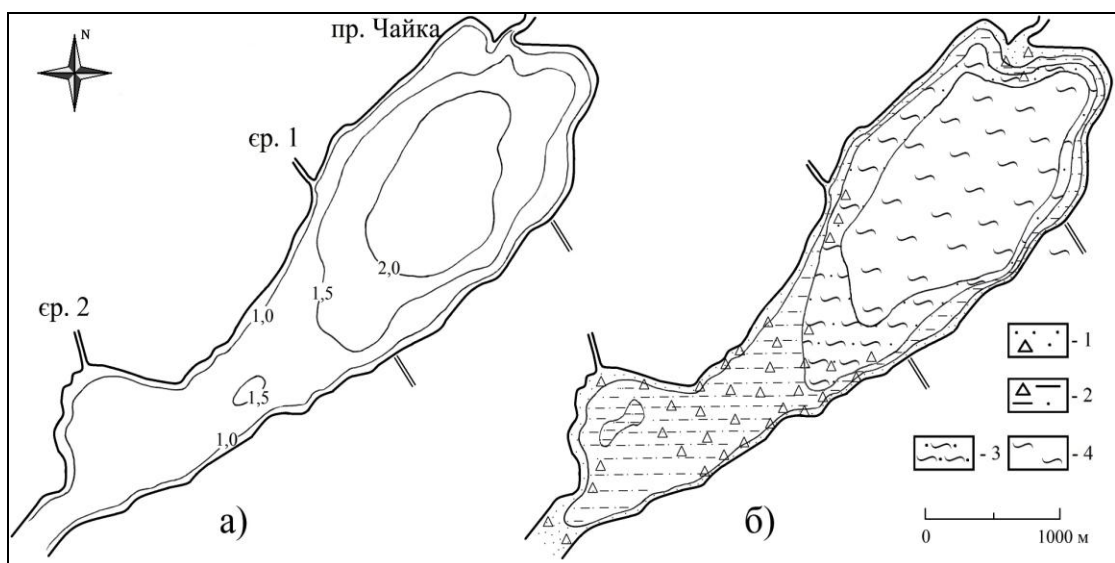


Рис. 3.17. Схема Кардашинського лиману в ізобатах (а) та розподіл ґрунтів по акваторії згідно даних натурних зйомок 2010–2012 рр. (б). Умовні позначення: 1 – пісок та пісок з битим черепашником, 2 – замулені піски з битим черепашником, 3 – піщані мули, 4 – мули

Ґрунти верхньої частини лиману представлені переважно піщаними мулами та мулами. Зона мулів на ділянці глибше 1,7–1,9 м, розташовується ближче до лівого берега лиману. Найбільша потужність мулистих відкладів відмічається у центрі верхньої частини лиману та складає 60 см.

У нижній частині лиману переважає замулений пісок та пісок. Лише на приглибій ділянці біля ґрика 2 знаходиться невелика за площею зона піщаних мулів (див. рис. 3.17 б). Подібний розподіл донних відкладів також пов'язаний з проточністю окремих ділянок лиману. Якщо у верхній частині середні швидкості течій складають 0,5–0,6 см/с, то в нижній, їх значення збільшуються до 1,2–1,4 см/с.

Особливістю Кардашинського лиману є зона перекату між нижньою та верхньою частинами акваторії. Вона представлена мілкою перехідною зоною, що розташована західніше центральної ділянки лиману. Середня глибина тут 1,2 м, максимальна – 1,4 м. Довжина перекату 800 м. Донні відклади представлені замуленими пісками, на яких суцільним шаром розташовуються крупний битий черепашник та черепашковий детрит. Товщина цього шару в середньому сягає 50–60 см. Біля берегів спостерігається тонка смуга (30 м) пісків з битим черепашником.

Таблиця 3.9.

Структура донних відкладів Кардашинського лиману

	Площа, км ²	Частка, %
Пісок	0,522	9,8
Замулений пісок	1,721	32,5
Піщаний мул	1,084	20,5
Мул	1,973	37,2
Черепашковий детрит	0,848	16,0

По акваторії лиману переважають донні відклади у вигляді мулу та замуленого піску – 37,2 та 32,5% площі (табл. 3.9). Меншу територію займають піщані мули – 20,5% площі. На піщані ґрунти припадає найменша частка акваторії лиману – 9,8% площі. Вкриті черепашником ґрунти займають 16,0% площі лиману (848 тис м²).

Відмітимо, що донним відкладам в природних водоймах притаманна зональність за глибиною. На мілководді переважають піски та замулені піски. Із збільшенням глибини у їх складі починають домінувати мулисті фракції. Внаслідок достатньо високої біологічної продуктивності водойм пониззя Дніпра [43] донні відклади в них складаються переважно з органічних речовин та біогенних елементів (на 60–70%).

Потужність мулистих відкладів у водоймах пониззя збільшується не лише в залежності від віддаленості їх від дамби Каховської ГЕС, але й при збільшенні періоду зовнішнього водообміну.

При достатньо інтенсивному зовнішньому водообміні та за умови відсутності антропогенного впливу накопичення мулу у водоймах пониззя не відбувається. Прикладом таких водойм є Нижній Сабецький, Казначіївський лимани та оз. Фролово, що розташовані у заплаві придельтової ділянки Дніпра неподалік від Каховської ГЕС (на відстані 11, 18 та 20 км відповідно).

Інтенсивний водообмін цих водойм сприяє швидкій зміні водних мас (період зовнішнього водообміну 2–4 доби). Донні відклади представлені переважно пісками. Так, у нижньому плесі Сабецького лиману переважають піски, понад берегом у заростях вищої водної рослинності домінують замулені піски (рис. 3.18).

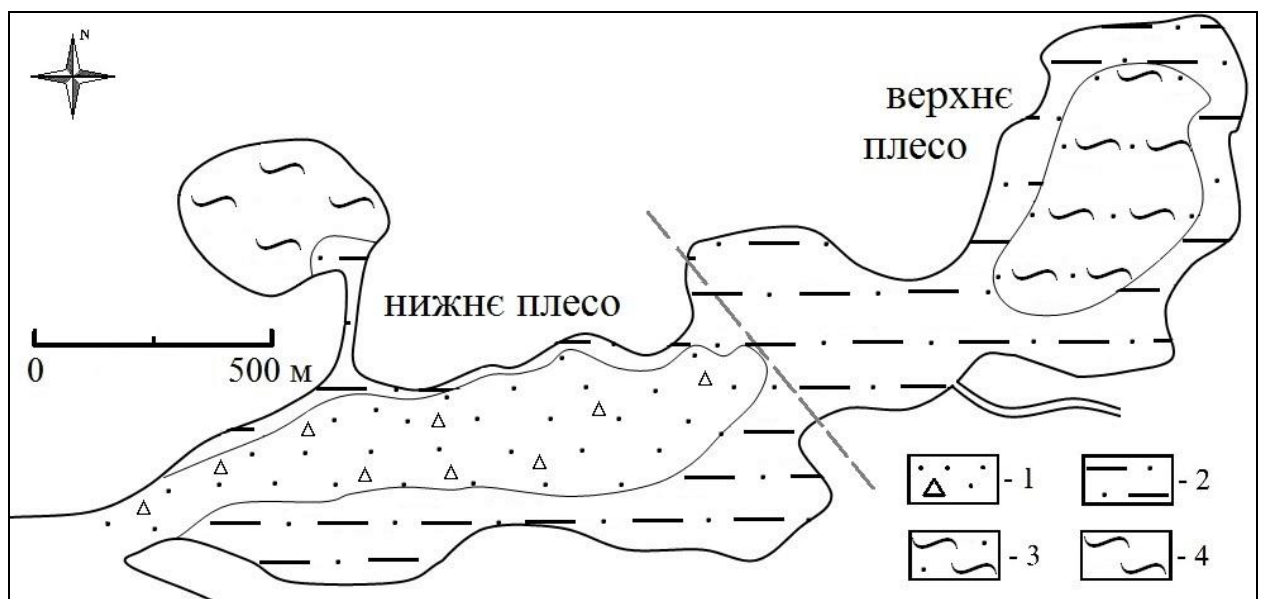


Рис. 3.18. Схема розподілу ґрунтів Сабецького лиману (серпень 2014 р.)

Сезонне послаблення періоду зовнішнього водообміну до 6 діб і більше, на склад донних відкладів нижнього плесу не впливає, седиментації мулу тут не відбувається. У верхній частині лиману період зовнішнього водообміну в теплий період року становить 12–16 діб. Донні відклади плеса представлені замуленим піском та піщаним мулом. Потужність мулистих відкладів у центрі верхнього плеса лиману складає біля 0,1 м.

Середній розмір частинок ґрунту в нижньому плесі складає 0,2 мм, у верхньому – 0,04 мм. В цілому в лимані переважають фракції великої та середньої крупності.

Простежується тенденція до збільшення площ заростання Сабецького лиману вищою водною рослинністю [25], але, за рахунок достатньої проточності водойми, на тип донних відкладів ці зміни не вплинули.

У водоймах дельти з більшим періодом зовнішнього водообміну процеси мулонакопичення відбуваються інтенсивніше.

Озеро Скадовськ-Погоріле (рис. 3.19) розташоване на заході острова Карантинний. Водойма розділена на два плеси, пов'язаних між собою перешийком довжиною 100 м. і шириною 4 м. Загальна площа озера – 0,248 км², середня глибина – 1,2 м. Період зовнішнього водообміну в теплий період року складає 22–26 діб.

Донні відклади представлені значним шаром мулу і детриту (середня потужність 80–120 см). Дно верхнього плесу на глибинах нижче 1,0 м представлене торф'яними мулами, тому вода в цих місцях має світло-коричневий колір (XIX–XX за стандартною шкалою кольору). Береги озера щільно заросли очеретом.



Рис. 3.19. Схема розташування оз. Скадовськ-Погоріле

Олексіївський лиман розташований на лівобережній заплаві вище автодорожнього моста через Дніпро в районі м. Цюрупинськ (рис. 3.20). Період зовнішнього водообміну в теплий період року складає 16 діб. Раніше це озеро відносилось до типу водойм зі слабким водообміном, про що свідчить значний шар

в'язкого глинистого мулу (130 см). Верхній шар донних відкладів вкритий прошарком детриту, потужність якого в середньому складає 15 см. При забудівлі берегової смуги Дніпра в районі Олексіївського лиману дачними кооперативами була розширена протока між озером та основним руслом. Внаслідок цього зовнішній водообмін лиману посилюється майже вдвічі. Але на характер донних відкладів така зміна не вплинула, оскільки існуючих швидкостей течії у водоймі недостатньо для розмиву в'язкого мулистого шару, хоча й достатньо для доброго промивання водної маси озера.

Озеро Закитне розташоване в північно-східній частині острова Великий Потьомкін (рис. 3.21). Площа його становить 0,123 км², середня глибина – 0,6 м. Внаслідок помірно слабого водообміну озера вся його водна поверхня заросла суцільним шаром глечиків жовтих. Період зовнішнього водообміну в теплий період року тут складає 17 діб. Донні відклади представлені мулом і детритом.



Рис. 3.20. Схема розташування оз. Олексіївський лиман



Рис. 3.21. Схема розташування оз. Закитного

Єриком Масловка водойма зв'язується з озером Волокново. Швидкість течії на всьому відрізку не перевищує 5–7 см/хв. Практично на всьому узбережжі острова Великий Потьомкін, включаючи береги протоки Прогной та озера Закитного, розташовані дачі та садові ділянки.

В сезонному розподілі процеси мулонакопичення найменш виражені взимку та активізуються у літньо-осінній період. Це пояснюється рядом причин: протоки та єрики заростають, сповільнюючи обмін води. У цей період спостерігається максимальний розвиток гідробіонтів, які постачають матеріал для формування донних відкладів, процеси продукції органічної речовини переважають над деструкцією на фоні невеликих витрат води через Каховську ГЕС, що спричиняє їх накопичення у водоймах, та ін.

Окремий інтерес представляють донні відклади морського краю дельти Дніпра. Порівнюючи дані сучасних натурних досліджень з літературними джерелами кінця 70-х років минулого століття [16, 19] можна відмітити стійку зміну піщаних ґрунтів на замулені відклади та мули.

Ґрунти затоки Глаголь (рис. 3.22), згідно експедиційної зйомки 1978 р. [16] були представлені замуленими пісками. У нинішній час в донних відкладах відмічається мул, товщина шару 25–30 см.

У донних відкладах берегової смуги острова Гендер, що розташований на сході затоки Глаголь, переважав пісок. У нинішній час вона значно заросла зануреною рослинністю, яка росте на замуленому піску з черепашковим детритом [18].



Рис. 3.22. Схема розташування водних об'єктів на морському краю дельти Дніпра

Затока на острові Бакайському за рахунок широкого гирла, що пов'язує її з Дніпровським лиманом, має достатньо інтенсивний зовнішній водообмін. Дно затоки наприкінці 70-х років минулого століття було представлене дрібним піском, берегова смуга на 5–7 м заросла очеретом. У теперішній час затока оточена очеретом, по плесу зустрічаються рідкі плями глечиків жовтих. Гирлова частина затоки зайнята заростями глечиків жовтих, куширу з харовими водоростями, наявність яких сповільнює водообмін з лиманом. Вершина північного відрогу інтенсивно заболочується, донні відклади представлені чорними глинистими мулами (потужність 0,6–0,7 м).

Ґрунти затоки на острові Бугаз наприкінці 70-х років минулого століття були представлені замуленим піском. В нинішній час в донних відкладах відмічаються мули та глинисті мули з поверхневим шаром детриту. Затока повністю заросла вищою водяною рослинністю.

Зазначені вище зміни у фракційному складі донних відкладів морського краю дельти більшість дослідників пов'язують з режимом роботи Каховського гідровузла, що не забезпечує весняної промивки заток дніпровською водою, та зі зниженням природної водності Дніпра в останні десятиліття.

Ґрунтам водних об'єктів морського краю дельти скрізь притаманне виділення сірководню, що вказує на значну частку органічних речовин у їх складі. Незначна частка мінеральної складової донних відкладів гирлової ділянки Дніпра пояснюється тим, що стік зважених наносів у пониззя невеликий. В Дніпрі біля Херсону в середньому міститься 15–20 г/м³ завислих речовин, максимальна кількість навесні складає 45–50 г/м³ [36].

Безперервний процес мулонакопичення у водних об'єктах впродовж останніх 35 років, при невеликому стоці завислих у воді речовин, вказує на те, що донні відклади формуються за рахунок автохтонного матеріалу, тобто продукуються біотичною складовою екосистеми самого пониззя Дніпра.

Висновки до розділу: Для пониззя Дніпра було виділено чотири основних блоки ключових екологічно значущих гідрологічних факторів, зміна яких є найбільш вагомою для біотичних та абіотичних показників водної екосистеми. До них належать: зовнішній водообмін та характеристики водного балансу екосистеми, динаміка вод, гідрофізичні властивості водних мас та донні відклади.

Основним блоком факторів, що має вплив на всі інші абіотичні складові екосистеми є зовнішній водообмін, який, до речі, відчув найбільш вагомих змін за останні 30 років. Основним фактором, що вплинув на послаблення водообмінних процесів в пониззі Дніпра є перехід Каховської ГЕС з переважно двохпікового на переважно однопіковий режим роботи.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА АБІОТИЧНІ ТА БІОТИЧНІ КОМПОНЕНТИ ЕКОСИСТЕМИ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА

4.1. Зовнішній водообмін елементів водної мережі як фактор формування якості води і стану їх екосистем

Зовнішній водообмін зумовлює формування структурних та функціональних особливостей біоти, впливає на абіотичні показники екосистеми, такі як вміст розчиненого кисню у воді, кількість органічної речовини та характер продукційно-деструкційних процесів.

Баланс первинної продукції та деструкції органічної речовини у водоймах пониззя безпосередньо залежить від періоду зовнішнього водообміну та витрат води через Каховську ГЕС [57]. У водоймах з періодом зовнішнього водообміну менше 2 діб (Сабецький, Казначійський лимани) при будь-яких витратах води баланс від'ємний. Для таких водойм характерний значний самоочисний потенціал, що підвищується зі збільшенням витрат води.

При невеликих середньодобових витратах води (300-650 м³/с) у всіх водоймах з періодом водообміну більшим за 2–3 доби, первинна продукція перевищує деструкцію органічної речовини. Утворюються умови для забруднення водних об'єктів органічною речовиною. При збільшенні витрат води до 1250–1500 м³/с додатній баланс продукційно-деструкційних процесів простежується лише у водоймах з водообміном 5–6 діб і більше (Кардашинський лиман, оз. Кругле). При витратах води вищих за 1750 м³/с у водоймах з періодом зовнішнього водообміну 9 діб і більше, екосистема знаходиться у збалансованому стані, тобто первинна продукція органічної речовини приблизно дорівнює деструкції. При середніх витратах води Дніпра

(1350 м³/с) у водоймах з періодом водообміну більше 6 діб переважають процеси продукції органічної речовини (оз. Біле, Безмен, Краснюкове).

Продукційно-деструкційні процеси в екосистемах водойм пониззя Дніпра відбуваються переважно за рахунок життєдіяльності фітопланктону, характеристики якого також у значній мірі залежать від зовнішнього водообміну. Біомаса фітопланктону (B) впродовж вегетаційного періоду у водоймах з різним зовнішнім водообміном (τ) при різній фоновій водності ріки (Q_{ϕ}) має зворотну залежність яка виражається рівнянням:

$$B = -0,0001(7\tau + 11)Q_{\phi} + 11,$$

У виведеній нами формулі збудованій за матеріалами [56] в якості фонові водності використовуються середні місячні витрати води в створі Каховської ГЕС. Збільшення витрат води призводить до зменшення біомаси фітопланктону у будь якій з водойм пониззя Дніпра (за умови відсутності антропогенного впливу).

В антропогенно змінених водоймах рівень вегетації фітопланктону підвищений як при низьких, так і при високих витратах води в пониззі Дніпра. Так, дослідження фотосинтетичної активності планктонних водоростей у впродовж вегетаційного періоду показали, що за наявності антропогенного навантаження спостерігаються підвищені значення валової первинної продукції. В літні місяці цей показник сягав значень 23,4 г O₂/м³×доба, що на 4–5 г O₂/м³×доба більше ніж у водних об'єктах, які не знаходяться під антропогенним тиском [46].

Ослаблення водообміну може стати причиною інтенсивного розвитку фітопланктону, що найчастіше пов'язано з підвищенням у воді концентрації біогенних елементів. В Стеблівському лимані період зовнішнього водообміну в теплий період року складає 6,4 діб у нижньому плесі та 12,4 діб у верхньому. Середнє значення біомаси планктонних водоростей в цей період у нижньому плесі становить 0,93, у верхньому – 3,34 г/м³ [19].

