

<https://doi.org/10.15407/gpimo2022.01.030>

С.І. Неверова, наук. співроб.

E-mail: sidzp2019@gmail.com

ДУ «Науковий гідрофізичний центр НАН України»
03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42

ОГЛЯД ГІДРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ВОДАХ ПРИГИРЛОВОГО РАЙОНУ РІЧКИ ДУНАЙ

Метою статті є огляд і систематизація гідрофізичних спостережень, проведених різними фахівцями у водах пригирлового району річки Дунай в результаті експедиційних досліджень і на основі багаторічних спостережень минулого та теперішнього століть, що зумовлено необхідністю заповнення прогалин у розумінні сучасного стану морського гирла р. Дунай через суттєве збільшення його антропогенного навантаження. Зібрано дані з багатьох комплексних морських експедиційних досліджень, проведених установами різних країн у пригирловому районі Дунаю. Надано описи змін показників солоності, каламутності, стоків і наносів, вмісту кисню, температури, водневого показника, апвелінгу, екологічного стану акваторії гирлового узмор'я р. Дунай. Практична значимість наведених результатів полягає в підтвердженні важливості налагодження міжвідомчої співпраці для ефективного і раціонального використання природних ресурсів та запровадження природоохоронних заходів щодо р. Дунай та Чорного моря, впровадження кращих світових практик сталого розвитку прилеглих територій, переведення управління водними ресурсами на наукову основу, налагодження системи моніторингу для виявлення конструктивних рішень щодо збереження й відтворення водних біоресурсів у регіоні Дунаю та прилеглих територіях Чорного моря.

Ключові слова: пригирловий район р. Дунай, гідрофізичні дослідження, гідрохімічні дослідження, північно-західна частина Чорного моря, експедиційні дослідження.

Вступ

Загальна площа гирлових областей складає менше 0,4 % поверхні Світового океану, проте вони мають найвищу питому біопродуктивність з усіх екосистем на планеті, вищу за продуктивність річок, що в них впадають і прилеглого моря, і дають більше 4 % всієї первинної продукції океану. Гирлові області, виконуючи роль біофільтра, де затримуються біогенні речовини, принесені сюди з річковим стоком, мають найважливіше екологічне й економічне значення [2].

Дослідженням пригирлового району річки Дунай присвячено низку наукових робіт, через його найсильніший антропогенний вплив на Чорне море, зумов-

Цитування: Неверова С.І. Огляд гідрофізичних досліджень у водах пригирлового району річки Дунай. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2022. 18, № 1: 30—46. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.01.030>

лений стоком річки, що збирає відходи промисловості та життєдіяльності десяти держав Європи.

Гирловий район Дунаю — трикомпонентне гирло з відкритим гирловим узмор'ям — це складний фізико-географічний об'єкт, що формується в результаті взаємодії річки та моря.

Зміна кліматичних умов і рівня господарської діяльності як в басейні, так і в гирлі, будівництво гідротехнічних споруд на території басейну Дунаю в ХХ ст. призвели до трансформації стоку води та наносів у вершині гирла, а також зміни геоморфологічних й екологічних умов. Найактивнішим був прямий техногенний вплив на гирлову область Дунаю: будівництво дамб, днопоглиблювальні та русловиправні роботи в дельті змінили структуру її гідрографічної мережі, вплинули на процеси перерозподілу стоку, динаміку морського дна.

Пік вивчення морського гирла річки відзначався в 40—70-х рр. ХХ ст., коли клімат регіону і рівень господарського освоєння гирла відрізнялися від сучасних, а технічне забезпечення досліджень було нижче. Окремі роботи з гідрологічних досліджень гирла річки Дунай, зроблені 15—56 рр. тому, носили фрагментарний характер: обстежувались гирлові водотоки, частково узбережжя, в основному, короткими спостереженнями. У цих роботах був відсутній аналіз мінливості гідролого-гідрохімічних характеристик гирла. Частина робіт була присвячена гирловим процесам та явищам: змішуванню річкових і морських вод, приливно-відливним явищам, дельтоутворенню, проникненню осолоненої води в прісноводні водотоки [26].

Метою статті є огляд і систематизація гідрофізичних спостережень, проведених раніше різними фахівцями у водах пригирлового району річки Дунай за результатами виконаних експедиційних досліджень і на основі багаторічних спостережень минулого та теперішнього століть, що зумовлено необхідністю заповнення прогалин у розумінні сучасного стану морського гирла р. Дунай через суттєве збільшення його антропогенного навантаження.

Методика

Зібрано та систематизовано дані відкритого доступу з багатьох комплексних морських експедиційних досліджень у пригирловому узбережжі Дунаю, проведених установами різних країн. Надано описи змін показників солоності, каламутності, стоків і наносів, вмісту кисню, температури, водневого показника, апвелінгу, екологічного стану акваторії гирлового узмор'я р. Дунай.

Результати

Згідно зі статистичними оцінками [26] найбільш небезпечними негативними явищами в гирлі були: затоплення та підтоплення територій, різка зміна солоності, обміління та сильний прогрів водойм, шторми, зрідка льодові явища, течії ≥ 1 м/с, тягуни, замори.

Солоність води є одночасно гідрофізичною (як показник щільності) і гідрохімічною (як показник хімічного складу) характеристикою і слугує найбільш універсальним критерієм розподілу між різнорідними водними масами; для зонування морських гирл річок за переважаючими в них процесами; ви-

значення зон розпріснення, осолонення, теплового впливу; зонування за окремими характеристиками якості води та екологічних ризиків [26].

Надходження річкового стоку в Чорне море зумовлено географічною зональністю, зокрема з Дунаю щорічно потрапляє найбільша частка всієї прісної води 57,5 % [10].

На основі багаторічних спостережень (з 1976 до 2011 р.) у морських гирлах річок Українського Причорномор'я у роботі [27] запропоновано використання солоності води в якості критерію для орієнтовного зонування гирлових акваторій за окремими гідрохімічними показниками (що може бути корисно при відсутності даних гідрохімічних спостережень), виділення зони можливих екологічних ризиків за критичною солоністю води (5–8 ‰).

У роботі [15] на основі аналізу сезонних змін площ різних зон трансформації поверхневих вод, річкового стоку та вітру над морем доведено, що головну роль у літньому просуванні трансформованої води (солоність 14–17 ‰) в центральні та східні райони північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) відіграють особливості вітрового режиму, які визначають характер морських течій у літній сезон, після надходження в море максимального стоку з гирлових областей великих річок. Виявлено багаторічні негативні тренди солоності поверхневих вод у центральній частині ПЗЧМ (липень) та придунайському районі (серпень), що відповідають тенденціям посилення північної та західної складових вітру в другій половині ХХ століття. Продемонстровано різну зміну солоності в окремих районах шельфу на міжрічні коливання річкового стоку з основних джерел — Дунаю і Дніпра з Південним Бугом.

На глибині 10 м виключно в районі гирла Дунаю величина відхилення солоності складає максимальну величину 0,8‰. За результатами розрахунків [23] детально описано динаміку та структуру зони розпріснення в процесі впливу річкового стоку і після його припинення, а також процес утворення та еволюції антициклічного вихору в районі гирла Дунаю, обумовленого річковим стоком.

Встановлено [5], що регулярні формування клину осолоненої води в гирлі Дунаю відбувались у період межені при стійких вітрах з боку моря. Якщо тенденція підвищення рівня Чорного моря збережеться або посилиться, величини нагінних підвишень рівня води на узбережжі та дальність поширення нагонів, зокрема в глиб дельти Дунаю, збільшаться, що негативно вплине на екологічні умови прісноводної екосистеми.

За останні 15 років середньорічна солоність води гирлового узмор'я р. Дунаю зменшувалася на 0,05 ‰ за рік, що було обумовлено збільшенням стоку маловодного періоду на 5–11 %, обвалуванням рукавів р. Дунай, перерозподілом стоку на користь з'єднувального каналу, розпрісненням озера-лагуни Сасик, скидами з сільгоспугідь, а також переважанням згінного, північно-західного вітру з червня по вересень [26].

Середня інтенсивність зміни солоності поверхневого шару води на узбережжі р. Дунай в різний час доби становила 0,03–0,2 ‰/год. — 0,01–0,1 ‰/год. Коefіцієнт варіації солоності C_v на узмор'ї р. Дунай коливався в межах 0,1–1,5 [26].

За даними [26] показники солоності води на водомірних постах і виміряні в період океанографічних зйомок на гирловому узмор'ї р. Дунай такі:

середньомісячна солоність поверхні води біля берега морського гирла — 2,30–17,8 ‰;

коефіцієнт варіації (C_v) поверхні — 0,11—0,40;
солоність поверхні води під час вимірювань біля берега — 0,31—18,5 ‰;
солоність води на глибоководних станціях зйомки в точці вимірювань — 0,34—22,7 ‰;

коефіцієнт варіації (C_v) по всьому об'єму гирлового узмор'я в точці вимірювань — 0,23.