Вища водна рослинність надає вагомий внесок у функціонування водних екосистем. Вона виробляє необхідні для життєдіяльності гідробіонтів

органічні та неорганічні речовини, насичує воду киснем утилізуючи вуглекислий газ (CO_2), що розчинений у воді, впливає на самоочисну здатність водойм [38].

Питома продукція вищої водної рослинності водойм гирлової ділянки Дніпра залежить від інтенсивності водообмінних процесів. Ця залежність наведена в роботі [54] нами була досить чітко апроксимована рівнянням:

$$P_{\text{ВВР}} = 600 - 136 \tau^{0,45},$$

де $P_{\text{ВВР}}$ – питома продукція вищої водної рослинності ($г/м^2$), τ – період зовнішнього водообміну (доба).

Найбільшою питомою продукцією вищої водної рослинності характеризуються заплавні водойми з періодом зовнішнього водообміну 2–4 доби. До таких водойм належать Нижній Сабецький, Казначійський лимани, оз. Фролово, де продукція рослинності знаходиться в межах 370–500 $г/м^2$ і вище. Зі збільшенням періоду зовнішнього водообміну продукція зменшується, причому, помітніше у водоймах з площею більше 0,5 $км^2$. При послабленні зовнішнього водообміну до 15 діб і більше продукція вищої водної рослинності не перевищує 100 $г/м^2$ [54]. Відхилення від такого співвідношення зумовлюються особливостями окремих водойм (антропогенні чинники, надмірний розвиток вільно плаваючих рослин та ін.).

Достатньо низька проточність водної системи пониззя Дніпра в літньо-осінній період негативно відображається на кисневому режимі, та, як наслідок, на стані бентосних організмів, які в свою чергу є важливою ланкою кормової бази риби. В придонному шарі на ділянках з усіма видами рослинності, окрім занурених рослин та чистоводдя, є ризик виникнення дефіциту розчиненого у воді кисню. Така нестача кисню нерідко спричиняє замори риби, формує несприятливі умови життя для представників донної флори та фауни. Основною причиною зниження проточності водної системи гирлової ділянки Дніпра є малий об'єм попусків води через дамбу Каховської ГЕС, особливо у період літньо-осінньої межени. Тривалість низьких попусків води достатньо чітко співвідноситься з розміром зон гіпоксії (10–30%

насичення води киснем) у водоймах пониззя Дніпра. Залежність наведена в роботі [103] доволі чітко апроксимується рівнянням:

$$F = 6,38 n - (0,014 n + 0,01) Q + 0,22,$$

в якому F – площа водойм гирлової ділянки Дніпра у км², де можливі заморні явища при тривалих низьких добових витратах води через греблю Каховської ГЕС (Q , м³/с), n – кількість діб з малими попусками води.

Чим довша тривалість низьких попусків води через греблю Каховської ГЕС, тим більша площа водойм може мати низький вміст кисню у воді. Важливою передумовою виникнення анаеробних умов в екосистемах водойм є ослаблення зовнішнього водообміну. Якщо період водообміну перевищує 12–15 діб, формуються застійні зони з відповідними негативними наслідками, що зумовлюють погіршення якості водного середовища. Зазначимо, що для нормального функціонування екосистеми та уникнення небезпечних екологічних явищ в пониззі Дніпра, у теплий період року рекомендується дотримання двохразових впродовж доби попусків води з перевищенням витрат над базовими не менше 1350 м³/с [86, 87, 89, 90]. Саме за таких умов водообмінні процеси сприяють нормальному функціонуванню гідроекосистеми гирлової ділянки Дніпра в цілому та окремих її складових.

Для природного розмноження літофільних риб найсприятливіші умови складаються у евтрофних водоймах з періодом зовнішнього водообміну 4–8 діб. До таких відносяться водойми Краснюкове, Біле, Вчорашнє, Кардашинський лиман. В них нереститься більшість видів риб, які мешкають в пониззі Дніпра. Із напівпрохідних до них відносяться лящ, тарань, судак, сазан, а також риби водоймо-річкового комплексу (срібний карась, плоскирка, краснопірка, окунь, щука та ін.). Кількість молоді промислових риб в них коливається в межах 0,36–1,93 екз/м² [52].

Оптимальний зовнішній водообмін для нормального функціонування водної екосистеми пониззя Дніпра можна визначити як найбільш прийнятний для усіх її окремих складових.

Так, для нормального розвитку фітопланктону період зовнішнього водообміну повинен складати 7–9 діб [47]. При більш слабкому зовнішньому водообміні у водоймах може спостерігатись інтенсивний розвиток фітопланктону та, як наслідок, підвищений вміст у воді органічних речовин та біогенів.

Вища водна рослинність має найбільшу питому продукцію у водоймах з інтенсивним зовнішнім водообміном (2–4 доби) [54]. При зменшенні водообміну до 9 діб питома продукція рослин скорочується майже втричі. Найбільш поширеними і достатньо прийнятними для життєдіяльності вищої водної рослинності є водойми з періодом водообміну 4–7 діб [93].

Для розвитку макрозообентосу найбільш сприятливі умови створюються при водообміні у водоймі впродовж 5–11 діб. У цьому випадку виникають умови для формування багатого видового різноманіття бентосних організмів. Однак такий водообмін може привести до зміни видів зообентосних організмів з оксифільних понто-каспійських ракоподібних на менш цінні пелофільні види [60].

Активний зовнішній водообмін є сприятливим для газового режиму водойми навіть у придонних шарах за рахунок надходження збагачених киснем вод і турбулентного перемішування [89]. У водоймах з періодом водообміну 2–5 діб вміст розчиненого у воді кисню зберігається на рівні, який забезпечує інтенсивний розвиток окиснювальних процесів.

Спрямованість продукційно-деструкційних процесів у водоймах пониззя Дніпра також значною мірою визначається їхнім зовнішнім водообміном. При середніх витратах води $1350 \text{ м}^3/\text{с}$ процеси первинного продукування і деструкції органічної речовини практично збалансовані у водоймах з водообміном 5–6 діб [57].

Таким чином, оптимальним для функціонування водної екосистеми заплавної водойми пониззя Дніпра є період зовнішнього водообміну 5–9 діб з середнім значенням 7 діб.

Такі водойми належать до евтрофних водойм, середні показники фітопланктону в них становлять $4,20 \text{ г/м}^3$, зоопланктону – $0,38 \text{ г/м}^3$, бактеріопланктону – $1,36 \text{ г/м}^3$. Макрозообентос представлений високою таксономічною різноманітністю – 5–6 фауністичних груп донних безхребетних, 14–19 видів внутрішньовидових таксонів, до 5 понтокаспійських видів. Середня біомаса бентосних організмів коливається в межах $44\text{--}535 \text{ г/м}^3$. Середня кількість молоді промислових риб складає $1,143 \text{ екз/м}^2$ [52]. За біологічними показниками екологічний стан водойм з періодом зовнішнього водообміну 5–9 діб характеризується як добрий [28].

4.2. Вплив гідродинамічних процесів на функціонування біотичних складових

Важливу роль у водних екосистемах відіграють гідродинамічні процеси (течії, турбулентне перемішування водних мас, хвилювання, коливання рівня води, тощо). Вони зумовлюють розповсюдження речовин по акваторіях та по всій товщі води, швидкість їх трансформації, активізують процеси самоочищення та формують умови функціонування гідробіоценозів.

Після спорудження каскаду ГЕС швидкості течій у русловій та додатковій мережі гирлової ділянки Дніпра знизились. Це призвело до помітних змін у структурі фітопланктону. Сучасний період характеризується збільшенням частки синьозелених і евгленових водоростей, а також, зменшенням ролі діатомових у формуванні структури фітопланктону [45]. Видове різноманіття синьозелених водоростей в останні роки поступово зростає. За рахунок зміни домінуючого комплексу фітопланктону у водоймах відмічається зменшення біомаси водоростей у порівнянні з 1986–1988 рр. [47]. Наприкінці 80-х років видовий склад фітопланктону був представлений видами крупноклітинних збудників «цвітіння» води *Anabaena*, *Aphanizomenon* та великими колоніями *Microcystis*, а в сучасний період –

дрібноклітинними синьозеленими і зеленими водоростями. У високотрофних водоймах Біле та Лягушаче за останні 25 років біомаса фітопланктону зменшилась відповідно в 4,4 і 6,5 разів, а в лимані Збур'ївський Кут – в 1,3 рази. На думку фахівців Херсонської гідробіологічної станції [45] зміни біомаси фітопланктону викликані послабленням водообмінних процесів і, відповідно, зменшенням швидкості течії та динамічної активності екосистем водойм.

Від характеру циркуляції вод у водоймах залежить просторовий розподіл гідробіонтів. Під дією вітрових течій та при виникненні згінно-нагінних явищ фітопланктон концентрується біля навітряного берега. Скупчення планктонних водоростей переміщуються вздовж берегів і під дією циркуляційних потоків знов виносяться до відкритих частин водойми. Концентрація фітопланктону поступово збільшується та набирає максимальних значень в районі локальних коловоротів з мінімальними швидкостями течій [5]. Контрольні виміри кількісних показників фітопланктону проведені нами у водоймах пониззя Дніпра підтверджують цю залежність (рис. 4.3) [33].

При слабкому вітрі північно-східного напрямку чисельність та біомаса фітопланктону розподіляються відносно рівномірно по водоймі, однак, можна відмітити, що їх значення у циклональних вихрах менші ніж в антициклональному полі (див. рис. 4.3 а).

Розподіл між циркуляційними зонами різних типів стає більш контрастним. Це пов'язане з тим, що при посиленні вітру формуються більш стійкі та глибокі вихрові утворення.

Якщо при швидкості вітру 2 м/с південно-західного напрямку різниця по чисельності і біомасі водоростей між найвищим та найнижчим значеннями складала 5,8 млн. кл/дм³ і 1,3 г/м³ (див. рис. 4.3 б), то при вітрі цього ж напрямку швидкістю 5 м/с різниця становила 26,6 млн. кл/дм³ та 2,1 г/м³ відповідно (див. рис. 4.3 в).

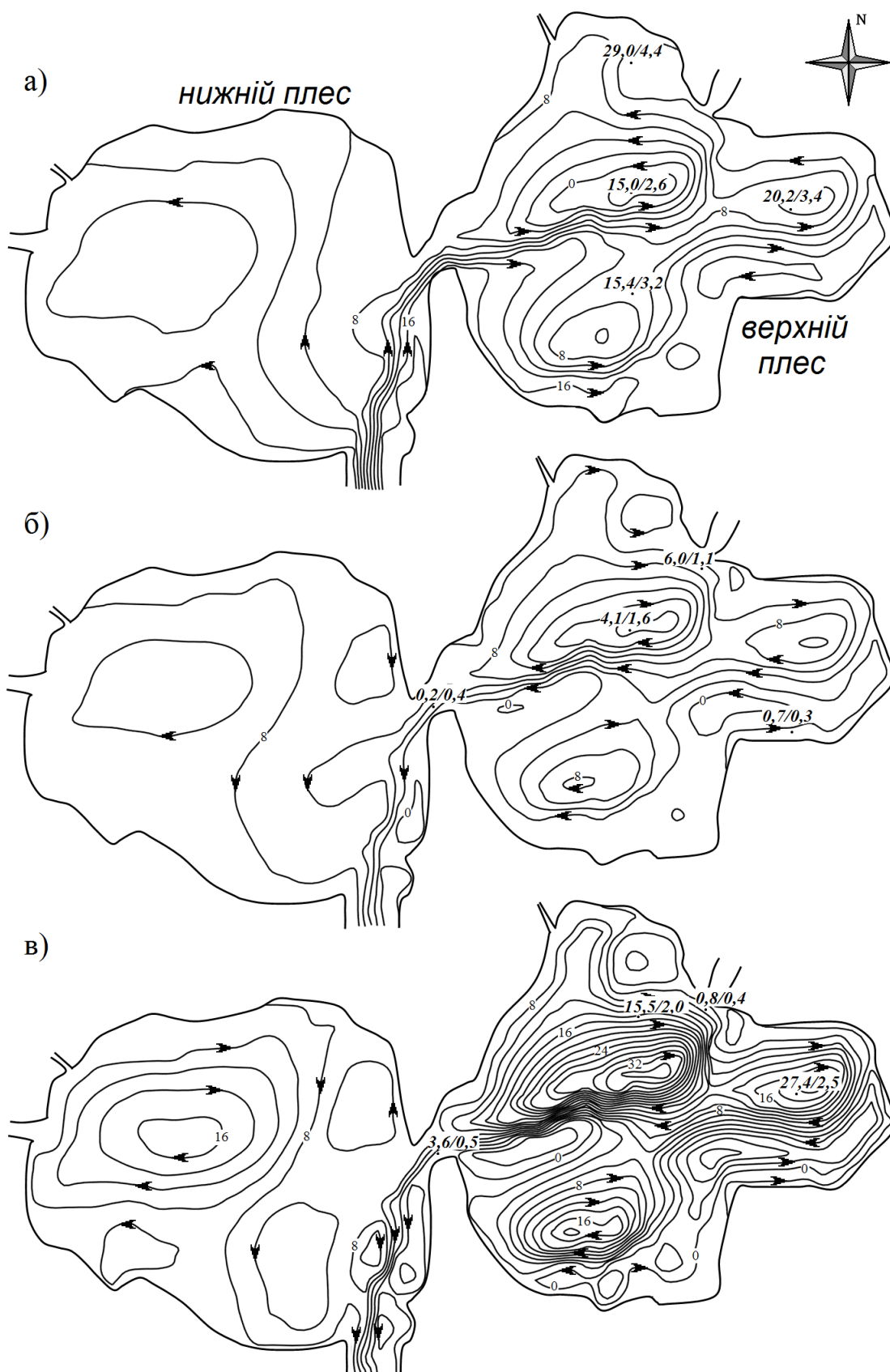


Рис. 4.3. Схеми циркуляції вод та розподілу фітопланктону у Стеблівському лимані 22.07.2009 при північно-східному – 2 м/с (а), 05.10.2009 при південно-західному – 2 м/с (б) та 13.10.2009 р. при південно-західному вітрі 5 м/с (в). В чисельнику наведена чисельність фітопланктону в млн.кл/дм³, у знаменнику – біомаса в г/м³

На інших водоймах пониззя Дніпра також спостерігаються наведені закономірності розподілу фітопланктону в залежності від режиму течій та характеру вихрових утворень. Прикладом є розподіл планктонних водоростей у Кардашинському лимані при різних вітрах (рис. 4.4).

При південному вітрі 5 м/с (рис. 4.4 а) у верхній частині лиману формується два різнонаправлених вихрових утворення: циклональний, що локалізується біля лівого берега та антициклоніальний – біля правого. Інтенсивність цих утворень приблизно однакова і складає $12 \text{ м}^3/\text{с}$.

При північно-західному вітрі 3 м/с (рис. 4.4 б) в центральній частині розташовується циклональне вихрове утворення інтенсивність якого складає $4 \text{ м}^3/\text{с}$. Нижче протоки Чайка розташований менший за площею антициклоніальний вихор.

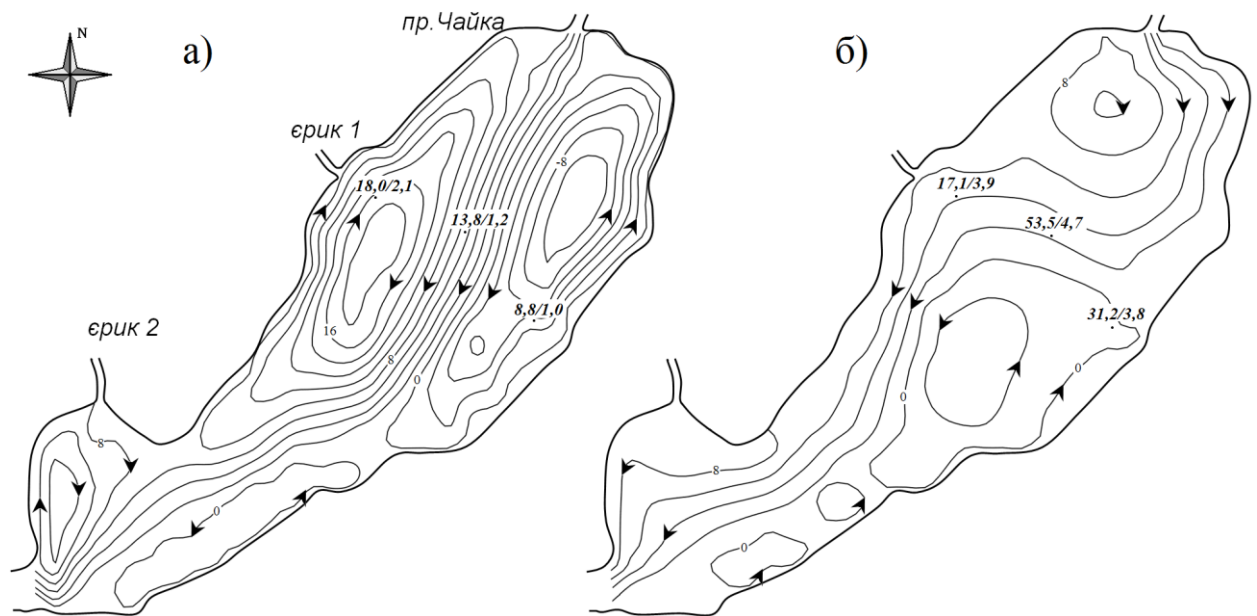


Рис. 4.4. Схеми циркуляції вод та розподілу фітопланктону у Кардашинському лимані 07.10.2003 при південному – 5 м/с (а) та 06.08.2003 р. при південно-західному вітрі 3 м/с (б). В чисельнику наведена чисельність в млн.кл/дм³, у знаменнику – біомаса фітопланктону в г/м³

В Кардашинському лимані в антициклоніальному вихрі спостерігаються найбільші значення чисельності та біомаси фітопланктону, в циклональному – найнижчі. На станції відбору проби, що розташована близько до центру антициклоніального вихора чисельність фітопланктону складає 18,0 млн.

кл/дм³, біомаса 2,1 г/м³. У циклональному вихрі характерні значення чисельності та біомаси фітопланктону вдвічі менші ніж в антициклональному (див. рис. 4.4 а). На периферії вихрових утворень спостерігається розмите поле розподілу фітопланктону без явно виражених максимумів чи мінімумів. Невелике збільшення чисельності та біомаси фітопланктону в центральній частині Кардашинського лиману не має зв'язку з особливостями циркуляції вод та, вірогідно, спричинене іншими факторами оточуючого середовища (див. рис. 4.4 б) [33].

Наведені закономірності розподілу фітопланктону підтверджуються розподілом хлорофілу «а» – максимальні значення фіксуються в антициклональних коловоротах, де поверхневі шари води стікаються від периферії до центру [75].

На відміну від фітопланктону розподіл угруповань зоопланктону залежить не тільки від характеру течій але й від біологічних особливостей їх організмів. Максимальні значення біомаси зоопланктону відмічаються в антициклональних замкнутих циркуляціях та зменшуються у напрямку периферії. В центрі замкнутих циркуляцій циклонального типу відмічається мінімальна концентрація планктонних організмів [50, 65].

В зонах дивергенції (розтікання) потоку, де спостерігаються найменші швидкості течій, також відмічається підвищене скупчення зоопланктону. Такі зони розташовані у місцях впадіння проток до водойми.

У 2013 р. впродовж літнього сезону було досліджено ділянку впадіння ер. Чайка до Кардашинського лиману. В ерику та його гирлі провідна роль в формуванні структури біомаси зоопланктону належить представникам гіллястовусих рачків (43–63%) та копепод (32–47%), а саме *Diaphanosoma brachyrum* (Lievin), *Chydorus sphaericus* (Miiller), молоді веслоногих, *Thermocyclops oithonoides* (Sars) та *Mesocyclops leuckarti* (Claus). В Кардашинському лимані, в центральній його частині, та в зоні розтікання вод (200 м від гирла ер. Чайки), зоопланктон був представлений полідомінантним комплексом гіллястовусих рачків (за біомасою 73–94%).

Таблиця 4.1.

Структурні характеристики зоопланктону ер. Чайки та Кардашинського лиману влітку 2013 р. [70]

Водний об'єкт	n	N тис. екз./м ³	B мг/м ³	S
ер. Чайка (200 м від входу в лиман)	17	191,8	1621,2	1,75
Гирло ер. Чайки	20	193,9	2991,8	1,71
Лиман (200 м від гирла ер. Чайки)	22	523,8	4036,6	1,74
Центральна частина лиману	20	224,1	11998,3	1,70

Примітка: n – кількість видів, N – чисельність, B – біомаса, S – індекс сапробності

Внаслідок зміни річкових вод на озерні біомаса безхребетних зоопланктону поступово збільшується в напрямку до водойми. В зоні дивергенції потоку, що знаходилась в лимані на відстані 200 м від гирла ер. Чайки, у порівнянні з суміжними ділянками, відмічається максимальне збільшення видового складу і чисельності зоопланктону ($n=22$, $N=523,8$ тис.екз/м³) та підвищення індексу сапробності (табл. 4.1.). Тут створюються більш сприятливі умови для розвитку зоопланктону.

4.3. Роль гідрофізичних властивостей водних мас та донних відкладів у формуванні показників якості води і стану гідробіоценозів

Гідрофізичні властивості водних мас та донних відкладів мають безпосередній вплив практично на всі складові водних екосистем.

Нашими натурними дослідженнями встановлено, що прозорість води тісно пов'язана з рівнем розвитку життя у водних об'єктах. Відомо, що первинна продукція фітопланктону у водоймах досить чітко корелює з прозорістю води. Зі збільшенням прозорості води біомаса фітопланктону та концентрація хлорофілу зменшується [6, 67, 97, 99]. Питома біомаса

зоопланктону зі збільшенням прозорості зменшується. Відповідно до цього середні величини іхтіомаси у більш прозорій воді також знижуються [27].

Біомаса зоопланктону у заплавах водоймах пониззя Дніпра має зворотну залежність від прозорості водних мас. Коефіцієнт кореляції дорівнює $-0,58$. Найменші значення біомаси зоопланктону притаманні водоймам зі значною прозорістю води (рис. 4.5) [34].

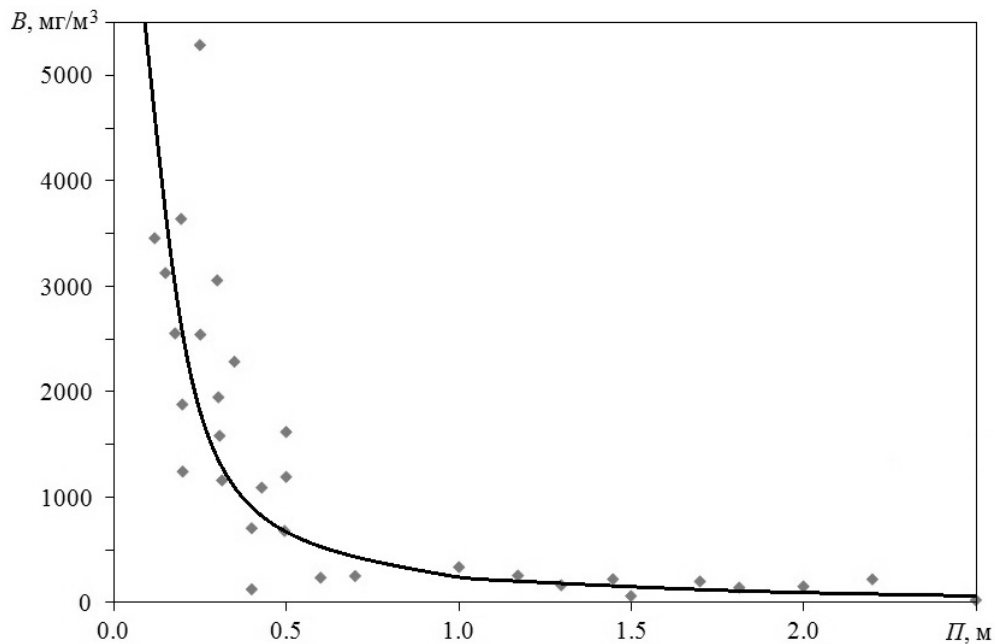


Рис. 4.5. Співвідношення між біомасою зоопланктону (B) та прозорістю води (P) у водоймах пониззя Дніпра

Залежність, наведена на рис. 4.5, добре апроксимується рівнянням:

$$B = 240 P^{-1,44},$$

де P – прозорість води, м; B – біомаса зоопланктону, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Оскільки кількісні характеристики зоопланктону можуть виступати в якості біоіндикаторів евтрофікації водойм наявність зазначеної залежності в пониззі Дніпра також пояснюється рівнем їх трофності. Зі збільшенням трофності водойми біомаса зоопланктону зростає, прозорість води стає меншою.

У найменш трофних водоймах пониззя Дніпра, таких як Нижній Сабецький лиман, прозорість води сягає дна. Біомаса зоопланктону в них не перевищує $250 \text{ мг}/\text{м}^3$. При підвищенні рівня трофності у водоймі прозорість

води зменшується, біомаса зоопланктону збільшується. У Кардашинському, Стеблівському та Збур'ївському лиманах, що переважно належать до мезотрофних [31, 52], прозорість води складає 0,5–1,5, в окремих точках знижується до 0,2 м, середні значення біомаси змінюються в межах 430–1650 мг/м³. Озеро Лягушаче, що відноситься до евтрофних водойм, має прозорість води 0,15–0,4 м, середнє значення біомаси зоопланктону – 2,35 г/м³.

В русловій мережі пониззя Дніпра залежності між зазначеними показниками отримати не вдалось. Коефіцієнт кореляції між біомасою зоопланктону та прозорістю води в руслі Дніпра не перевищує –0,19, що вказує на майже відсутній статистичний зв'язок.

Це пояснюється тим, що на кількісні показники зоопланктону водотоків пониззя Дніпра впливають інші фактори, такі як швидкість течій, температура води, тощо [34].

Виявлений достовірний кореляційний зв'язок між прозорістю води та загальною кількістю видів макрзообентосу – коефіцієнт кореляції дорівнює 0,80. В русловій мережі, при прозорості води 3 м, кількість видів коливається в межах 10–30, з яких 7–10 понто-каспійські. При зниженні прозорості води до 1 м кількість видів зменшується до 7–18, з яких 3–6 понто-каспійські. Це вказує на те, що підвищення прозорості води позитивно відображається на видовому різноманітті бентосних організмів пониззя Дніпра [51].

Донні відклади також відіграють важливу роль у функціонуванні водних екосистем. Безпосередньо вони впливають на життєдіяльність бентосних організмів та стан водного середовища у придонному шарі води.

Розселення бентосних організмів по акваторії заплавлених водойм пониззя Дніпра вирізняється нерівномірністю та зазвичай залежить від типу донних відкладів. Найбільший розвиток бентосних організмів відмічається на ділянках з глибинами 1,2–3,5 м. На цих біотопах показники біомаси бентосу коливаються у широких межах та можуть перевищувати середні значення на один або два порядки [2].

Найбільш щільні поселення бентосу відмічаються на пісках з черепашковим детритом та замулених пісках. Найбільша кількість фауністичних груп макрзообентосу зустрічається на замулених пісках, хоча щільність організмів та біомаса нижчі ніж на пісках з черепашковим детритом. Чорні мули та донні відклади у вигляді детриту є найбільш збіднілим біотопом для розвитку бентосних організмів [2, 19].

Як показали дослідження донної фауни у Стеблівському лимані, на замулених пісках макрзообентосні організми представлені невеликою кількістю фауністичних груп, але щільність гідробіонтів у 4–10 разів, а біомаса у 2–4 рази нижчі, ніж на пісках з ракушняком та на ракушняках. Основу щільності (62%) складають черви, а основу біомаси (99%) – молюски. Їх зустрічаємість сягає 90% та 40% відповідно. Тут виділено два ценози: таксономічно багатий та продуктивний (29 видів, біомаса 680 г/м²) молюсковий ценоз *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) + *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), та менш продуктивний – *Amathilina cristata* G.O. Sars, 1894 + *Potamothrix hammoniensis* (Michaelson, 1901) (12 видів, біомаса 5,29 г/м²) [19].

Схожі результати були отримані при дослідженні донної фауни у Кардашинському лимані. На мулах, замулених пісках, на пісках з черепашковим детритом, в скупченнях дрейсени середня щільність і середня біомаса гідробіонтів відрізнялись на порядок (табл. 4.2).

Найбільш різноманітна (11 фауністичних груп) фауна замулених пісків. На цьому біотопі висока біомаса бентосу утворюється за рахунок молюсків роду *Viviparus* і *Dreissena*, частка яких у загальній біомасі бентосу складає 56% і 28% відповідно. В м'якому бентосі на всіх типах біотопів олігохети і хірономіди складають більше 85% біомаси, лише на замуленому піску з черепашковим детритом в біомасі переважають гамариди – 57% від біомаси м'якого бентосу, а на частку олігохет і хірономід припадає лише 39% [20].

Таблиця 4.2

Показники багатства макрозообентосу Кардашинського лиману на різних біотопах (за даними 2012 р.) [20]

Групи організмів	Тип біотопу			
	Мул	Замулений пісок	Пісок з черепашником	Скупчення дрейсени
Polychaeta	–	$\frac{5}{0,04}$		–
Oligochaeta	$\frac{492}{1,38}$	$\frac{1921}{2,03}$	$\frac{1000}{1,55}$	$\frac{1250}{1,05}$
Hirudinea		$\frac{8}{0,05}$		$\frac{150}{0,20}$
Mollusca		$\frac{636}{520,6}$	$\frac{50}{2,10}$	$\frac{1850}{761,7}$
Cumacea	–	$\frac{5}{0,03}$		–
Gammaridae		$\frac{47}{0,12}$		–
Chironomidae	$\frac{283}{1,35}$	$\frac{1097}{2,45}$	$\frac{1575}{3,25}$	$\frac{4650}{9,65}$
Trichoptera		$\frac{13}{0,04}$		$\frac{650}{0,50}$
Varia (Odonata, Chaoboridae, Coleoptera)		$\frac{25}{0,10}$		–
Всього	$\frac{775}{2,74}$	$\frac{3757}{525,46}$	$\frac{2625}{5,90}$	$\frac{8550}{773,10}$
М'який бентос	$\frac{775}{2,74}$	$\frac{3200}{4,86}$	$\frac{2575}{3,80}$	$\frac{9550}{11,4}$

Примітка: Над рискою – щільність, екз./м², під рискою – біомаса, г/м².

Особливі умови для макрозообентосу утворюються на ділянках лиману, що межують з протоками, які з'єднують лиман з русловою мережею і де спостерігається зростання якісних і кількісних показників багатства гідробіонтів.

Так, в перехідній зоні на границі між ер. Чайка і східною частиною Кардашинського лиману показники багатства донних безхребетних були вище ніж на суміжних ділянках: щільність – в 2–17 разів; біомаса – в 4–65

разів; кількість видів на одну пробу – в 1,1 – 2,1 рази. Донні відклади тут представлені замуленим піском. Аналогічна ситуація спостерігалась і на границі між річкою Чайка і західною частиною лиману. Тобто при переході від лімнофільних угруповань макрзообентосу до реофільних угруповань простежувався ефект екотону.

Піщані ґрунти також приймають участь у процесах самоочищення водних об'єктів. У воді, що міститься в піску, внаслідок інтенсивного протікання фізико-хімічних та біологічних процесів, зниження концентрації органічної речовини відбувається значно швидше ніж у воді без піску [58]. Очисна здатність піщаного ґрунту від органічних речовин реалізується при порівняно не довгостроковому знаходженні у ньому води. Питома швидкість очистки зі збільшенням часу знаходження води у ґрунті знижується. Її максимальні значення відмічаються впродовж перших 0,5–2-х годин. Коефіцієнт загальної очистки води складає: при тривалості 0,5–2 години – 0,25–0,59, 6 годин – 0,55–0,65, 24 години – 0,63–0,71 $1/\tau$ [58]. У зв'язку з цим, наявність піщаних прибережних смуг та пляжів, за умови забезпечення короткострокових коливань рівня в русловій та додатковій мережі, при нерівномірних попусках води через греблю Каховської ГЕС, позитивно позначається на самоочисній здатності водної екосистеми пониззя Дніпра.

В пониззі Дніпра піщані пляжі формують довгі берегові смуги вздовж найбільших водотоків руслової мережі. Згідно наших розрахунків в пониззі Дніпра щодобово від органічних речовин та сполук профільтровується близько 3,53 млн. m^3 річкової води (приблизно 0,6% від загальної руслової ємкості). Причому 58% води фільтрується на придельтовій ділянці Дніпра, 42% – у дельті. Це пояснюється тим, що на придельтовій ділянці відмічаються більш значні добові коливання рівня води та більша площа піщаних берегів не зарослих очеретом, ніж в дельті Дніпра. За рахунок очисної здатності піщаних пляжів вся вода, яка міститься в русловій мережі пониззя Дніпра може профільтруватись за 181 добу, що складає близько пів року.

Висновки до розділу. Вивчення механізмів впливу гідрологічних умов на біотичні компоненти водної екосистеми є важливим етапом розвитку екогідрології, як наукового напрямку. Не дивлячись на значну вивченість висвітлених питань, варто відмітити, що деякі аспекти впливу абіотичних компонентів на стан гідробіонтів лишаються не достатньо розкриті або потребують більш детального розгляду для подальшого практичного застосування у розробці нових методів управління водними екосистемами пониззя Дніпра.

РОЗДІЛ 5

АНТОРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕКОСИСТЕМУ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА ТА МОЖЛИВІ ЗАСОБИ ПОКРАЩАННЯ ЇЇ СТАНУ

5.1. Компоненти та динаміка антропогенного навантаження на водні об'єкти регіону

Значну роль у процесах функціонування екосистеми пониззя Дніпра займає вплив людини (соціуму) на водне середовище. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра розпочався порівняно нещодавно. Нині пониззя Дніпра є ділянкою, де не лишилось водних об'єктів з природними умовами існування гідробіонтів.

За ступенем антропогенного навантаження на екосистему гирлової ділянки Дніпра можна виділити три основні періоди:

- 1) Від заснування перших торгових портових баз (Гола Пристань, Херсон та ін.) до 1955 р.
- 2) Період посиленого гідротехнічного будівництва на Дніпрі (заповнення основних регулюючих водосховищ та становлення каскаду) – з 1956 по 1976 р.
- 3) Сучасний період антропогенного навантаження – з 1977 по нинішній час.

На першому етапі антропогенне навантаження на водне середовище було незначним, та мало, переважно, осередковий характер. На фоні природних процесів вплив людини на водну екосистему був мінімальним. Розпочався він з появою перших міст та селищ, що розташувались на березі Дніпра.

З розвитком науки і техніки антропогенне навантаження на екосистему збільшилось. На початку ХХ століття відбувся поступовий перехід від вітрильних човнів до моторних, почалось інтенсивне будівництво заводів та

фабрик. Потреби агропромислового комплексу вимагали впровадження гідротехнічних засобів регулювання стоку Дніпра. Внутрішньорічний розподіл витрат води у Дніпрі не завжди був сприятливим для господарських потреб суспільства, особливо на території півдня України. Внаслідок підняття рівня води річки у період весняної повені щорічно затоплювались значні площі родючих земель та прибережні житлові поселення. Екстремально низькі витрати Дніпра в період літньо-осінньої межени спричиняли нестачу прісної води на зрошення та на господарські цілі.

Ці потреби суспільства призвели до активної розробки методів регулювання річкового стоку, створення систем зрошення та будівництва каскаду ГЕС на Дніпрі.

З 1955 р., після введення в дію Каховської гідроелектростанції, розпочався другий період адаптації екосистеми пониззя Дніпра до антропогенного навантаження. Продовжувався він до 1976 року коли було заповнене останнє водосховище каскаду ГЕС на Дніпрі. У цей період гідрологічний режим повністю змінюється у порівнянні з природним, що відповідним чином відбивається на водних екосистемах. З середини 50-х років минулого століття в пониззі Дніпра з'явився новий фактор формування екологічного стану водних об'єктів – короткострокові коливання рівня води впродовж доби. Після заповнення водосховищ схили долини Дніпра перетворились на береги, збільшилась площа водної поверхні, та витрати води на випаровування, знизилась швидкості течій, змінився розподіл завислих у воді речовин і умови їх седиментації.

Найсуттєвіших змін зазнала екосистема Дніпра після заповнення найбільших за об'ємом Каховського (1956) та Кременчуцького (1961) водосховищ, які стали основними регуляторами стоку. Завершальним у перебудові екосистеми річки було будівництво та заповнення Канівського водосховища (1972–1976 рр.).

Після закінчення будівництва водосховищ майже на всіх ділянках Дніпра сформувався зовсім інший (неусталений) гідрологічний режим. З

цього часу розпочинається третій (сучасний) етап антропогенного впливу на екосистему Дніпра, зокрема на його гирлову ділянку. Для нього характерними рисами є природне і антропогенне скорочення стоку, посилення забруднення поверхневих вод нафтопродуктами (особливо наприкінці ХХ століття) та стічними водами, сповільнення водообміну заплавних водойм і водної системи пониззя Дніпра взагалі.

Внаслідок гідротехнічних перебудов на Нижньому Дніпрі відбулись незворотні зміни екологічного стану та якості води. Середньорічний об'єм стоку Дніпра в пониззі з того часу зменшився більш ніж на 14 км^3 , відбувся перерозподіл витрат води у добовому та внутрішньорічному масштабах, майже втричі скоротився об'єм весняного водопілля, збільшилось споживання природних водних ресурсів на зрошення, водокористування та водовідведення. Водні об'єкти забруднюються стічними водами прибережних міст, селищ, дачних поселень та промислових підприємств.