У [26] показано, що облік об'єму дночерпання в рукаві Прорва майже вдвічі збільшує взаємозв'язок між довжиною клину осолоненої води і стоком цього рукава р. Дунай, що має практичне значення для здійснення господарської діяльності (при організації водозаборів, днопоглиблювальних робіт та ін.).

Пригирловому району Дунаю властиві найменші величини прозорості і найбільші значення за шкалою кольоровості, що вказує на наявність значної кількості зваженої речовини. Характерною особливістю для цього району є втрата зваженої та розчиненої речовини й перехід у донні відкладення. Було встановлено [8], що максимальна втрата біогенних речовин за рахунок сорбційних процесів і перехід в донні відкладення спостерігається навесні в період повені й становить до 40—50 % для нітратів, фосфатів і кремнію.

Проте, незважаючи на значну каламутність вод пригирлового узмор'я Дунаю, в поверхневому шарі активно протікають фотосинтетичні процеси. Аналіз даних за період досліджень 1977—1993 рр. і зіставлення їх з даними за весь період досліджень вказує, що в 1987—1993 рр. в районах впливу річкового стоку відзначалося зниження величин фосфатів, нітратів, кремнію, азоту амонійного і тенденція до збільшення азоту органічного, особливо в Придунайському районі. Таким чином, визначення основних тенденцій у мінливості гідрофізичних і гідрохімічних характеристик районів, зниження концентрацій мінеральних форм азоту та фосфору при збільшенні органічних форм свідчать про триваюче антропогенне евтрофіювання ПЗЧМ.

У роботі [7] розглянуто просторову мінливість гідрофізичних і гідрохімічних характеристик поверхневого шару Українського сектора ПЗЧМ за період 1977—1997 рр., де зафіксовано максимальні величини біогенних речовин, межі коливань яких такі: фосфати 10—296 мкг/л, амонійний азот 0—274 мкг/л, нітрати 4—1435 мкг/л, кремній 340—7000 мкг/л, азот органічний 20—2700 мкг/л. Концентрації біогенних речовин у цьому районі залежать від величини стоку, пори року та біологічних процесів.

Моніторинг узмор'я Кілійської дельти в 2004—2010 рр. [3] показав, що баланс рівня біогенних речовин і органічних речовин порушено. Частка основної форми азоту органічного в загальному балансі сполук азоту становить понад 80% для поверхневого і близько 90 % для придонного шарів.

Тобто, морський берег Дунаю — «маргінальний фільтр» на шляху трансформації дунайської води в Чорне море. Тут за рахунок фізико-хімічних процесів, біоасиміляції, біоаккумуляції та біофільтрації рівень розчинених мінеральних сполук азоту та фосфору в порівнянні з дельтою знижується багаторазово, а рівень розчинення органічних форм незначно зменшується.

Таким чином, пригирловому району Дунаю властиві максимальні значення біогенних речовин, що надходять сюди з річковими водами. Однак у результаті впливу метеорологічних, гідродинамічних і гідрофізичних факторів тут відбувається трансформація водних мас, що призводить до зміни концентрацій

біогенних речовин. Якість води в Дунаї змінюється і через зменшення надходження біогенних речовин з водозбірної площі, а також часткової втрати їх за рахунок седиментаційних процесів на водосховищах в його середній частині. Це призвело до зменшення кількості зважених речовин, фосфатів, кремнію, збільшення вмісту кисню й органічних речовин у стоці Дунаю.

Сучасний період характеризується зменшенням обсягів надходження в Чорне море мінеральних і органічних сполук фосфору, азоту нітритного й азоту амонійного з водами Дунаю [30]. Однак Дунай залишається основним джерелом збагачення Чорного моря біогенними елементами.

Незважаючи на те, що Чорне море одне з найбільш вивчених морських басейнів з усіх існуючих на нашій планеті, питання річкових наносів найменш вивчене. З ними пов'язані такі актуальні прикладні задачі як розмив берегів, штучне пляжоутворення, забруднення моря тощо. Точна кількісна оцінка наносів, які надходять в море, необхідна для дослідження сучасного процесу осадонакопичення на морському дні. За даними [10] разом зі стоком в Чорне море щорічно надходять річкові наноси, і найбільшу їх кількість виносить Дунай — 74%; вони утворюють континентальні відкладення у вигляді пляжів і беруть участь у сучасному процесі седиментації (переважно в межах шельфу).