Одним із найважливіших чинників, що впливають на якість водного середовища пониззя Дніпра в сучасний період є комплекс антропогенних факторів до яких відносяться незворотне водоспоживання прісних вод, скиди стічних вод у поверхневі водні об'єкти та надходження високо мінералізованих вод з р. Інгулець у весняний період.

Херсонська область займає одне з перших місць в Україні за об'ємом водоспоживання прісних вод, які забираються з руслової мережі Дніпра. Частка Херсонщини у споживанні прісної води по країні становить 9,5%. За даними територіального агентства водних ресурсів з Дніпра щорічно на потреби водоспоживання забирається біля 700 млн. м^3 води (рис.5.1), з яких 91,1% витрачається на зрошення, 3,1% – на потреби підприємств, 5,8% – на сільськогосподарське водопостачання, побутово-питні та інші потреби.

Починаючи з 2004 року, спостерігається стійке збільшення споживання води з Дніпра (див. рис. 5.1). Така тенденція насамперед пов'язана зі зростанням витрат на зрошення та виробничі потреби області.

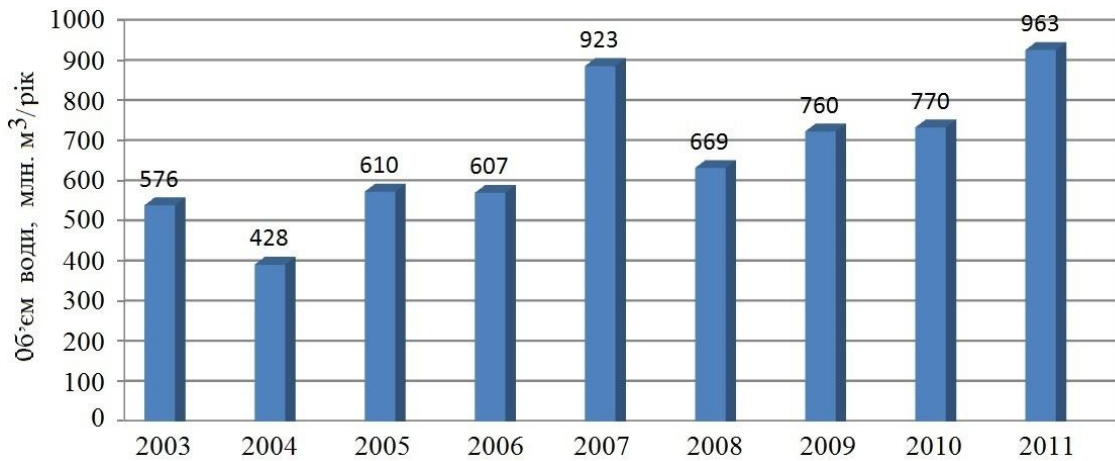


Рис. 5.1. Динаміка споживання дніпровської води у Херсонській області [64]

У Херсонській області нараховується 46 підприємств, стічні та дренажні води яких надходять до руслової та озерної систем пониззя Дніпра. Водні об'єкти пониззя найчастіше забруднюються сухими рештками, сульфатами, хлоридами, залізом, нафтопродуктами та іншими шкідливими речовинами. В середньому за рік у пониззя Дніпра потрапляє до 4 млн. м³ забруднених та 57 млн. м³ умовно чистих стічних вод.

Незважаючи на роботу очисних споруд, близько 20% забруднених стоків потрапляє до природних водних об'єктів. Наявна потужність очисних споруд (99,4 млн. м³) дозволяє очищати усі стічні води, але нестача у більшості населених пунктів централізованого водовідведення, низька якість очищення, незадовільний стан функціонуючих споруд є основними причинами потрапляння забруднювальних речовин до поверхневих вод [64].

Стічні води та нафтопродукти у водній товщі значно погіршують умови існування гідробіонтів. Наприклад, зоопланктонні угруповання, що вважаються витривалими до нафтопродуктів та здатними протистояти антропогенному тиску, зі збільшенням вмісту забруднюючих речовин помітно скорочують кількість своїх видів та біомасу.

На незабрудненій ділянці (створ на основному руслі Дніпра на 5 км вище місця впадіння р. Інгулець) біомаса зоопланктону за період з 2006 по 2011 рр. складала в середньому 579 мг/м³, кількість видів досягала 92. У

місцях, забруднених нафтопродуктами (район річкового порту та човнового причалу м. Херсон), багаторічні значення біомаси коливались в межах 138–160 мг/м³, кількість видів не перевищувала 18–33. Стан водного об'єкта на цих ділянках Дніпра класифікувався як «задовільний» та «поганий» [69].

Досить чутливим до антропогенного навантаження на водну екосистему є бактеріопланктон. Його кількісні характеристики є одними з біотичних показників, що найбільш швидко реагують на збільшення забруднювальних речовин у водному середовищі.

Дослідження руслової мережі пониззя Дніпра, проведені співробітниками Херсонської гідробіологічної станції НАН України в 2013 році вказали, що в цей рік тут склалися особливі умови для розвитку бактеріопланктону.

Спостереження проводились по трьом створам у русловій мережі:

- основне русло Дніпра навпроти м. Херсон – ділянка вільна від антропогенного навантаження;
- рукав Кошова – на берегах розташовані суднобудівний, судноремонтний та цегляний заводи, річковий та морський порт;
- річка Вірьовчина – берега забудовані приватними будівлями, до русла скидають стічні води очисних споруд м. Херсону.

Через значне весняне водопілля із заплави до руслової мережі Дніпра за весняний період 2013 р. надішла значна кількість аллохтонних органічних та забруднювальних речовин, що слугували матеріалом для активного розвитку бактеріопланктону в товщі води в інші сезони року. В квітні, при температурі води 8° бактеріопланктон в руслі Дніпра ще не набув свого максимального розвитку. Так загальна чисельність бактерій коливалась в межах від 2,52 до 4,87 млн. кл/см³, сапрофітних бактерій – від 0,18 до 0,46 тис. кл/см³. Високий вміст бактеріопланктону (9,8 млн. кл/см³) і, відносно висока чисельність сапрофітних бактерій (1,32 тис. кл/см³) були відмічені лише в придонному шарі біля правого берега Дніпра (табл. 5.1) [39].

Таблиця 5.1.

Структурні і продукційні показники бактеріопланктону водотоків пониззя Дніпра в квітні 2013 р. [39]

Місце відбору проб	Шар	ЗЧБ, млн. кл/см ³	ЧСБ, тис. кл/см ³	Біомаса г/м ³	P , г/м ³ за добу	g , год	P/B , доба ⁻¹
Основне русло Дніпра							
Лівий берег	поверхневий	4,81	0,37	2,92	0,81	47	0,35
Лівий берег	придонний	3,12	0,46	1,90	0,38	68	0,25
Фарватер	поверхневий	2,52	0,27	1,57	0,18	55	0,30
Фарватер	придонний	4,87	0,26	3,46	0,42	64	0,26
Правий берег	поверхневий	3,72	0,18	2,46	0,53	42	0,40
Правий берег	придонний	9,30	1,32	6,27	0,10	74	0,23
Кошова							
річпорт	поверхневий	3,06	0,43	1,97	0,17	23	0,72
залізн. міст	поверхневий	2,13	0,75	2,73	0,39	61	0,27
Вірвовчина							
гирло	поверхневий	3,77	0,78	3,54	1,68	25	0,67
1 км вище гирла	придонний	3,50	2,32	2,66	0,61	49	0,33

Примітка: тут і далі: ЗЧБ – загальна чисельність бактерій, ЧСБ – чисельність сапрофітних бактерій, P – продукція бактеріопланктону; g – час подвоєння біомаси (швидкість розмноження); P/B – питома продукція.

Незначні показники загальної чисельності бактерій відмічено і в кількох точках рукава Кошова і р. Вірвовчина (від 2,13 до 3,77 млн. кл/см³). Середня ж кількість сапрофітних бактерій (0,91 тис. кл/см³) тут була в 3 рази вищою, ніж в основному руслі Дніпра (0,31 тис. кл/см³), досягаючи максимальної концентрації (2,32 тис. кл/см³) в р. Вірвовчина на відстані 1 км. вище гирла. У весняний сезон 2013 р. подвоєння біомаси бактерій (g) в руслі Дніпра відбувалось в середньому за 58 годин, добовий приріст біомаси (P) при цьому складав 0,40 г/м³. Продукційні показники бактеріопланктону в Кошовій і Вірвовчині майже не відрізнялись від тих, що відмічались в цей період в руслі Дніпра.

В липні 2013 р. з підвищенням температури води до 25° мікробіологічні процеси в Дніпрі значно активізувались (табл. 5.2). Крім органічних речовин, що надійшли до русла після водопілля, додалися органічні речовини, що утворилися внаслідок високого рівня «цвітіння» води водоростями фітопланктону в літній період. В цей час показники чисельності і біомаси бактеріопланктону значно перевищили значення типові для русла Дніпра.

Таблиця 5.2.

Структурні і продукційні показники бактеріопланктону водотоків пониззя Дніпра в липні 2013 р. [39]

Місце відбору проб	Шар	ЗЧБ, млн. кл/см ³	ЧСБ, тис. кл/см ³	Біомаса г/м ³	P , г/м ³ за добу	g, год.	P/B , доба ⁻¹
Основне русло Дніпра							
Лівий берег	поверхневий	10,0	0,20	6,12	3,83	18	0,93
Лівий берег	придонний	9,18	0,56	7,01	2,43	25	0,67
Фарватер	поверхневий	19,4	0,44	15,4	4,12	33	0,50
Фарватер	придонний	6,45	1,60	3,12	1,04	24	0,69
Правий берег	поверхневий	15,1	0,50	12,3	3,77	22	0,75
Правий берег	придонний	11,6	2,00	4,14	1,71	22	0,75
Ківш судозаводу	поверхневий	8,37	15,4	3,64	2,29	24	0,69
Ківш судозаводу	придонний	8,70	16,2	3,80	2,39	24	0,69
Кошова							
Річпорт	поверхневий	4,98	0,8	3,21	0,75	53	0,31
Річпорт,	придонний	5,60	0,6	5,77	0,89	80	0,21
Залізничний міст	поверхневий	4,02	0,6	2,63	1,09	30	0,55
Залізничний міст	придонний	4,3	1,6	2,37	1,32	24	0,69
Вірвовчина							
Гирло	поверхневий	8,20	0,64	3,65	0,91	49	0,34
Гирло	придонний	10,6	1,60	4,68	1,85	27	0,62
1 км вище гирла	поверхневий	6,40	0,96	2,90	1,33	22	0,75

Загальна кількість бактерій в липні коливалась в межах від 6,45 до 19,4, в середньому 12,0 млн. кл/см³, біомаса – від 3,12 до 15,4, в середньому 8,0 г/м³ (без врахування показників ковша судозаводу). Матеріали аналогічних досліджень за мікробіологічними показниками попередніх років свідчать, що у Кошовій і Вірвовчині кількісні показники бактерій були, зазвичай, більшими ніж в руслі Дніпра. Це відбувається за рахунок того, що водна екосистема цих водотоків зазнає більшого антропогенного навантаження ніж основне русло. На відміну від попередніх років у 2013 р. у Кошовій і Вірвовчині середні показники загальної чисельності і біомаси були майже вдвічі нижчі, ніж в руслі Дніпра. За кількістю сапрофітних бактерій вищезгадані ділянки русел суттєво не відрізнялись, за винятком ділянки ківша суднобудівного заводу. Тут кількість сапрофітних бактерій досягала величини 16,2 тис. кл/см³ [39].

Швидкість розмноження бактеріопланктону в руслі Дніпра влітку була значно більша ніж весною – 18-33 години, в середньому 24 години. Високий темп розмноження бактеріопланктону відмічено і на ділянках Кошової і Вірьовчини (24–30 год) за винятком ділянки на Кошовій біля річкового порту (53–80 год) і гирла Вірьовчини (49 год). Бактеріальна продукція в руслі Дніпра майже вдвічі переважала продукцію більш антропогенно забруднених ділянок Кошової і Вірьовчини.

В жовтні при зниженні температури води до 12° і призупинені розвитку фітопланктону в руслі Дніпра показники чисельності і біомаси у порівнянні з літніми знизилась в 3 і 5 разів відповідно, а середні показники добової продукції і споживання бактерій – у 8 разів. В Кошовій і Вірьовчині середні показники чисельності і біомаси бактерій продовжували утримуватись майже на літньому рівні, а середні показники добової продукції знизилась лише в 1,5 рази від літніх. (табл. 5.3).

Таблиця 5.3.

Структурні і продукційні показники бактеріопланктону водотоків нижнього Дніпра в жовтні 2013 р. [39]

Місце відбору проб	Шар	ЗЧБ, млн. кл/см ³	ЧСБ, тис. кл/см ³	Біомаса г/м ³	P , г/м ³ за добу	g , год.	P/B , доба ⁻¹
Основне русло Дніпра							
Лівий берег	поверхневий	3,61	0,26	1,12	0,11	48	0,34
Лівий берег	придонний	4,82	0,28	2,04	0,12	43	0,39
Фарватер	поверхневий	2,93	0,24	1,18	0,10	44	0,38
Фарватер	придонний	5,11	0,16	2,13	0,26	46	0,37
Правий берег	поверхневий	4,24	0,18	1,90	0,65	37	0,45
Правий берег	придонний	5,00	0,22	1,41	0,25	41	0,41
Ківш судозаводу	поверхневий	1,81	0,33	1,81	0,67	38	0,44
Кошова							
Річпорт	поверхневий	1,19	0,72	1,19	0,10	32	0,52
Річпорт	придонний	2,53	0,60	2,53	0,44	48	0,34
Залізничний міст	поверхневий	1,90	0,40	1,90	0,43	26	0,64
Залізничний міст	придонний	4,05	1,00	4,05	0,84	73	0,23
Вірьовчина							
Гирло	поверхневий	2,47	0,40	2,47	0,77	39	0,43
1 км вище гирла	поверхневий	4,61	1,44	4,61	1,02	61	0,28

Динаміка розвитку бактеріопланктону у водних екосистемах впродовж року хочай носить сезонний характер і тісно пов'язана з температурними характеристиками водних мас, однак на антропогенно уражених ділянках ряд показників (таких як ЧСБ, P/B , тощо) мають вищі значення ніж фонові.

Однією з найгостріших проблем пониззя Дніпра в сучасний період антропогенного навантаження, що призводить до локального погіршення якості води у весняний період, є скидання до річки Інгулець високомінералізованих шахтних вод гірничорудних підприємств Кривбасу, об'єм яких в середньому сягає 12 млн. м³ на рік [64]. Основний об'єм забрудненої води потрапляє до руслової мережі пониззя Дніпра в період водопілля, коли спостерігаються максимальні витрати води [92]. Вважається, що за таких умов шкода від забруднювачів для екосистеми буде мінімальною. Однак, зазначимо, що при потраплянні стічних вод до водойм відбувається зворотній ефект. У весняний час зовнішній водообмін озер є найнижчим у порівнянні з іншими сезонами року і складає 18–30 діб. За таких умов, внаслідок слабкого водообміну, забруднювальні речовини не вимиваються з водних об'єктів, які граничать з Інгульцем, а лишаються в їх товщі, седиментують та накопичуються в донних відкладах. Середня мінералізація вод Інгульця за останні 20 років складає 0,6–3,6 г/дм³. Незважаючи на розбавлення високомінералізованих вод річки Інгулець дніпровською водою, якість води залишається низькою, особливо на початку зрошувального періоду. Основними речовинами, що потрапляють у Дніпро з р. Інгулець є: залізо загальне, хлориди, сульфати та органічні речовини. В окремі роки у водах Інгульця вміст хлоридів перевищує ГДК в 5,7 разів, сухого залишку – в 5,0, сульфатів – в 1,6 рази. Також фіксується перевищення ГДК за показниками ХСК та БСК_п [64].

Для збереження і відновлення природних якостей водних об'єктів пониззя Дніпра на сучасному етапі необхідна реалізація природоохоронної політики в Херсонській області, направленої на зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти регіону.

5.2. Режим роботи Каховської ГЕС, як основний антропогенний чинник екологічного стану водних об'єктів в сучасний період

Вирішальним антропогенним чинником сучасного екологічного стану пониззя Дніпра є Каховська ГЕС. Від режиму її роботи залежить інтенсивність водообмінних процесів, динаміка води у русловій мережі та водоймах, гідрофізичні властивості водних мас та ґрунтів гирлової ділянки Дніпра.

Сучасні дослідження стану екосистеми пониззя Дніпра [1, 39] свідчать про те, що в ній відбуваються незворотні негативні зміни.

Гідрографічна мережа пониззя за останні роки зазнала змін. Активізувались процеси, пов'язані з заростанням та пересиханням невеликих озер, проток, ериків, формуванням стариць (рис. 5.2 та 5.3).



Рис. 5.2. Протока до Кардашинського лиману в серпні 2010 р.



Рис. 5.3. Озеро Кругле в районі Херсона в червні 2013 р.

За біологічними показниками, в останнє десятиліття відмічено підвищення видового різноманіття синьозелених водоростей, котрі зайняли друге місце після зелених. В сучасний період у структурі фітопланктону збільшилась частка водоростей, які є показниками евтрофування водної екосистеми пониззя Дніпра. За кількістю сапрофітних бактерій, що характеризує забруднення побутовими стоками та є показником трофічного стану водних об'єктів, лише у русловій мережі Дніпра вода відповідає

категорії «добра». В багатьох водоймах і протоках пониззя вода відноситься до категорії «брудна».

Впродовж останніх десяти років відмічається збільшення розмірів заростей вищої водної рослинності в зонах мілководь. Зіставлення літературних джерел щодо складу рослинних формацій з сучасними даними натурних досліджень виявило незворотні зміни у стані екосистеми пониззя Дніпра. Закономірності розподілу макрзообентосу пониззя Дніпра у порівнянні з минулими роками збереглися, однак кількісні показники макрзообентосу, такі як біомаса, питома кількість фауністичних груп та щільність гідробіонтів, значно знизилась [1, 39].

Оцінка екологічного стану водойм пониззя Дніпра, проведена співробітниками Херсонської гідробіологічної станції НАН України згідно Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60 [98], вказує на те, що за останні 30 років він погіршився у порівнянні з референційними умовами (показники екосистеми 80-х років минулого століття). Критеріальна оцінка екологічного стану проводилась для 13-ти типових водойм регіону на основі посезонних даних натурних спостережень за фіто-, бактеріо-, зоо- планктоном, макрзообентосом та вищою водною рослинністю.