За останні 150 років стік Дунаю у вершині гирлової області помітно змінився. Починаючи з 20-х років ХХ ст. стік наносів Дунаю скорочувався, особливо інтенсивно після спорудження великих гідровузлів на річці в районі ущелини Залізні Ворота. В даний час стік зважених наносів зменшився більш, ніж у два рази, в порівнянні з природним режимом [36]. Гідротехнічні роботи, що проводяться, в основному, в румунській частині дельти з середини ХІХ ст., стали причиною зміни природної еволюції дельтових водотоків. Стік Кілійського рукава протягом ХХ ст. неухильно зменшувався. Суміжний з ним Тульчинський і його продовження Сулинський та Георгіївський рукави збільшували водність. Встановлено, що каламутність води в гирловій області менше середніх показників каламутності потоку в усі фази гідрологічного режиму.

Середні величини вмісту біогенних речовин у водах Нижнього Дунаю в період 1950—1960-х років умовно прийняті як такі, що відповідають природному фону біогенного забруднення водного стоку Дунаю в Чорне море.

Пік антропогенного евтрофування вод Дунаю, а відповідно й Чорного моря, в евтрофікації якого роль біогенного стоку річки Дунай є визначальною, прийшовся на 1986—1988 роки.

За матеріалами [38] станом на 2003 р. було виділено три періоди найбільш істотних коливань витрат води та наносів на початку дельти Дунаю, причому протягом третього періоду стік води виявився максимальним — на 6% вище середнього вікового значення. А ось стік наносів безперервно падає: протягом того ж періоду він виявився на 36% менше середнього багатовікового значення.

Середні характеристики режиму стоку в вершинах морських гирл річок ПЗЧМ за період 1961—2012 рр. за даними [26]:

витрата води, м ³ /с	6700
найбільша витрата води, м ³ /с	16000
найменша витрата води, м ³ /с	1280
стік води, км ³	211
модуль стоку, л/с км ²	8,20

шар стоку, мм	258
коефіцієнт варіації, C_v	0,17
коефіцієнт стоку	0,58
коефіцієнт зарегульованості стоку річок, %	4
коефіцієнт внутрішньорічної нерівномірності стоку	2,0
повторюваність повені в вершині гирла, %	10
багатоводний період (місяці)	III—VII;
стік багатоводного періоду, % від річного	52

Розрахунок тенденцій стоку рукавів р. Дунай за 1961—2012 рр. показав, що витрата води Кілійського рукава зменшувалася (в середньому на 22 м³/с за рік), при відсутності значущих тенденцій витрати р. Дунаю та збільшенні витрати Тульчинського рукава (в середньому на 16 м³/с за рік). Причинами цього були водогосподарські заходи, які здійснювала Румунія, і замулення українського судноплавного каналу за останнє двадцятиріччя, що призвело до економічної катастрофи та погіршення екологічних умов в українському Придунав'ї.

Середні гідролого-гідрофізичні характеристики режиму морських гирл річок ПЗЧМ за період 1961—2012 рр. за даними [26]:

стік води, км ³	211
коефіцієнт зарегульованості стоку, %	4
повторюваність повені, %	10
багатоводний період, місяці	III—VII
стік багатоводного періоду, % від річного	52
рівень води гирлового узмор'я, см	493
швидкість течії на узмор'ї:	
в поверхневому шарі, м/с	0,20 м/с
в придонному, м/с	0,10
каламутність річкової води, г/м ³	95
стік наносів, млн т	22,2
температура річкової води, °С	13,0
температура поверхні морського узмор'я, °С	14
стік тепла, Дж	11950 · 10 ¹⁵
число днів з кригою, діб	48
товщина криги (середня з максимальних), см	48
висота хвилі, м	0,65

Авторами в роботі [28] зазначено похибки отриманих раніше даних про наноси біогенних речовин та неможливість проведення прискорених синхронних вимірювань за наявних обмежень у фінансових і технічних ресурсах. Також використано щорічні дані Державного Водного Кадастру та матеріали експедиційних спостережень Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії з 1976 до 2003 р.

З 1992 р. стік наносів Дунаю спочатку стабілізувався на низькому рівні, потім почав збільшуватися [26], це пояснюють припиненням дночерпання для підтримки судноплавних глибин, а потім його відновленням і багатоводдям декількох років. Річний стік наносів найбільш тісно був пов'язаний зі стоком води Дунаю (коефіцієнт зв'язку найбільший і дорівнює 0,85). Але таку тісну залежність спостерігали тільки в період з 1992 по 2012 рік. Характеристика річної витрати і стоку зважених наносів:

середня, $R_{н\text{ серед.}}$, кг/с	
1961—1991	1200
1992—2012	707

найбільша, $R_{H \text{ макс}}$, кг/с	
1961—1991	2700
1992—2012	1200
найменша, $R_{H \text{ мин}}$, кг/с	
1961—1991	275
1992—2012	393
стік наносів, млн т/рік	
1961—1991	37,8
1992—2012	22,2
модуль стоку наносів, т/км ²	
1961—199	46,7
1992—2012	27,5

Аналіз геоморфологічних змін підтвердив припущення, що природною причиною багаторічного перерозподілу стоку між гирловими рукавами річок є сила Коріоліса [26], дія якої залежить від маси води, тому в Дунаї цей процес активніше, ніж в Дніпрі, змищення потоку якого обмежено узбережжям. Невраховання цього може призвести до помилкових прогнозів. Кількісні оцінки перерозподілу стоку між рукавами р. Дунай можна поліпшити, якщо врахувати, що однорідність рядів порушувалася через руслові деформації, приурочені до періодів 1990—1992, 2005, 2006 і 2010 років.

Чисельне моделювання [35] досліджує вплив стоку річки Дунай на формування гідрологічної структури вод та особливості циркуляції на північно-західному шельфі Чорного моря (ПЗШЧМ). За допомогою тривимірної σ —координатної чисельної моделі ECOMSED, адаптованої під параметри району впадання Дунаю в Чорне море проведено ряд чисельних експериментів з вивчення впливу реальної конфігурації берегової лінії північно-західного узбережжя Чорного моря на процес формування прибережного гідрофронту і течії під час відсутності впливу вітру.

Аналіз рядів середньомісячних значень водного стоку Дунаю та рівня моря в ПЗЧМ у 2004—2013 рр. зафіксував зменшення водного стоку річки в середньому на 0,41 км³/рік, що доводить загальну тенденцію підвищення рівня моря з мінімальною швидкістю підвищення на найближчій до гирла Дунаю станції [6]. Розрахунками середньомісячних швидкостей, напрямків і величин потоків води на розрізах: п. Приморське — о. Зміїний — п. Чорноморськ встановлено тісний зв'язок цих параметрів через західний розріз з величинами стоку р. Дунай в порівнянні з такими ж на східному розрізі. За результатами розрахунків встановлено переважання напрямку потоків морських вод північних румбів через західний розріз і південних румбів через східний розріз, що свідчить про наявність в ПЗЧМ у період 2004—2013 рр. майже постійного антициклонічного мейандру, розташованого між західним циклонним круговоротом основної чорноморської течії та берегом.

У роботі [22] розглянуто гідрохімічний режим у придунайському районі і в районі о. Зміїний за результатами двох зйомок, проведених Морським гідрофізичним інститутом (МГІ) НАН України 17—19 вересня і 7—11 жовтня 1997 р. Зафіксовано відчутний вплив стоку Дунаю на гідрохімічний стан вод придонного горизонту поблизу о. Зміїний, тоді як у поверхневих водах цей вплив виражений не так явно. Судячи з розподілу гідрохімічних показників на пригирлових станціях, стік Дунаю через Сулинське гирло набагато інтенсивніший у

порівнянні з Кілійським гирлом. Розглянуто вплив апвелінга на розподіл розчиненого кисню, водневого показника, кремнекислоти, фосфатів, нітратів і нітритів. Аналізується можливість прояву гіпоксії на досліджуваній акваторії. Відмічено, що апвелінг у пригирловому районі Дунаю значно знизив вміст всіх біогенних елементів у придонних шарах, підвищив вміст кисню, істотно поліпшивши екологічну обстановку в регіоні.

Ділянки моря з ізогалинами 14–16 ‰ у весняно-літній період характеризуються найбільшими концентраціями кисню і величинами рН в поверхневому шарі, що дозволяє віднести ці ділянки до зон найбільш активного фотосинтезу на ПЗШЧМ [8].