Згідно інтегральної оцінки типових водойм регіону до групи «добрі» увійшов лише Нікольський лиман [28]. В ньому відмічається найбільш яскрава фауністична структура макрзообентосу – питоме видове багатство становить 5,3 фауністичних групи на 0,5 м² площі, інші показники відповідають мезосапробній зоні.

До водойм із «задовільним» екологічним станом належать більшість з досліджених типових водойм, а саме 9 із 13-ти. До них відносяться Сабецький, Казначіївський, Голубов, Збур'ївський Кут, Стеблівський, Кардашнський лимани та озера Біле, Безмен, Краснюкове. Ступінь заростання вищою водною рослинністю в цих водоймах доходить до 80–95%. Показники макрзообентосу в них відзначаються високим питомим

фауністичним багатством (2,5–4,0 груп на одиницю площі) та високою чисельністю (1,5–3,0 тис.екз/м²) і біомасою (4–660 г/м²) безхребетних [28].

Три водойми було оцінено як озера з «поганим» екологічним станом. До них належать озера Лягушаче, Чичужне та Олексіївський лиман. Ці водойми переважно невеликі за площею та мілкі (з глибинами 0,5–1,5 м) з уповільненим зовнішнім водообміном. Особливістю цих водойм є наявність потужних донних відкладів (місцями до 1 м), що формуються з автохтонного матеріалу та насичені сірководнем. За рахунок цього донна фауна водойм з «поганим» екологічним станом також значно пригнічена. Донні безхребетні представлені майже виключно олігохетами та хірономідами, питома вага яких в загальній біомасі перевищує 97% [28].

Таке порушення екологічного стану водних об'єктів пониззя Дніпра склалось в основному внаслідок послаблення водообмінних процесів у придатковій мережі. Причинами тому можуть бути як суто природні явища (замулення та заростання водойм і водотоків), так і штучне обмеження в них водообміну за рахунок, як вже зазначалось, поступового переходу режиму роботи Каховської ГЕС з переважно двопікових на переважно однопікові попуски води впродовж доби [86].

Починаючи з 1956 р., на фоні загального зменшення стоку і зниження висоти весняного водопілля, вирішальне значення для функціонування екосистеми пониззя Дніпра набули нерівномірні впродовж доби та тижнів попуски Каховської ГЕС. Вони зумовлюють короткочасні коливання рівня води більшу частину року (крім весняних місяців).

Саме після введення в дію Каховської ГЕС в екосистемі пониззя Дніпра з'явився новий фактор її функціонування – короткочасні добові коливання рівня води, величина та повторюваність яких є вирішальними у формуванні сучасного стану водних об'єктів досліджуваної ділянки.

Відчутну роль у водному режимі дельти Дніпра відіграють також коливання рівня води у східній частині Дніпровсько-Бузького лиману,

обумовлені змінно-нагінними, припливними, сейшевіми, бризовими та іншими явищами, які частково розповсюджуються до греблі Каховської ГЕС.

В результаті, в основному руслі, протоках, заплавних водоймах та інших елементах водної системи гирлової ділянки Дніпра практично впродовж всього року (за виключенням весняних періодів високої водності, коли Каховська ГЕС працює рівномірно) відбуваються короточасні коливання рівня води.

Завдяки цим коливанням у літньо-осінній період значні об'єми дніпровської води надходять до заплавних водойм і в понижені ділянки заплави, що забезпечує існування заплавних гідробіоценозів і реалізацію їх самоочисної здатності.

Статистичний аналіз матеріалів спостережень свідчить про те, що Каховська ГЕС у 80-ті роки здійснювала впродовж доби два попуски у 42% випадків. Один попуск відбувався лише у 27% випадків. Рівномірний режим стоку в нижньому б'єфі Каховської ГЕС, коли внутрішньодобові коливання рівня не перевищували 5 см, спостерігався у 31% випадків (в період весняного водопілля). Особливістю режиму роботи ГЕС тоді було те, що один попуск за добу, як правило, здійснювався в періоди підвищеної водності Дніпра. Ця особливість зберігається і на сьогодні (рис. 5.4).

У нинішній час співвідношення одного та двох попусків води за добу в нижній б'єф кардинально змінилось. Осереднені за період з 1994 по 2013 роки дані свідчать про різке зменшення долі двопікових попусків – до 7%. Проте в 60% випадків ГЕС працює один раз на добу. Це є принциповим фактом погіршення стану всіх елементів екосистеми пониззя Дніпра за останні 30 років [104].

Одним із шляхів відновлення екологічно сприятливого режиму роботи Каховської ГЕС може стати її реконструкція кінцевим результатом якої буде збільшення пропускної здатності гідроагрегатів.

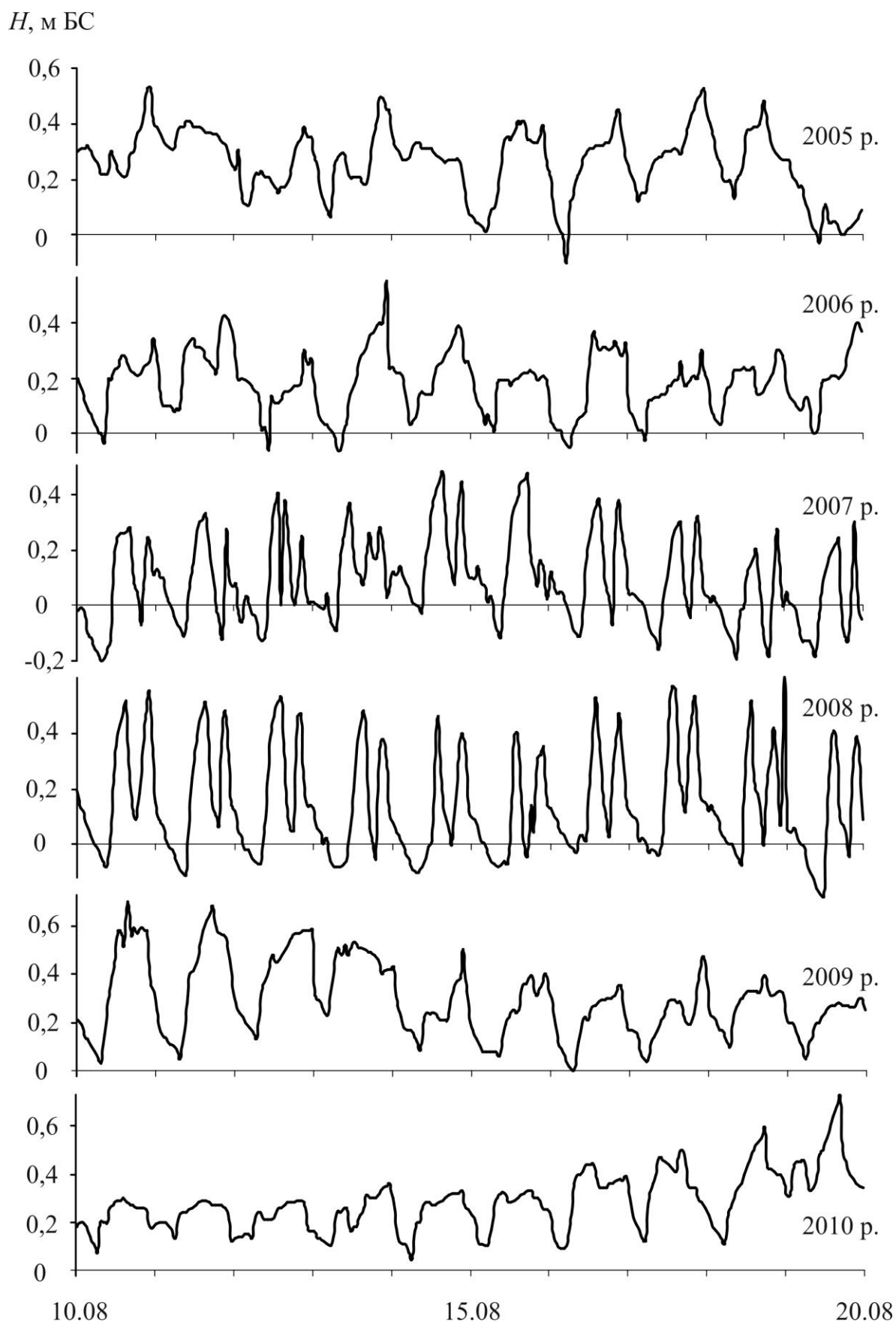


Рис. 5.4. Фрагменти ходу рівня води в нижньому б'єфі Каховської ГЕС у серпні: роки з підвищеною водністю (2005, 2010); середньою (2006, 2009) і маловодні (2007, 2008) роки

Необхідні для оцінки екологічних наслідків проекту попередні відомості щодо пропонованих технічних параметрів Каховської ГЕС, реконструкція якої проводиться в нинішній час в рамках оновленої енергетичної стратегії [17], надані проектною організацією – ПАТ «Укргідропроєкт». Очікувана реконструкція Каховської ГЕС [7, 26] передбачає збільшення пропускної здатності агрегатів станції до $5100 \text{ м}^3/\text{с}$. Амплітуда коливань рівня води в нижньому б'єфі Каховської ГЕС при роботі всією потужністю ($5100 \text{ м}^3/\text{с}$) складе:

- а) при попусках тривалістю 4 години – 1,71 м,
- б) при попусках тривалістю 6 годин – 1,92 м;

Це без сумніву змінить гідрологічний режим пониззя Дніпра, що, в свою чергу, може спричинити відповідні зміни інших абіотичних та біотичних компонентів головного русла, рукавів, заплави та заплавних водойм.

Таким чином, наведені параметри роботи розширеної (реконструйованої) Каховської ГЕС вказують на можливі серйозні зміни водного (і всього гідрологічного) режиму нижньої ділянки Дніпра та всієї Дніпровсько-Бузької гирлової області.

В русловій мережі гирлової ділянки Дніпра близько 643 млн. м^3 води. Загальна площа водного дзеркала всіх водотоків складає 112 км^2 . Водойми, яких у заплаві гирлової ділянки Дніпра нараховується більше 160, мають загальну площу більше 72 км^2 та містять в середньому $80\text{--}85$ млн. м^3 води. Обводненість заплавних масивів, площа яких перевищує 303 км^2 , залежить від водності річки. При дуже низькому стоці ($150\text{--}300 \text{ м}^3/\text{с}$) затопленими залишаються близько 31 км^2 плавнів. При середніх витратах води ($1000\text{--}1500 \text{ м}^3/\text{с}$) затоплюються 220 км^2 плавнів, при цьому тут знаходиться більше 13 млн. м^3 води. При витратах $2000\text{--}2500 \text{ м}^3/\text{с}$ практично вся заплавна частина долини гирлової ділянки Дніпра вкривається водою.

Режим роботи Каховської ГЕС визначає характерні риси водного режиму кожної з підсистем гирлової ділянки. В основному руслі і багатьох

протоках відмічаються періодичні одно- і двопікові впродовж доби прями довгі хвилі, фазова швидкість яких сягає 7–8 м/с, та поступальне переміщення водних мас від греблі ГЕС до гирла зі швидкістю 0,2–0,6 м/с. В заплавах водоймах через вказані довгі хвилі відбувається зовнішній водообмін з русловою мережею, який залежить від висоти хвиль і морфометричних характеристик самих водойм і проток, з'єднуючих їх з русловою мережею. Період зовнішнього водообміну водойм гирлової ділянки Дніпра коливається від двох до декількох десятків діб, що власне і обумовлює істотну різницю їх екологічного статусу. Заплавні масиви обводнюються також за рахунок попускових коливань рівня води в русловій мережі.

Елементами гідрологічного режиму, зміна яких поведе за собою зміни показників стану екосистем основного русла та водних об'єктів його придаткової мережі (озер, заплави, проток, рукавів), насамперед є рівневий, швидкісний та седиментаційний режими.

Рівневий режим пониззя Дніпра в проектних умовах можна представити наступним чином. Всю пропускну здатність агрегатів станції (5100 м³/с), найвірогідніше передбачається використовувати в період проходження високого весняного водопілля. Ймовірність такої події на фоні значної регулюючої здатності дніпровського каскаду досить мала але все ж можлива. Тоді добовий об'єм скиду води через створ Каховської ГЕС складатиме 0,44 км³. Проектної корисної ємності водосховища (6,8 км³) для здійснення такого скиду може вистачити всього лише на 15 діб (при інтенсивному притоці із Запорізького водосховища – на трохи більший термін). Реальна корисна ємність (1,2 км³) буде спрацьована за три доби. Підйом рівня води в нижньому б'єфі при цьому досягне майже 2 м. Якщо тривалість попуску такої інтенсивності перевищить термін переміщення водних мас до гирла (близько 1,5 діб), вказане підвищення рівня води (2 м) повинно буде встановитись на всій гирловій ділянці Дніпра. Подібні і навіть більші підйоми спостерігались в період водопілля до зарегулювання стоку

Дніпра. В нинішніх умовах функціонування Дніпра таке практично неможливо.

У вегетаційний період великі витрати води та їх внутрішньодобові коливання у пониззі Дніпра – фактор для його екосистеми бажаний. Короткострокові попуски Каховської ГЕС зі вказаною проектною максимальною витратою ($5100 \text{ м}^3/\text{с}$) у літньо-осінній час були б особливо сприятливі для екосистеми пониззя Дніпра. Вони забезпечать значні коливання рівня води, що в свою чергу створить тут ідеальні умови для функціонування екосистем русла, заплави і заплавної водойми.

Гідрологічні процеси у пониззі при цьому будуть формуватись наступним чином. Короткострокові (4 або 6 годин) попуски з витратою $5100 \text{ м}^3/\text{с}$ забезпечать підйоми рівня води у нижньому б'єфі, відповідно на 1,71 або 1,92 м (дані ПАТ «Укргідропроєкт»). Прямі довгі хвилі, що утворились, переміщуючись по русловій системі пониззя Дніпра, як відмічалось зі швидкістю більше 7–8 м/с, будуть трансформуватись. Якщо прийняти, що трансформація хвиль буде відбуватись за встановленим раніше законом [79], то можна оцінити зміну максимальної амплітуди коливання рівня води в руслі по його довжині (табл. 5.4).

Таблиця 5.4.

Амплітуда коливання рівня води в пониззі Дніпрі при максимально можливих попусках Каховської ГЕС

Відстань від греблі, км	Амплітуда (м) при максимальних попусках			
	до реконструкції ($2600 \text{ м}^3/\text{с}$)		після реконструкції ($5100 \text{ м}^3/\text{с}$)	
0	0,94	1,04	1,71	1,92
10	0,70	0,77	1,27	1,42
20	0,52	0,57	0,94	1,06
30	0,38	0,43	0,70	0,79
40	0,28	0,31	0,51	0,58
50	0,21	0,23	0,38	0,42
60	0,16	0,18	0,29	0,33
70	0,12	0,12	0,21	0,23
80	0,09	0,09	0,15	0,17
90	0,06	0,07	0,12	0,13

Для порівняння в таблиці наводяться значення амплітуд при сучасному максимально можливому попуску через агрегати ГЕС (2600 м³/с). У підсумку видно, що збільшення у два рази попускових витрат води в проектних умовах однозначно призведе до збільшення амплітуд коливання рівнів води в русловій мережі пониззя Дніпра.

Розрахунки вказують, що *швидкості течії* в основному руслі і рукавах Дніпра приблизно у два рази збільшаться в проектних умовах (при витраті 5100 м³/с). Зміняться також поля течій в численних заплавах водоймах.

Посилиться *зовнішній водообмін руслової мережі* – для водотоків з найменш повільним водообміном його період зменшиться з 11,4–17,2 до 5,8–8,8 діб (величини наведено для 6 і 4-годинних попусків, відповідно).

Передбачувані внутрішньодобові коливання рівня води в русловій системі пониззя Дніпра однозначно посилять *зовнішній водообмін всіх заплавах водойм*. Розраховані за розробленою раніше методикою [73, 79] середні (нормальні) величини періодів зовнішнього водообміну типових водойм наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5.

Періоди зовнішнього водообміну основних водойм пониззя Дніпра при одному за добу попуску води з різним діапазоном витрат

Водойми	Період зовнішнього водообміну (доба) при різних амплітудах коливань витрат води у створі ГЕС (м ³ /с)					
	сучасний	1000	2000	3000	4000	5000
1	2	3	4	5	6	7
оз. Довге	14,34	11,94	5,90	3,95	2,95	2,36
оз. Хрещате	14,07	11,72	5,79	3,87	2,89	2,32
оз. Кругле	16,93	14,00	6,96	4,63	3,48	2,79
В.Сабецький лиман	14,14	11,77	5,81	3,89	2,91	2,33
Н. Сабецький лиман	2,45	2,04	1,01	0,67	0,50	0,40
оз. Великі Дуплечі	14,29	11,79	5,89	3,93	2,95	2,36
оз. Малі Дуплечі	25,83	21,32	10,66	7,05	5,30	4,24
оз. Лебедине	15,74	12,87	6,44	4,33	3,24	2,59
Казначейський лиман	3,50	2,84	1,44	0,96	0,72	0,57
Фроловський лиман	3,58	2,92	1,48	0,98	0,74	0,58
Олексіївський лиман	7,84	7,70	3,94	2,60	1,95	1,57
Голубів лиман	5,33	4,97	2,54	1,68	1,25	0,99
оз. Вчорашнє	7,19	6,70	3,42	2,26	1,69	1,35
оз. Кругле	7,93	9,21	4,60	3,07	2,30	1,84

1	2	3	4	5	6	7
оз. Бурякове	13,01	14,32	6,97	4,69	3,53	2,80
оз. Дикеньке	13,15	14,21	7,10	4,74	3,51	2,81
оз. Полякове	10,64	11,54	5,77	3,85	2,88	2,31
Кардашинський лиман	8,27	9,61	4,80	3,20	2,40	1,90
оз. Назарово-Погоріле	21,79	26,96	13,92	9,18	6,96	5,53
оз. Закитне	8,92	11,43	5,54	3,73	2,77	2,23
оз. Скадовськ-Погоріле	18,92	23,41	12,08	7,97	6,04	4,80
оз. Рогозувате	13,95	17,27	8,91	5,88	4,46	3,54
оз. Безмен	9,63	14,30	6,90	4,66	3,51	2,78
оз. Чичужне	6,12	9,61	4,99	3,28	2,45	1,95
оз. Виноградне	9,58	13,76	7,13	4,70	3,57	2,83
оз. Горіле	23,48	33,72	17,48	11,51	8,74	6,94
оз. Нижнє Солонецьке	11,33	22,77	11,38	7,85	5,84	4,65
оз. Бублиця	6,00	12,93	6,46	4,31	3,23	2,59
оз. Нижній Круглик	10,08	20,56	10,28	6,63	5,02	4,03
оз. Борщове	11,42	24,61	12,31	8,20	6,15	4,92
оз. Золоте	8,06	21,88	10,21	6,96	5,28	4,14
оз. Дідове	8,55	23,19	10,82	7,38	5,60	4,39
Збур'ївський кут	7,30	17,69	9,44	6,15	4,57	3,63
оз. Краснюкове	8,39	20,36	10,86	7,08	5,25	4,18
оз. Гапка	7,89	19,14	10,21	6,66	4,94	3,93
оз. Лягушаче	12,59	25,32	12,66	8,73	6,49	5,17

Для порівняння в таблиці вказано сучасні їх значення зовнішнього водообміну отримані нами в роботі [35]. Більшість водойм при проектних максимальних амплітудах попусків ($5100 \text{ м}^3/\text{с}$) буде промиватись дніпровською водою у 5–6 разів швидше, ніж у сучасних умовах.