Результати аналізу просторового розподілу кисню у водах пригирлового району Дунаю, виконаного за даними експедиційних досліджень, проведених МГІ НАН України в 1997–2010 рр. представлені в роботі [19]. Показано, що гідрохімія вод тут відносно проста лише в зимовий період, коли струмінь Основної Чорноморської течії захоплює весь ПЗШЧМ і «вентилує» його, відносячи води стоку Дунаю на південь. В усі інші сезони біогенні елементи, що надходять в значних кількостях зі стоком річки, залишаються в районі пригирлового узмор'я та прилеглої до нього акваторії. Наслідком усіх цих особливостей є надзвичайно складний кисневий режим цього району.

Оцінюючи насичення киснем поверхневого шару вод у пригирловому районі Дунаю в різні гідрологічні сезони, автор [19] дійшов висновків, що у весняно-літній період (до жовтня) його насичення значно більше 100 %, тобто море віддає кисень в атмосферу. В осінньо-зимовий період (починаючи з листопада) насиченість поверхневого шару вод киснем менше 100 %, і море поглинає кисень з атмосфери. Однак в окремих частинах пригирлового узмор'я (зокрема в Жебріяньській бухті) навіть при дуже низькій температурі 1,5–3,5 °С поверхневій воді можуть бути джерелом кисню. Розпріснені прибережні води з солоністю менше 16–16,5 ‰, незалежно від гідрологічного сезону, більш насичені киснем у порівнянні з водами відкритого моря. Області зниженого вмісту кисню в придонних шарах виникають у стратифікованих водах, коли одночасно спостерігаються вертикальні градієнти температури і солоності. Наявність тільки одного градієнта температури або солоності не завжди веде до різкого зменшення вмісту кисню.

Якісний аналіз взаємозв'язку між насиченням вод киснем і вмістом в них елементів головного біогенного циклу для поверхневих і придонних вод пригирлового району Дунаю в різні гідрологічні сезони наведено в роботі [20]. Відзначено три найбільш важливі ситуації:

- у разі поширення стоку Дунаю на схід на значну (30–50 миль) відстань, вміст біогенних елементів у пересичених киснем поверхневих водах значно менший, ніж у придонних водах, в яких відчувається дефіцит кисню;
- через «замикання» стоку Дунаю у вузькій уздовжбереговій смузі та заповнення майже всього пригирлового району водами відкритого шельфу спостерігається практично однорідний вертикальний розподіл біогенних елементів за межами уздовжберегової смуги (2–3 милі);
- у разі апвелінгу, ненасичені киснем води, що піднялися до поверхні та поширюються на відстань до 20–30 миль від берега, містять значно більше біогенних елементів, ніж оточуючі.

У [21] розглянуто особливості вертикального розподілу кисню та сірководню, виявлені за результатами експедиційних досліджень МГІ НАН України в 1995—2015 роках. Верхня межа сірководневої зони у шкалі відносної щільності за цей період не змінилась та розташовується на ізопікне $\sigma_t = 16,10$ — $16,15$ кг/м³. Для положення верхньої межі субкисневої зони (ізооксігена 10 мкМ) характерна просторова й часова мінливість. У районі ПЗШЧМ в чотирьох експедиціях 2009—2013 рр. вона була в межах ізопікне $\sigma_t = 15,6$ — $15,7$ кг/м³.

У роботі [18] підтверджено виділення трьох характерних гідролого-гідрохімічних ситуацій для даного району: поширення трансформованого стоку Дунаю далеко на схід; притискання стоку Дунаю до західного берега Чорного моря; уздовжбереговий апвелінг. У поверхневих водах ПЗШЧМ під час фотосинтезу відбувається швидке та майже повне вилучення кремнекислоти та нітратів. Можна припустити, що процеси мінералізації зваженої органічної речовини в придонних водах ПЗШЧМ є додатковим джерелом кремнекислоти та нітратів. Для кремнекислоти це відбувається в теплий період року, для нітратів — навіть ранньою зимою. Води відкритої частини ПЗШЧМ, притиснувши в осінній період 2010 р. трансформований прісноводний стік Дунаю до західного берега, містили дуже малі концентрації біогенних елементів, особливо слід відзначити низький вміст кремнекислоти. Це вказує на продовження небезпечного процесу зміни видового складу фітопланктону та всього подальшого трофічного ланцюга в Чорному морі.