Оскільки такі великі попуски в літньо-осінній період мало ймовірні, в табл. 5.5 наводяться відомості про розраховані періоди зовнішнього водообміну досліджуваних заплавних водойм при інших (проміжних) попускових витратах. У всякому випадку, в проектних умовах водообмінні процеси в цих водоймах будуть більш інтенсивними, ніж в теперішній час.

Також після реконструкції Каховської ГЕС можна очікувати різке посилення *водообмінних процесів у заплавних масивах* пониззя Дніпра. Натурними дослідженнями і відповідними розрахунками [79] встановлено, що ще у 80-і роки впродовж вегетаційного періоду на заплаву проникало $1,35 \text{ км}^3$ дніпровської води, що складало приблизно 6% від об'єму стоку

Нижнього Дніпра. У 15–20% випадків водообмін між заплавою і русловою мережею був відсутнім.

В проектних умовах висота і тривалість zalivanja заплави будуть великими. Істотно посилиться промивка заплавних масивів і, відповідно, самоочисна здатність вищої водної рослинності.

Посилення динаміки вод також призведе до зміни *седиментаційного режиму* як у русловій мережі, так і в заплавних водоймах пониззя Дніпра. Збільшення швидкостей течії перш за все підвищить здатність потоків переносити завислий твердий матеріал. Джерелом його будуть продукти розмиву дна і берегів самих русел, де за багато років зарегулювання стоку накопичилась значна кількість відкладів. Крім того, у водні маси руслової мережі буде надходити (особливо у перші роки після реконструкції Каховської ГЕС) велика кількість органічних зависей із заплавних водойм, де трансседиментація донних відкладів стане провідним процесом формування якості вод. Слід підкреслити, що саме автохтонний матеріал (мінеральний і органічний) буде забезпечувати показники мутності води і приймати участь у формуванні нового розподілу і складу донних відкладів у всіх водних об'єктах гирлової ділянки Дніпра.

При збільшенні попускових витрат в пониззі Дніпра до проектних відміток практично не буде існувати проблеми *надходження солоних вод* у його русло на скільки-небудь значну відстань навіть у період літньо-осінньої межені. Якщо виходити з номограми [81] і врахувати, що солоність води у східній частині лиману зазвичай не перевищує 2–4‰ [16], то вже при попусках 600–700 м³/с солону воду в руслі Дніпра чекати не слід. А попуски Каховської ГЕС з витратами 1500 м³/с повністю виключають входження у гирло річки солоних вод.

Найбільш дієвим важелем впливу на екосистеми водойм, як видно з наведеного матеріалу, є регулювання режиму та об'ємів попусків Каховської ГЕС. Навіть дотримання рекомендованих раніше параметрів попусків у літньо-осінній період (попуск об'ємом 1350 м³/с в імпульсному режимі двічі

на добу) може суттєво посилити водообмін і сповільнити більшість процесів деградації екосистеми. Еквівалентні за об'ємом (43 млн. м³/добу), але рівномірні впродовж доби, попуски води з Каховської ГЕС не створюють умов для зовнішнього водообміну, необхідного для нормального існування водних екосистем водойм, особливо тих, що мають поганий зв'язок з русловою мережею [55].

Дієвість впливу режиму роботи Каховської ГЕС на водообмінні процеси водойм пониззя Дніпра, стан та якість води в них, є безсумнівною. Незворотні зміни, що відбулись в екосистемі за останні 30 років головним чином пов'язані з фактичним переходом режиму роботи Каховського гідровузла з двопікових на однопікові попуски впродовж доби. Кількість перших скоротилась на майже в 5 разів у порівнянні з 80-тими роками минулого століття.

Зазначимо, що з екологічної точки зору збільшення попускових витрат у літньо-осінній період могло б стати вирішальним важелем не тільки призупинення деградації екосистеми пониззя Дніпра, але й відновлення її благополучного стану, якості водного середовища та біорізноманіття [86].

При нинішній пропускній здатності Каховська ГЕС може забезпечити максимально можливий діапазон попускової хвилі 2600 м³/с. При збільшенні пропускної здатності Каховського гідровузла вдвічі максимальне перевищення витрат води над базовими (ΔQ_{max}) складатиме 5100 м³/с. Згідно з розрахунками наведеними у табл. 5.2, хвиля попуску з діапазоном вище 5000 м³/с здатна створити такі коливання рівня води в нижньому б'єфі при яких всі водойми пониззя Дніпра, що пов'язані з русловою мережею будуть мати період зовнішнього водообміну менше 7 діб (рис.5.5).

Для покращання умов водообміну заплавних водойм за допомогою попусків води Каховської ГЕС її реконструкція не є обов'язковою. З рис. 5.5 видно, що при перевищенні витрат води над базовими, які сягають 2000 м³/с, 75% складають водойми з періодом зовнішнього водообміну менше 7 діб.

Зазначимо, що при нинішньому режимі роботи Каховської ГЕС лише біля 20% водойм належать до благополучних з екологічної точки зору. Іншим 80-ти відсоткам водойм притаманний більш повільний водообмін з русловою мережею, що відповідно відбивається на їх екологічному стані та якості вод.

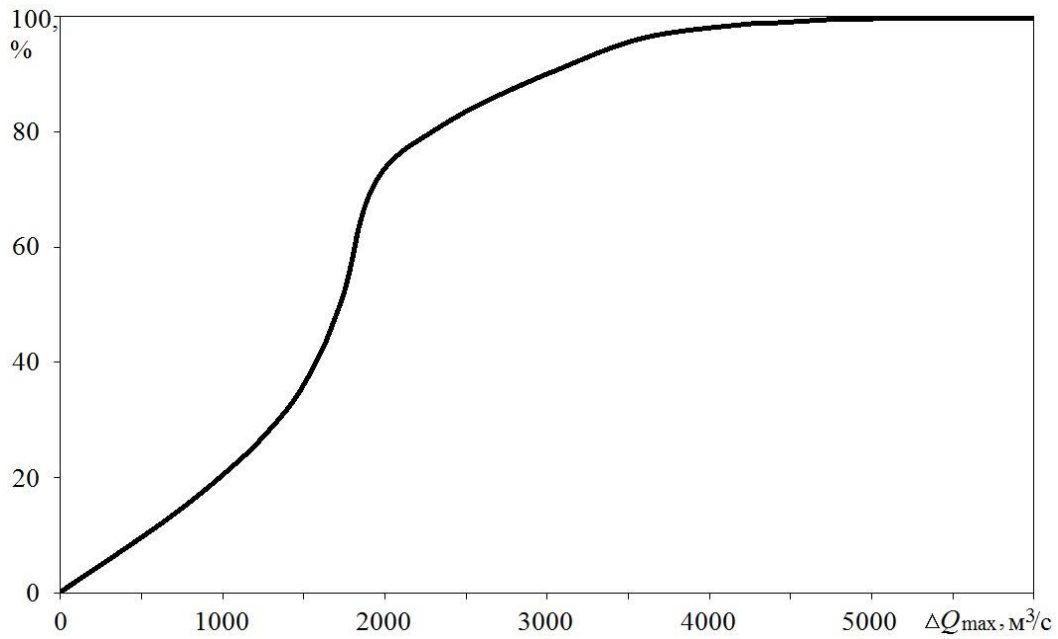


Рис. 5.5. Кількість водойм пониззя Дніпра у % з періодом зовнішнього водообміну 7 діб і менше при попуску води через дамбу Каховської ГЕС з різним діапазоном витрат

Що стосується об'ємів добових попусків води, то їх нормативи викладені у «Правилах експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду» [63]. В період літньо-осінньої межені для нормального функціонування екосистеми пониззя Дніпра повинні витримуватись екосистемні, екологічні, цільові, екстремальні попуски води з мінімальним об'ємом 40,6 млн. м³ за добу [90]. Для збереження благополучного стану іхтіофауни гирлової області Дніпра Каховська ГЕС повинна забезпечувати впродовж квітня–червня рибогосподарські попуски, згідно з якими рекомендовано дотримуватись рівномірних витрат води впродовж доби на рівні 1500–2000 м³/с. В III декаду квітня і I–II декади травня добові витрати не повинні бути нижчими 2000 м³/с [53].

Об'єм попусків є досить важливим фактором функціонування екосистеми гирлової ділянки Дніпра в літньо-осінній період оскільки він визначає фон водності річки. На основі матеріалів багатолітніх натурних гідроекологічних спостережень, за допомогою сучасних методів раніше було розраховано і проаналізовано баланс продукційно-деструкційних процесів у кожній з підсистем гирлової ділянки Дніпра при різних об'ємах попусків Каховської ГЕС [57].

Русловій мережі при малих об'ємах попусків (середньодобова витрата менше $470 \text{ м}^3/\text{с}$) притаманне істотне збільшення концентрації легкодоступної органічної речовини, при великих попусках переважають процеси самоочищення.

Для основної маси заплавних водойм гирлової ділянки Дніпра (період зовнішнього водообміну 5–12 діб) баланс продукційно-деструкційних процесів у літній час позитивний при середніх добових попусках нижче $1500 \text{ м}^3/\text{с}$, що обумовлює їх високий біопродукційний потенціал. Тому заплавні водойми практично при будь-яких реальних об'ємах попусків у цей період є постачальниками органічної речовини у руслову мережу. Причому найбільш активно проходить забруднення органічними речовинами із заплавних водойм (до $3\text{--}5 \text{ г О}_2/\text{м}^3$ за добу) при середньодобових попусках менше $650 \text{ м}^3/\text{с}$.

Продукційно-деструкційні процеси в русловій мережі гирлової ділянки Дніпра в цілому збалансовані в умовах існуючого нерівномірного режиму попусків при водності з середньою добовою витратою води $470 \text{ м}^3/\text{с}$. Попуск води такого об'єму називається екосистемний та є константою, що характеризує внутрішньоводоймові процеси екосистеми.

При зменшенні об'ємів попусків процеси самозабруднення починають переважати. Так, якщо постійно здійснювати попуски з витратою $300 \text{ м}^3/\text{с}$, то на 25-й день в гирловому замикаючому створі Дніпра концентрація органічної речовини (за $\text{БСК}_{\text{повн}}$) тільки за рахунок продукування його екосистемою може збільшитись на $8\text{--}10 \text{ г О}_2/\text{м}^3$. Збільшення об'ємів попусків

обумовлює посилення процесів самоочищення і поліпшення якості води. Сумарний ефект зниження концентрації органічної речовини в дельті відмічається в діапазоні витрат води від 470 до 1250 м³/с. Подальше збільшення об'ємів попусків мало впливає на підсумкові показники, більш того, дещо знижує очисний потенціал гирлової ділянки Дніпра за рахунок меншого часу перебування в ній води.

Методика розрахунку продукційно-деструкційного балансу [90] дозволяє встановлювати об'єм попуску Каховської ГЕС, необхідний для нейтралізації екосистемою пониззя Дніпра забруднення органічними речовинами, що продукуються самою екосистемою та надходять ззовні у вигляді антропогенного навантаження, тобто екологічний попуск. Він не постійний і включає екосистемний попуск і так звану санітарну надбавку, яка забезпечує самоочищення системи від антропогенного забруднення. Екологічний попуск завжди більший екосистемного. Так, при антропогенному навантаженні більше 40 т за добу, яке реально відмічалось, екологічний попуск повинен складати близько 530 м³/с.

В сучасних умовах можливе деяке зменшення об'ємів попусків. У цьому зв'язку є поняття екстремальних (або цільових) попусків [90]. Екстремальні – це попуски з середньодобовими витратами води, які забезпечують нормативні граничні концентрації органічної речовини (за БСК_{повн}) у замикаючому чи будь-якому іншому заданому створі.

Регулювання попусків води та екологічно обґрунтований режим роботи Каховського гідровузла є найбільш реальним заходом поліпшення гідрологічних умов функціонування їх екосистем. Хоча цей метод покращання водообмінних процесів потребує значних економічних витрат, однак він є ефективним для поліпшення стану всієї екосистеми пониззя Дніпра в цілому.

5.3. Локальні засоби поліпшення стану екосистеми в цілому і її окремих елементів шляхом регулювання гідрологічного режиму

Серед реальних засобів покращання стану екосистем водних об'єктів пониззя Дніпра вирішальними, на наш погляд, є гідрологічні. Окрім регулювання режиму роботи Каховського гідровузла досить дієвими є локальні методи поліпшення екологічного стану водних об'єктів. Вони спрямовані на місцеве застосування окремого, чи ряду методів покращання для обраного водного об'єкта.

Руслова мережа пониззя Дніпра значних змін екологічного стану за останні 30 років не зазнала. Погіршення якості води тут відбувається переважно за рахунок надходження забруднювальних речовин з прилеглих територій та зі стічними водами [39, 69]. Зменшення надходження цих речовин та сполук на даному етапі розвитку екосистеми пониззя Дніпра є однією з перших задач щодо поліпшення її екологічного стану та зменшення антропогенного навантаження. Більш вразливими до змін гідрологічного режиму, що відбулись в останні 30 років, виявились заплавні водойми пониззя Дніпра [1].

В основу методів покращання екологічного стану водойм закладене збільшення їх зовнішнього та внутрішнього водообміну. Серед локальних гідрологічних засобів поліпшення стану водної екосистеми пониззя Дніпра найбільш реальними є:

- 1) штучне посилення зовнішнього водообміну шляхом покращання зв'язку водойм з русловою мережею;
- 2) покращання водообмінних процесів шляхом зміни морфометричних характеристик самої водойми;
- 3) покращання умов проточності шляхом очищення ложа від вищої водної рослинності.

В основу зазначених методів закладено покращання умов зовнішнього та внутрішнього водообміну у заплавних водоймах пониззя Дніпра.

Найбільш ефективним серед локальних методів оздоровлення екосистем водойм пониззя Дніпра є штучне посилення їх зовнішнього водообміну шляхом покращання зв'язку з русловою мережею. Методику розширення, поглиблення та спрямлення існуючих, а також створення нових проток розроблено раніше [74, 82].

В основу розрахунків покладено вирішення задачі оберненої до знаходження періоду зовнішнього водообміну. За початкову величину приймається оптимальне з екологічних позицій значення періоду водообміну ($\tau_{\text{опт}}$) 7 діб [53, 82]. Далі визначається оптимальне значення притоку-відтоку води ($W'_{\text{оз}}$) до водойми:

$$W'_{\text{оз}} = V_{\text{оз}} / \tau_{\text{опт}}, \quad (5.1)$$

де $V_{\text{оз}}$ – середній об'єм води у водоймі, м³. Тут і далі, зі штрихом позначені оптимальні значення параметрів, тобто ті, що мають бути для забезпечення періоду зовнішнього водообміну 7 діб.

Надходження води до водойми пов'язане з погодинними змінами рівня в основному руслі та напряму залежить від параметрів протоки, якою озеро з'єднане з русловою мережею. Емпіричний коефіцієнт доступності ($K_{\text{оз}}$) визначається загальним опором цієї протоки та обчислюється за формулою:

$$K_{\text{оз}} = \Delta H_{\text{оз}} / \Delta H_L = \Delta W'_{\text{оз}} / (\Delta H_L \cdot f_{\text{оз}}), \quad (5.2)$$

де $\Delta H_{\text{оз}}$ – добові коливання рівня води у водоймі в м, ΔH_L – добові коливання рівня води в русловій мережі пониззя Дніпра на відстані L , $f_{\text{оз}}$ – площа водойми в м².

Для знаходження оптимального значення загального модуля опору протоки ($F'_{\text{заг}}$) використовується емпіричний вираз [82]:

$$F'_{\text{заг}} = 7,41 \cdot 10^{-7} K'_{\text{оз}}{}^{-4,88}; \quad (5.3)$$

Виходячи з відомого виразу розрахунку модуля загального опору (5.4), можна обчислити будь-який з параметрів протоки, яка постачає до озера необхідну кількість води для забезпечення періоду зовнішнього водообміну 7 діб чи будь-якого заданого значення $\tau_{\text{опт}}$ [74]:

$$F_{\text{заг}} = ln^2 / b^2 \cdot h_{\text{пр}}{}^{3,33}; \quad (5.4)$$

Використавши у виразі 5.4 замість $F_{\text{заг}}$ його проектне значення ($F'_{\text{заг}}$) можна розрахувати оптимальні глибину, ширину протоки та шорсткість русла.

Прикладом використання методу можуть бути розрахунки по меліорації проток оз. Рогозуватого, що розташоване на правобережній заплаві дельти Дніпра біля селища Камишани. Площа водойми 640 тис м², середня глибина 1,1 м (рис. 5.6).

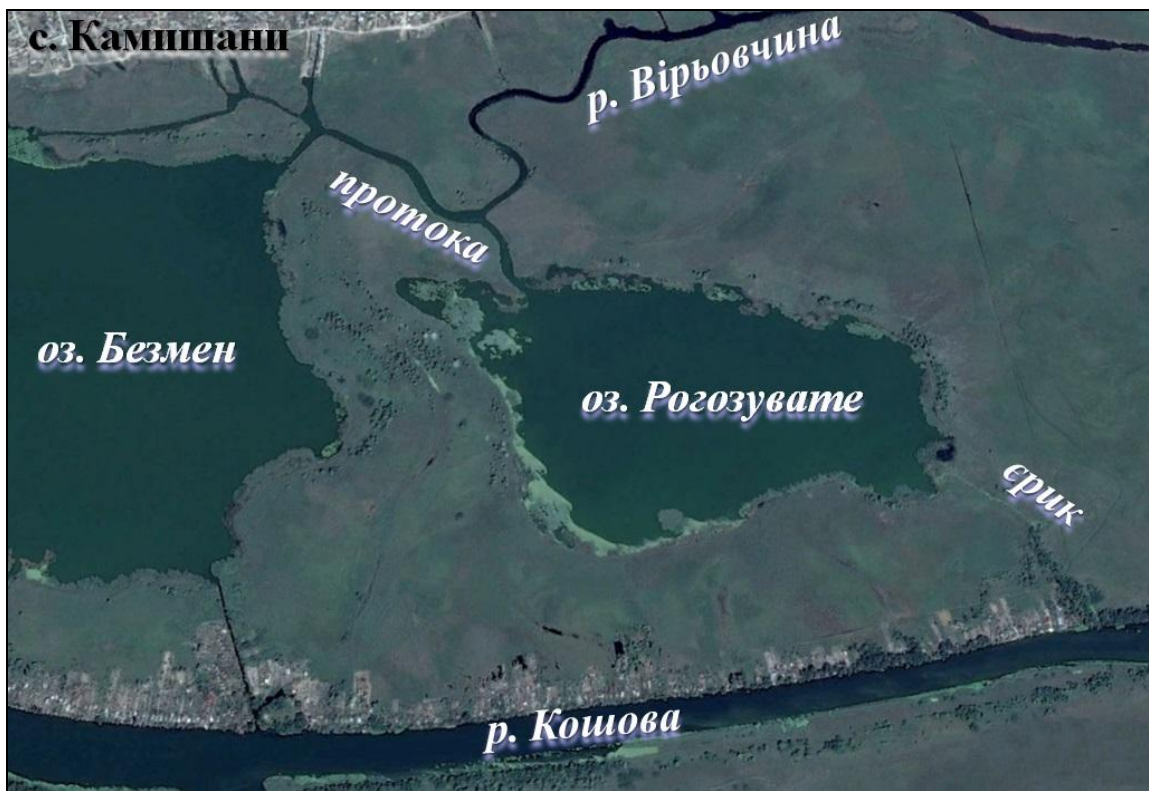


Рис. 5.6. Схема розташування оз. Рогозуватого

Водойма генетично пов'язана з р. Кошовою невеликим ериком на південному сході та з оз. Безмен протокою на північному сході. До цієї ж протоки надходить відгалуження р. Вирьовчини, через яку до водойми надходять стічні води з очисних споруд м. Херсона. У 80-х роках минулого століття Рогозувате відносилось до водойм з помірним водообміном, який складав 11,5 діб [73]. В сучасний період озеро відноситься до водойм пониззя Дніпра зі слабким водообміном.

Єрик у південно-східній частині водойми значно заріс, обмілів, його русло практично повністю перекрите зі сторони р. Кошової заваленими деревами та корчами. Коливання рівня води у р. Вирьовчині формуються переважно внаслідок скидів стічних вод з очисних споруд, та не перевищують 2–4 см на добу. За таких умов, в нинішній час, фактичний період зовнішнього водообміну збільшився та складає 19,4 доби, що суттєво перевищує екологічно прийнятні значення цього показника для заплавних водойм пониззя Дніпра.

Покращання зовнішнього водообміну оз. Рогозуватого можливе за допомогою меліоративних робіт по розширенню та поглибленню вже існуючих проток, що пов'язують водойму з русловою мережею Дніпра.

Протока, що розташована на північному заході водойми, досить широка та має високу пропускну здатність, тому її поглиблювати чи розширювати не потрібно. Натомість, через єрик у південно-східній частині озера притік води майже не відбувається, тому має сенс зазначені меліоративні заходи спрямувати на збільшення його пропускну здатності. У табл. 5.6 наведено існуючі та проектні параметри проток оз. Рогозуватого.

Таблиця 5.6.

Існуючі та проектні гідравлічні параметри проток оз. Рогозуватого

	Назва водотоку	Характеристики проток			Період водообміну, доба
		ширина, м	глибина, м	коефіцієнт шорсткості	
Сучасний стан	протока	30	1,7	0,030	19,4
	єрик	2	0,5	0,133	
Проектні характеристики	протока	30	1,7	0,030	13,0
	єрик	6	1,0	0,030	

Після збільшення ширини єрика до 6 м, замість існуючих 2-х та поглиблення його до 1 м, період зовнішнього водообміну озера покращиться на 69% і складатиме 13,0 діб [53].

Зазначимо, що при наявності фінансових можливостей можна проектувати ширину та глибину єрика ще більшими, але значного покращання для водообмінних процесів у водоймі це не принесе.

Наприклад, якщо при глибині єрика 1 м збільшити його ширину до 7 м, тоді період водообміну складатиме 12,8 діб, при ширині 8 м – 12,6 діб.

Виходячи з розрахунків відмітимо, що на інтенсивність зовнішнього водообміну впливають морфометричні характеристики не тільки проток але й самої водойми:

$$\tau = V_{\text{оз}} / W_{\text{оз}}; \quad (5.5)$$

З формули 5.5 витікає, що чим менша середня глибина водойми та її площа, тим швидше вода в ній змінюється на нову. Для знаходження оптимального значення середньої глибини ($h'_{\text{ср}}$) та площі ($\omega'_{\text{оз}}$) водойми служать наступні формули:

$$h'_{\text{ср}} = (\tau_{\text{опт}} \cdot W_{\text{оз}}) / \omega_{\text{оз}}; \quad (5.6)$$

$$\omega'_{\text{оз}} = (\tau_{\text{опт}} \cdot W_{\text{оз}}) / h_{\text{ср}}; \quad (5.7)$$

Поглиблення та розширення площі водойми, без збільшення зовнішнього притоку води, негативно впливає на водообмінні процеси в озері, оскільки збільшується об'єм води, яку треба змінити новою.

В оз. Рогозуватому середня глибина складає 1,1 м. При її збільшенні, внаслідок поглиблення водойми до 1,3 м об'єм води в озері збільшиться на 128 тис м³. Період зовнішнього водообміну при цьому збільшиться на 3,5 доби і складатиме 22,9 діб, що на 18% гірший за сучасні значення.

Окремим методом покращання екологічного стану водойм пониззя Дніпра є очищення їх ложа від заростей вищої водної рослинності. Вона є постачальником органічних речовин, біогенних елементів, накопичує важкі метали. При відмиранні відбувається акумуляція рослинних залишків, що призводить до зменшення глибини, заболочування водойм. В заростях вищої водної рослинності відмічається зменшення швидкості течій, що призводить до седиментації завислих у воді речовин, замулення ложа водойм, тощо.

Серед сучасних засобів боротьби з заростанням водойм можна виділити три основні групи: хімічні, біологічні та механічні [15].

До хімічних засобів боротьби відноситься використання гербіцидів та нафтових препаратів з групи ароматичних вуглеводнів (керосин, бутиловий ефір 2,4-Д, гербіцид АЕ-1, симазин). Зазначені речовини, не дивлячись на їх високу ефективність, є шкідливими для деяких видів гідробіонтів тому у більшості випадків не розглядаються як перспективні.

Більш прийнятними з екологічної точки зору є біологічні методи, що включають в себе розведення у водоймах рослиноїдних видів риби та водних тварин. До них відносяться білий амур, білий та строкатий товстолобик, нутрії, ондатри, качки.

Найбільш простими та поширеними методами боротьби з заростанням водойм є механічні (ручне або механічне викошування рослин). В останні десятиліття створено значну кількість збиральних машин для скошування водних рослин. До них відносяться човни-косарки (ЛК-12, Dorocutters), машини-амфібії (Тгухор DM 4700В, Тгухор DM 5000), тощо.

Слід зазначити, що не дивлячись на достатньо великий діапазон засобів по боротьбі з заростанням водойм, практична вивченість даного питання лишається досить слабкою [37].

Прийнято, що очищати водойму від рослинності необхідно, коли вона займає більше 20–30% ложа. В озері Карасьовому, що розташоване на лівобережній заплаві пониззя Дніпра біля м. Цюрупинськ (рис. 5.7), заростання водного дзеркала вищою водною рослинністю складає майже 100%. З них напівзанурені рослини займають 60% (очерет звичайний, рогіз вузьколистий), з плаваючим на поверхні листям – 12% (латаття біле), занурені – 26% (переважно кушир занурений) (рис.5.8).



Рис. 5.7. Сема розташування оз. Карасьового



Рис. 5.8. Озеро Карасьове. Липень 2014 р.

Водойма пов'язана з русловою мережею Дніпра чотирма ериками, однак, через значну кількість заростей вищої водної рослинності вода не розповсюджується по акваторії. Водообмін з русловою мережею та між окремими ділянками водойми у більшій частині озера практично відсутній.

З ерика 1 вода розповсюджується на 80-100 м вглиб водойми, з ериків 2 та 3 – не більш ніж на 30 м, з ерика 4 – на 20 м. В цілому, площа водойми до якої відбувається притік води з руслової мережі, складає 8,7 тис.м², від загальної – 120 тис.м². Інша частина, що складає 93% водойми, щільно заросла вищою водною рослинністю (див. рис. 5.8).

Для покращання водообміну в оз. Карасьовому та поліпшення умов існування гідробіонтів рекомендується регулярно (1 раз у 2-3 роки) проводити розчищення ложа водойми від рослинності шляхом викошування. Це збільшить водообмін між окремими ділянками озера, призупинить

процеси продукування та накопичення органічних сполук в ньому, седиментацію завислих у воді речовин, замулення ложа водойми, тощо.

Таким чином, наведені вище локальні методи покращання екологічного стану потребують незначних економічних затрат, але здатні значною мірою регулювати умови існування гідробіонтів та показники якості вод в окремих водних об'єктах.

В пониззі Дніпра меліорація водойм та очищення їх ложа від вищої водної рослинності є досить поширеною практикою впливу на стан озерних гідробіоценозів і є перспективним напрямом розвитку методів управління водними екосистемами.

Висновки до розділу. Розглянуті методи управління станом водних екосистем є найбільш реальними засобами поліпшення екологічного стану пониззя Дніпра шляхом регулювання гідрологічного режиму. До них належать:

- 1) покращання водообміну водойм шляхом регулювання попусків води у нижній б'єф Каховської ГЕС;
- 2) штучне посилення зовнішнього водообміну шляхом покращання зв'язку водойм з русловою мережею;
- 3) поліпшення водообмінних процесів шляхом зміни морфометричних характеристик самої водойми;
- 4) покращання умов проточності шляхом очищення ложа від вищої водної рослинності.

Регулювання попусків та екологічно обґрунтований режим роботи Каховського гідровузла є найбільш дієвим заходом поліпшення гідрологічних умов функціонування водних екосистем досліджуваної ділянки Дніпра. Цей метод потребує великих економічних витрат, однак є ефективним для покращання стану екосистеми пониззя Дніпра в цілому.

Поряд із заходами, що спрямовані на зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти пониззя Дніпра, застосування зазначених методів регулювання гідрологічного режиму здатне значно покращити їх екологічний стан. Застосування локальних методів, на даному етапі розвитку суспільства, передбачає незворотне надання водного об'єкту до приватної власності, без чого їх впровадження стає неможливим.

ВИСНОВКИ

1. Пониззя Дніпра являє собою унікальну водну систему, екологічний стан якої в значній мірі визначається гідрологічним (водним) режимом ріки. Більше 60 років цей режим формується попусками Каховської ГЕС. Їх зміна, що відбулася за останні 20-30 років, призвела до зміни гідрологічного режиму і обумовила негативний хід сукцесії екосистем практично всіх елементів гідрографічної мережі пониззя (руслових потоків, заплавних водойм і самої заплави).

2. Значущими елементами гідрологічного режиму водойм пониззя Дніпра, як і більшості природних водних об'єктів, є воднобалансові характеристики, інтенсивність зовнішнього водообміну, елементи гідродинаміки, гідрофізичні властивості водних мас та донних ґрунтів. Всі указані елементи для кожного із типів водних об'єктів пониззя Дніпра детально оцінено із застосуванням методології та методів екологічної гідрології.

3. Специфіка роботи Каховської ГЕС визначила характерні риси водного режиму кожної із підсистем гирлової ділянки Дніпра. Так, в основному руслі і багатьох водотоках відмічаються періодичні прямі довгі хвилі, фазова швидкість яких сягає 7–8 м/с. Фактичне переміщення водних мас при цьому відбувається зі швидкістю 0,2–0,6 м/с. В заплавних водоймах завдяки указаним хвилям відбувається водообмін з русловою мережею. Період зовнішнього водообміну водойм пониззя Дніпра різний – від двох до декількох десятків діб, що власне і обумовлює суттєву різницю їх екологічного стану.

4. Процеси зовнішнього водообміну в останні десятиліття значно послабились. Основною причиною цього є перехід Каховської ГЕС з переважно двохпікового на переважно однопіковий режим попусків впродовж доби.

5. Натурні дослідження та математичне моделювання дозволили оцінити екологічно значущі гідродинамічні процеси у водоймах пониззя Дніпра, визначитися з наявністю і розташуванням застійних та проточних ділянок на акваторіях водойм, із закономірностями розподілу течій при різних гідрометеорологічних умовах тощо. При цьому доведено прийнятність для моделювання на мілководних заплавних водоймах відомого в гідрології та океанології методу повних потоків.

6. Виявлені основні фактори, що впливають на гідрофізичні властивості водних мас гирлової ділянки Дніпра. Серед найбільш вагомих є кліматичні зміни. На фоні глобального підвищення температури повітря змінився термічний та льодовий режими досліджуваного об'єкту. Прозорість води збільшилась. Кількість завислих речовин у воді зменшилась, у їх складі виросла частка органічної складової. Оцінено вплив змін гідрофізичних властивостей водних мас на стан екосистеми пониззя Дніпра і окремих її складових.

7. Встановлено, що послаблення зовнішнього водообміну стало основною причиною зміни гранулометричного складу донних відкладів в бік більш дрібних мінеральних фракцій. Взагалі, донні відклади у водоймах пониззя формуються переважно за рахунок органічних речовин, що продукуються біотичною складовою їх екосистем.

8. Дослідження механізмів впливу гідрологічних факторів на біотичні та абіотичні компоненти водної екосистеми вказали на тісний взаємозв'язок між ними. Оскільки умови існування гідробіонтів безпосередньо залежать від абіотичних факторів середовища, виявлено, що із значної кількості методів управління водними екосистемами найбільш ефективними для пониззя Дніпра є ті, які впливають на екологічний стан через регулювання елементів гідрологічного режиму.

9. Проведені дослідження дали змогу скласти ряд рекомендацій для поліпшення екологічного стану пониззя Дніпра, розробити режим роботи Каховської ГЕС, що є найбільш сприятливим для функціонування водної

екосистеми дослідженого об'єкту. Серед локальних засобів управління водними екосистемами до найбільш ефективних були віднесені наступні: посилення зовнішнього водообміну в заплавних водоймах шляхом покращання зв'язку з русловою мережею, регулювання морфометричних параметрів самих водойм та очищення їх від надлишкових заростей рослинності і донних відкладів. Отримані рекомендації в подальшому можуть бути використані для планування шляхів покращення стану довкілля в регіоні.

10. В цілому, використання методології та методів екологічної гідрології при дослідженні різних типів водних об'єктів пониззя Дніпра дало змогу оцінити найбільш екологічно значущі елементи гідрологічного режиму, виявити їх зміни, основні причини цих змін та визначити шляхи поліпшення їх сучасного екологічного стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексенко Т.Л. Итоги работы Херсонской гидробиологической станции НАН Украины по изучению биоразнообразия водных систем Днепровско-бугской устьевой области / Т.Л. Алексенко // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Международной научной конференции. – Херсон, ПП Вишемирський В.С., 2012. – С. 3–6.
2. Алексенко Т.Л. Сапробиологический анализ структуры макрозообентоса и качество воды Стеблиевского лимана / Т.Л. Алексенко, Ж.Е. Димова // Наукові читання, присвячені дню науки: Зб. наук. праць. – Вип.4. – Херсон: ПП Вишемирський, 2011. – С.60–66.
3. Андреев О.А. Численное моделирование динамики вод и переноса пассивных примесей в Невской губе / О.А. Андреев, А.В. Соколов // Метеорология и гидрология. – 1989. - №12. – С. 78–85.
4. Барабаш М.Б. Кліматична посушливість на території України у період глобального потепління / М.Б. Барабаш, Т.В. Корж // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2008. – Т.14. – С. 250–256.
5. Брагинский Л.П. «Пятна цветения», нагонные массы, выбросы синезеленых водорослей и происходящие в них биологические процессы / Л.П. Брагинский, В.Д. Береза, И.М. Величко и др. // «Цветение» воды. Сб. науч. ст. Киев: Наукова Думка, 1968. – С. 92–149.
6. Бульон В.В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах / В.В. Бульон // Морфология, систематика и эволюция животных: Сб. науч. работ. – Л., 1978. – С.49–50.

7. В 2015 году стартует строительство Каховской ГЭС-2. – Режим доступа: <http://ura-inform.com/ru/economics/2013/04/01/v-2015-godu-startuet-stroitelstvo-kakhovskoj-ges-2>.

8. Вишневський В.І. Гідрологічний режим Нижньої Волги / В.І. Вишневський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2006. – Том 10. – С. 66–72.

9. Гидроэкологическая характеристика пойменных водоемов устьевой области Днепра / О.П. Оксиук, В.С. Полищук, В.М. Тимченко и др. – Киев: Ин-т гидробиологии АН УССР, 1990. – 156 с. – Деп. в ВИНТИ, №301–В90.

10. Гідробіологічні дослідження континентальних водойм в Національній академії наук України (до 90-річчя НАН України) / за ред. В.Д. Романенка. – К.: «СПД Москаленко О.М.», 2008 – 264 с.

11. Гильман В.Л. Некоторые аспекты влияния изменений климата на внутриводоемные процессы в устьевой области Днепра / В.Л. Гильман // Наукові читання, присвячені дню науки : Зб. наук. праць. – Вип.4. – Херсон : ПП Вишемирський, 2011. – С.15–19.

12. Гильман В.Л. Некоторые особенности ледового режима на Днепре в современных условиях / В.Л. Гильман // Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Международной научной конференции. – Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2012. – С. 320–322.

13. Гильман В.Л. Розподілення стоку по основних рукавах дельти Дніпра / В.Л. Гильман, В.Б. Медвецька // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія / Спец. Вип. "Гідроекологія". – 2005. – №3 (26). – С. 35–45.

14. Гребінь В.В. Сучасні зміни окремих характеристик дощових паводків на річках України / В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2010. – Т.2. – С. 74–86.

15. Грищенко Л.И. Болезни рыб и основы рыбоводства / Л.И.Грищенко, М.Ш. Акбаев, Г.В. Васильков. – М.: Колос, 1999. – 456 с.
16. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема / В.Н. Жукинский, Л.А. Журавлева, А.И. Иванов и др. АН УССР. Ин-т гидробиологии. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с.
17. Дубовський С.В. Гідроенергетика в оновленій енергетичній стратегії України до 2030 року / С.В. Дубовський, Г.М. Федоренко, Л.Б. Остапчук, Г.О. Дубік // Гідроенергетика України. – К.: ТОВ «КВЦ», 2014. – С. 8–12.
18. Дьяченко Т. Смены макрофитов растительности заливов авандельты Днепра / Т. Дьяченко, А. Морозова, В. Раков // Природничий альманах. Біологічні науки, випуск 5: Зб. наук. пр. – Херсон, «Персей», 2004. – С. 38–41.
19. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Стеблійський лиман / Алексенко Т.Л., Овечко С.В., Коржов Є.І. та ін.; за ред. В.М. Тімченка, Т.Л. Алексенко – Херсон. Херсонська гідробіологічна станція НАН України, 2011. – 48 с.
20. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Кардашинський лиман / Овечко С.В., Алексенко Т.Л., Коржов Є.І. та ін.; за ред. С.В.Овечко. – Херсон: Херсонська гідробіологічна станція НАН України, 2015. – 72 с.
21. Журавлева Л.А. Внутригодовая динамика содержания взвешанного вещества в пойменных водоемах нижнего Днепра / Л.А. Журавлева, А.А. Морозова // Гидробиол. журн. – 1997. – 33, №4. – С. 106–112.
22. Журавлева Л.А. Сток общего взвешенного вещества Днепра и Южного Буга в Черное море / Л.А. Журавлева, А.А. Морозова // Гидробиол. журн. – 1999. – 35, №1. – С. 96–101.