Результати роботи [1] свідчать, що за останні 50 років за рахунок надлишку надходження біогенних речовин з річковими водами Дунаю в морі в весняно-літній період розвивалася антропогенна евтрофікація, а в літньо-осінній період, в придонному шарі формувався дефіцит кисню — гіпоксія. В останні роки скорочення стоку біогенних речовин з площі водозбору Дунаю забезпечило збільшення прозорості вод в результаті зменшення зважених речовин органічного та мінерального походження. Однак, відсутність моніторингу морського середовища не давала можливості зробити повну оцінку сучасного стану водної екосистеми. За даними прямих спостережень встановлено розвиток гіпоксії в придонному шарі. Значення розчиненого кисню на відносно глибоких частинах шельфу (глибини понад 20 м) були нижче 2,0 мл/л. Цей процес обумовлений високим рівнем евтрофікації у весняно-літній період 2017 р., що підтверджують дані супутникових спостережень NASA і результати спостережень за апвелінгом водних мас у прибережній частині моря в теплий період 2007, 2012 і 2017 років. Це свідчить про триваюче антропогенне евтрофування, формування дефіциту кисню та сірководню в придонному шарі на українській частині шельфу Чорного моря.

За даними міжнародної міжурядової організації «Дунайська комісія» пануючими вітрами в холодну пору року в нижній частині річки Дунай є північний і північно-східний. У теплу пору року напрямок вітрів більш постійний і припадає на західну чверть. Зазвичай в басейні Дунаю переважають вітри з малою швидкістю (4 м/с) і штилі. Найбільш сильні вітри спостерігаються взимку.

При переважаючих напрямках вітру над акваторією гирла Дунаю висота хвиль становила 0,40—0,80 м, при штормах — 4—6 метрів [26].

Результати проведених чисельних експериментів [13] свідчать про те, що короточасний вітровий вплив викликає апвелінг не тільки в поверхневому шарі біля берега. Залежно від рельєфу дна генерується складна тривимірна структура течій і досить швидко виникають глибинні апвелінги в околицях локальних не-

однорідностей. У пригирловому районі Дунаю при всіх вітрах виникають апвелінги, положення та інтенсивність яких залежать від напрямку вітру, що призводить до практично постійної вентиляції вод. Доведено, що в околицях локальних особливостей рельєфу дна та берегової лінії (таких як підводні височини, западини, миси) формуються зони підйому вод, які проявляються, в основному, в глибинних шарах моря.

Такого ж висновку дійшли й автори роботи [19]: апвелінг, що приносить у поверхневий шар біогенні елементи та на «чистих» ділянках шельфу сприяє розвитку процесів фотосинтезу, в такому складному по гідрохімії районі, як пригирлове узбережжя Дунаю, може викликати вкрай негативні наслідки для екосистеми.

На основі супутникової інформації за період з 2005 по 2011 рр. проаналізовано [32] характеристики вихорів, що генеруються над материковим схилом в північно-західній та західній частинах Чорного моря. Розраховано кількість вихорів, що генеруються, термін їх життя та інтенсивного розвитку. З'ясовано положення фронтів і направлення переносів вод в найбільш характерних вихорах. Встановлено тісний зв'язок вихрової активності в регіоні, що розглядається з термічним станом у зимовий період та мінливістю витрат Дунаю.

Проаналізовано супутникові дані Landsat-8 і Sentinel-2 за 2017—2018 рр. [29] і досліджено просторові особливості прояву динамічних процесів — вихрових структур, проявів внутрішніх хвиль. Встановлено, що в ряді випадків у досліджуваному районі утворюється тришарова структура з верхнім галокліном, що викликає утворення різного роду динамічних структур у широкому діапазоні просторових масштабів і різною часовою мінливістю. Продемонстровано прояв динамічних процесів за рахунок зміни різних параметрів поверхневого шару — шорсткості та сликів, коефіцієнта яскравості, температури.

У роботі [20] доведено, що в результаті апвелінгу в пригирловому узбережжі Дунаю різке зниження насичення киснем поверхневих вод і збільшення вмісту в них біогенних елементів можуть негативно вплинути на стан гідробіонтів, що підтверджено в роботі [18]: у результаті процесів уздовжберегового апвелінгу в літній період у поверхневих водах пригирлового району Дунаю можливе зниження вмісту кисню та виникнення замору риби на ПЗШЧМ.

Області впливу стоку тепла р. Дунай поширювалися на його узбережжі на 2—5 км (в залежності від стоку рукавів), хоча обсяг цих областей на узбережжя майже в 5 разів більше, ніж річок Дніпро і Південний Буг на Дніпровсько-Бузький лиман.