23. Иванов В.В. Метод расчета стоковой составляющей колебаний уровней в устьях рек / В.В. Иванов // Тр. ААНИИ, 1968. – Т. 283. – С. 12–29.
24. Институт гидробиологии АН УССР / В.Д. Романенко, А.П. Маркевич, О.П. Окснюк и др. – К.: «Наукова думка», 1984 – 143 с.
25. Карпова Г.А. Влияние современного водного режима на зарастание пойменных водоемов его устьевой области / Г.А. Карпова, А.Е. Ярошевич, В.Л. Гильман // Гидробиол. журн. – 1991. – 27, №3. – С. 47–50.
26. Каховская ГЭС-2 спасет Украину от дефицита электроэнергии. – Режим доступа: http://kherson.in/news/kahovskaja_ges_2_spaset_ukrainu_ot_defitsita_elektroenergii.
27. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев / Петрозаводск: Карельский Научный центр РАН, 2007. – 395 с.
28. Класифікація плавневих водойм пониззя Дніпра за біологічними показниками / Т.Л. Алексенко, С.В. Овечко, Г.М. Мінаєва та ін. // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В.Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія. – 2010. – №2(43). – С. 3–6.
29. Кліматичні дані по м. Херсон за багатолітній період спостережень / режим доступу: http://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/
30. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко – Київ.: Видавництво Раєвського, 2003. – 346 с.
31. Конобеева В.К. К прогнозированию распределения ранней молодежи рыб в водоеме / В.К. Конобеева, А.Г. Поддубный // Вопросы ихтиологии. Л.: Наука, 1982. – Т.22, № 4. – С.619–625.
32. Константинов А.С. Общая гидробиология / А.С. Константинов. – М.: Высш. шк., 1972. – 427 с.

33. Коржов Є.І. Вплив режиму течій на кількісні показники фітопланктону мілководних водойм пониззя Дніпра / Є.І. Коржов, Г.Н. Мінаєва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник, Гол. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2014. – Т.2(33). – С. 61–65.

34. Коржов Є.І. Вплив прозорості води на кількісні показники зоопланктону водойм пониззя Дніпра / Є.І. Коржов, Л.М. Самойленко, А.М. Жур // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології : Мат. 6-ої Всеукр. наук. конф. з міжнар. участю (Дніпропетровськ, 20-22 травня 2014 р.). – Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП», 2014. – С.148–150.

35. Коржов Є.І. Зовнішній водообмін руслової та озерної систем пониззя Дніпра в сучасний період / Є.І. Коржов // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2013. – Т.2(29). – С. 37–45.

36. Костяницын М.Н. Гидрология устьевой области Днепра и Южного Буга / М.Н. Костяницын. – М.: Гидрометеиздат, 1964. – 336 с.

37. Краткий обзор основных методов борьбы с зарастанием водоемов. – Режим доступа: <http://ecopotok.ru/node/5>.

38. Крот Ю.Г. Использование высших водных растений в технологиях очистки поверхностных и сточных вод / Ю.Г. Крот // Гидробиол. журн. – 2006. – 42, №1. – С. 47–57.

39. Кучерява А.М. Продукція і споживання бактеріопланктону антропогенно забруднених водотоків нижнього Дніпра / А.М. Кучерява // Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.8. Збірник наукових праць. – Херсон, – 2015. – С. 44–49.

40. Лаврик В.И. Экологическая емкость и её количественная оценка / В.И. Лаврик, А.И. Мережко, Л.А. Сиренко, В.М. Тимченко // Гидробиол. журн. – 1991. – 27, №3 – С. 13–23.

41. Линник П.Н. Особенности миграции металлов в системе «донные отложения – вода» при снижении рН и повышении концентрации

фульвокислот / П.Н. Линник, В.А. Жежеря // Гидробиол. журн. – 2011. – 47, №3. – С. 91–108.

42. Лифшиц Б.Х. Пример расчета установившихся течений в озёрах с применением метода полных потоков / Б.Х. Лифшиц, Ю.С. Раутнайнен // Тр.Сев. НИИ гидротехники и мелиорации, 1965. – Вып.23. – С. 56–68.

43. Майстренко Ю.Г. Гідрохімічна характеристика водойм дельти Дніпра / Ю.Г. Майстренко // Пониззя Дніпра, його біологічні та гідрохімічні особливості. – К.: Видавництво Академії наук УРСР, 1958. – С. 5–24.

44. Матеріали моніторингу почасових даних вироблення електроенергії у створі Каховської ГЕС [архівні дані], 1970–2014 рр.

45. Минаева Г.Н. Синезеленые водоросли в структуре фитопланктона водных объектов Днепровско-Бугской устьевой области / Г.Н. Минаева // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Международной научной конференции. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2012. – С. 79–82.

46. Минаева Г.Н. Фотосинтетическая активность водорослей планктона в водотоках Нижнего Днепра / Г.Н. Минаева // Наукові читання, присвячені Дню науки. Екологічні дослідження Дніпровсько-Бузького регіону. Вип. 7. Збірник наукових праць. – Херсон, – 2014. – С.16–24.

47. Мінаєва Г.М. Типізація заплавних водойм нижнього Дніпра за фітопланктоном // Г.М. Мінаєва / Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали Четвертої Всеукраїнської наукової конференції, 2 жовтня 2009 р., м. Луганськ. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 139–141.

48. Михайлов В.Н. Динамика гидрографической сети неприливых устьев рек / В.Н. Михайлов, М.М. Рогов и др. – М.: – Гидрометеиздат, 1977. – 294 с.

49. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее / В.Н. Михайлов, – М.: ГЕОС, 1997. – 413 с.

50. Монаков А.В. Горизонтальное распределение зоопланктона в Рыбинском водохранилище по данным синхронных съемок. / А.В. Монаков, Л.М. Семенова // Планктон и бентос внутренних вод. Л.: Наука, 1966. – С. 56–67.

51. Мороз Т.Г. Связь некоторых показателей качества воды с развитием макрозообентоса Нижнего Днепра / Т.Г. Мороз, Н.Г. Александрова // Гидробиол. журн. – 1992. – 28, №2. – С. 47–51.

52. Науково-методичні рекомендації по оздоровленню водних екосистем, поліпшенню умов існування гідробіонтів і природного відтворення риб в пониззі Дніпра / Б.І. Правоторов, В.Л. Гільман – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2007. – 24 с.

53. Науково-практичні рекомендації щодо покращення екологічного стану слабопроточних водойм пониззя Дніпра / С.В. Овечко, Є.І. Коржов, В.Л. Гільман. – Херсон, 2015. – 28 с.

54. Окснюк О.П. Влияние водного режима на количественные показатели высшей водной растительности пойменных водоемов устьевого участка Днепра / О.П. Окснюк, В.М. Тимченко, Г.А. Карпова // Гидробиол. журн. – 1997. – 33, №3. – С. 3–10.

55. Окснюк О.П. Гидробиологические особенности и оценка трофности пойменных водоемов устьевой области Днепра / О.П. Окснюк, В.С. Полищук, В.А. Журавлева и др. // Гидробиол. журн. – 1991. – 27, №6. – С. 3–10.

56. Окснюк О.П. Зависимость биомассы фитопланктона пойменных водоемов устьевого участка Днепра от водного режима / О.П. Окснюк, В.С. Полищук, В.М. Тимченко // Гидробиол. журн. – 1998. – 34, №4. – С. 45–50.

57. Окснюк О.П. Закономерности продукционно-деструкционных процессов в пойменных водоемах устьевого участка Днепра при разном водном режиме / О.П. Окснюк, В.М. Тимченко, В.С. Полищук, и др. // Гидробиол. журн. – 1998. – 34, №3. – С. 17–29.

58. Оксуюк О.П. Роль песчаного грунта в процессах самоочищения воды от органического вещества / О.П. Оксуюк, Е.П. Плазий, Г.В. Меленчук // Гидробиол. журн. – 2004. – 40, №1. – С. 63–73.

59. Пикуш Н.В. Расчет водообмена и проточности водоемов / Н.В. Пикуш // Гидробиол. журн. 1972. – 8, №4. – С. 97–100.

60. Плигин Ю.В. Влияние добычи песка в подводном карьере на развитие макрозообентоса / Ю.В. Плигин // Другий з'їзд гідроекологічного товариства України: Тези доп., Київ, 27–31 жовт. 1997 р. – Київ: Б.в., 1997. – Т.1. – С. 85–86.

61. Поддубный А.Г. Современные представления о локальных стадах (популяциях) у рыб и экологических предпосылках их образования / А.Г. Поддубный, В.В. Халько // Структура локальной популяции у пресноводных рыб. Рыбинск: Тр. Ин-та биол. внутр. вод. Вып. 60 (63)., 1990. – С. 3–23.

62. Полищук В.С. Гидробиологические исследования Нижнего Днестра / В.С. Полищук // Вопросы гидробиологии Нижнего Днестра и лиманов Северного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 3–7.

63. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду / А.В. Яцик, А.І. Томільцева та ін. – К.: Генеза, 2003. – 176 с.

64. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища Херсонської області у 2001–2014 рр. / режим доступу: <http://www.ecology.ks.ua/index.php?module=page&id=11>

65. Ривьер И.К. Особенности функционирования зоопланктонных сообществ водоемов различных типов / И.К. Ривьер // Структура и функционирование пресноводных экосистем. Л.: Наука, 1988. – С. 80–111.

66. Ролл Я.В. Фітопланктон пониззя Дніпра і його можливі зміни у зв'язку зі спорудженням Каховської греблі / Я.В. Ролл // Тр. Ін-ту гідробіології АН УРСР. – Київ, – 1958. – №34 – С. 61–110.

67. Романенко В.И. Связь между интенсивностью фотосинтеза при равномерном распределении водорослей в толще воды и прозрачностью по

дису Секси / В.И. Романенко // Биология внутренних вод: Информ. бюллетень ИБВВ АН СССР. Л.: Наука, 1973. – №19. – С. 11–15.

68. Руководство по рас чету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устье рек при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 536 с.

69. Самойленко Л.М. Особливості дії антропогенних чинників на водотоки Дніпра, шляхи зменшення негативного впливу та охорони біорізноманіття / Л.М. Самойленко, А.М. Жур // Наукові читання, присвячені Дню науки. Вип. 5. Збірник наукових праць. – Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2013. С. 32–36.

70. Самойленко Л.М. Характер розподілу угруповань зоопланктону на екотонних ділянках водойм та водотоків пониззя Дніпра / Л.М. Самойленко, А.М. Жур // Наукові читання, присвячені Дню науки. Екологічні дослідження Дніпровсько-Бузького регіону. Вип.7. Збірник наукових праць. – Херсон, – 2014. – С. 24–28.

71. Сипченко П.В. Седиментационный метод определения гранулометрического состава взвешенных наносов / П.В. Сипченко // Гидробиол. журн. – 1986. – Т. 22, №3. С. 95–97.

72. Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус) / Б.А. Скопинцев // Тр. Гос. океаногр. ин-та. – 1950. – Т.50. – С. 1–288.

73. Тимченко В.М. Внешний водообмен пойменных водоемов устьевого участка Днепра как фактор управления их экосистемами / В.М. Тимченко // Гидробиол. журн. – 1996. – Т. 32, №5. С. 90–112.

74. Тимченко В.М. Внешний водообмен пойменных водоемов устьевого участка Днепра / В.М. Тимченко, А.Е. Ярошевич, М.П. Колесник и др. // Гидробиол. журн. – 1989. – 25, № 5. – С. 62–65.

75. Тимченко В.М. Гидрологические исследования водных экосистем Украины / В.М. Тимченко, Б.И. Новиков // Гидробиол. журн. – 1990. – 26, №3. – С. 100–111.

76. Тимченко В.М. Моделирование течений в водоемах Украины при экологических исследованиях / В.М. Тимченко, С.С. Дубняк, О.В. Тимченко // Наук. Записки Тернопільського пед. ун-ту. – «Гідроекологія» – 2005. №3(26) – С. 432–433.

77. Тимченко В.М. О связи прозрачности воды с содержанием взвешенных веществ в крупных реках и водоемах Украины / В.М. Тимченко, П.В. Сипченко // Гидробиол. журн. – 1984. – 20, № 1. – С. 66–68.

78. Тимченко В.М. Опыт применения метода полных потоков при моделировании циркуляций вод во внутренних водоемах / В.М. Тимченко, С.С. Дубняк, О.В. Тимченко // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зон морей: VI Всерос. конф., Москва, 22-26 ноября 2004г. – С. 98–100.

79. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – Киев: Наук. думка, 1990. – 240 с.

80. Тимченко В.М. Экологическая гидрология: предмет, задачи, методы, опыт исследований в Украине / В.М. Тимченко // Гидробиол. журн. – 1993. – 29, №4. – С. 3–15.

81. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины / В.М. Тимченко. – К.: Наукова думка, 2006. – 382 с.

82. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические расчеты при мелиорации пойменных озер устья Днепра / В.М. Тимченко, В.Л. Гильман // Гидробиол. журн. – 1991. – 27, №2. – С. 90–92.

83. Тимченко В.М. Гідрологічні засади поліпшення стану екосистеми пониззя Дніпра / В.М. Тимченко, В.Л. Гільман, Є.І. Коржов // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Международной научной конференции. – Херсон, ПП Вишемирський В.С., 2012. – С. 9–12.

84. Тімченко В.М. Екогідрологія. Досвід досліджень у Дніпровсько-Бузькій гирловій області / В.М. Тімченко // Таврійський науковий вісник «Сучасні проблеми аквакультури». Вип. 29. – Херсон. – 2003. – С. 187–192.

85. Тімченко В.М. Екологічно значущі елементи гідрології Кілійської дельти Дунаю в сучасний період / В.М. Тімченко, О.В. Тімченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2006. – Т.11.– С. 325–330.

86. Тімченко В.М. Основні фактори погіршення екологічного стану пониззя Дніпра / В.М. Тімченко, В.Л. Гільман, Є.І. Коржов // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2011. – Т. 3(24). – С. 138–144.

87. Тімченко В.М. Сучасні попуски Каховської ГЕС як фактор погіршення стану екосистеми Нижнього Дніпра. / В.М. Тімченко, Є.І. Коржов // Матеріали П'ятої Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія», 22-24 вересня 2011р., м. Чернівці. – С. 257–259.

88. Толмазин Д.М. Расчёт течений, параметров турбулентности и распределения соленых вод в мелком водоёме / Д.М. Толмазин // Вод. ресурсы. – 1975. – №6. – С. 133–155.

89. Управление состоянием экосистем и качеством воды в устьевом участке Днепра. / О.П. Оксуюк, В.М. Тимченко, В.С. Полищук и др. – Киев: ВИПОЛ, 1996. – 64 с.

90. Управление состоянием экосистем и качеством воды в устьевом участке Днепра. Часть 2. / О.П. Оксуюк, В.М. Тимченко, В.С. Полищук и др. – Киев: ВИПОЛ, 1997. – 48 с.

91. Фельзенбаум А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений / А.И. Фельзенбаум, АН СССР, Ин-т океанологии. – М.: изд-во Академии наук СССР, 1960 г. – 126 с.

92. Хільчевський В.К. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу / В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунарьов. – К.: Ніка-центр, 2012. – 180 с.

93. Цапліна К.М. Функціональні показники занурених рослин у різних гідрологічних та гідрохімічних умовах / К.М. Цапліна // Гідрологія, гідрохімія. гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В.К. Хільчевський – К.: Обрії, 2001. – Т. 2. – С. 696–702.

94. Швец Г.И. Многовековая изменчивость стока Днепра / Г.И. Швец, – М.: Гидрометеиздат, 1979г. – 84 с.

95. Шерешевский А.И. Оценка влияния возможных изменений климата на водность р. Днепра / А.И. Шерешевский, Л.К. Сеницкая // Тр. Укр. НИГМИ. Вып. 246. – Киев, – 1998. – С. 86–94.

96. Щербак В.И. Влияние гидротехнических работ на развитие водорослей днепровских водохранилищ / В.И. Щербак, В.Д. Безкаравайная, Г.А. Гошовская, Н.В. Майстрова // Гидротехническое строительство. – 1991. – №3. – С. 43–46.

97. Brezonik R.Z. Effect of organic colour and turbidity on Secchi disk transparency / R.Z. Brezonik // J. Fish. Res. Board. Canada. 1978. V.35. – №11. – P. 1410–1416.

98. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy // Offic. J. off the EC. – EN. – 22.12.2000. – L.327. – P. 1–72.

99. Dillon P.J. The phosphorus-chlorophyll relationships in lakes / P.J. Dillon, F.H. Rigler // Limnol. and Oceanogr. 1974.– V.19. – №5. – P. 767–777.

100. Nuttle W. Is ecohydrology one idea or many? Hydrological Sciences – Journal / W. Nuttle // des Sciences Hydrologiques, 47(5) October 2002, P. 805–807.

101. Pycha R.L. Movements of hatchery-reared lake trout in Lake Superior / R.L. Pycha, W.R. Dryer, G.R. King // J. Fish. Res. Board. Canada. 1965. V.22, №4. – P. 999–1024.
102. Timchenko V. A model for ecosystem state and water quality management in the Dnieper River delta / V. Timchenko, O. Oksiyuk, J. Gore // Ecological Engineering. – 2000. – 16, №1. – P. 119–125.
103. Timchenko V. Management of floodplain's water bodies ecosystem on impounded rivers / V. Timchenko, O. Timchenko, N. Lukashenko // Ecohydrology and hydrobiology. – 2008. – Vol.8, №2-4. – P. 263–272.
104. Timchenko V.M. Dynamics of Environmentally Significant Elements of Hydrological Regime of the Lower Dnieper Section / V.M. Timchenko, Ye.I. Korzhov, O.A. Guliayeva, S.V. Batog // Hydrobiological Journal – Begell House (United States). Vol. 51, Issue 6, 2015. – P. 75-83.
105. Zalewski M. Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources / M. Zalewski // Ecology Engineering. – 2000. – №16. – P. 1–8.