За даними міжнародної міжурядової організації «Дунайська комісія» басейн Нижнього Дунаю характеризується посушливим континентальним кліматом з дуже жарким літом і холодною зимою. Середня температура січня від -2 до -6 °С. Мінімальна температура досягає від -30 до -35 °С. Влітку температура повітря має великий добовий хід, що досягає іноді від $+15$ до $+20$ °С. Середньомісячна температура липня від $+20$ до $+30$ °С, максимальна від $+40$ до $+42$ °С.

Найбільш стратифікована по температурі водна маса характерна для гирлового узмор'я р. Дунай [26]. Значний позитивний тренд температури води гирлових вод Дунаю ($0,01$ — $0,03$ °С/рік) обумовлений потеплінням клімату (через вплив підвищення температури повітря).

У [17] показано, що площа ореола трансформованих прибережних вод у травні може бути визначена за даними колірних сканерів типу MODIS, SeaWiFS та аналогічних систем, а момент стійкого підвищення температури — за добови-

ми даними штучних супутників Землі Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA, <http://poet.jpl.nasa.gov>). Отримано оцінки площі гіпоксії та встановлено добре виражений зв'язок між площею гіпоксії й індексом вегетації (NDVI) для південних областей України.

На підставі проведеного аналізу даних [31] за 40-річний період (1960—2000 рр.) можна зробити висновок, що просторові неоднорідності величини рН на акваторії пригирлового узмор'я р. Дунай визначаються біологічними процесами в зоні змішування річкових і морських вод, а в безпосередній близькості до дельти — характеристиками річкових вод. Сезонна динаміка величини рН значною мірою спричинена сезонним циклом у розвитку біопродукційних процесів, що залежать від температурних умов і вертикальної стратифікації, на які істотно впливає об'єм стоку річкових вод. Збільшення витрат вод Дунаю у весняний період призводить до формування різко щільної стратифікації у верхньому шарі вод, прогріванню тонкого перемішаного шару в літній період, що супроводжується інтенсифікацією біологічних процесів і збільшенням величини водневого показника. Кореляційна функція, що характеризує вплив витрат Дунаю на величину рН, досягає максимуму при тимчасовому зсуві (запізненні рН) на два місяці.

У роботі [9] надано результати дослідження просторового розподілу інтенсивності флуоресценції розчиненої в морській воді органічної речовини та хлорофілу-*a* у західній частині Чорного моря. В результаті досліджень зареєстровано високу горизонтальну просторову мінливість у районі впливу стоку р. Дунай, де були зафіксовані різкі фронти, що розділяють опріснені річковим стоком води і солоні води відкритих морських акваторій. У фіксованій точці, розташованій поблизу кордону області опріснених вод, зареєстрована сильна часова мінливість. У районах з квазіоднорідним просторовим розподілом характеристик спостерігався яскраво виражений добовий хід інтенсивності флуоресценції хлорофілу-*a* в поверхневому шарі води. Вертикальна стратифікація інтенсивності флуоресценції розчиненої органічної речовини і хлорофілу-*a* зареєстрована на всій дослідженій акваторії.

Мінливість концентрації хлорофілу-*a* пов'язана з витратою води Дунаю як у всій північно-західній області регіону, так і поблизу північно-західного берега. Про це свідчить високий рівень когерентності витрати води Дунаю і концентрації хлорофілу-*a*, що відноситься до діапазону періодів 6—12 місяців. [17]. Значення фазового спектра у цьому діапазоні відповідають запізнюванню максимумів концентрації хлорофілу-*a* від 2,5 до 1,5 місяців. Відсутність різких максимумів на спектрі концентрації хлорофілу-*a* і велика область високої когерентності свідчать про складний характер прояву взаємозв'язку між витратами води Дунаю і концентрацією хлорофілу-*a*, а також, зокрема, про те, що цвітіння фітопланктону спричинено не тільки витратою води Дунаю, а й іншими факторами: температурою, освітленістю, кількістю біогенних елементів та ін.

Ступінь антропогенного навантаження можна оцінити, досліджуючи гідрохімічні характеристики, які найбільш тісно пов'язані з біологічною продуктивністю.

Екологічний стан Кілійського гирла дельти Дунаю та прилеглої частини Чорного моря в останні десятиліття зазнав значних змін внаслідок посилення антропогенного впливу на водне середовище. За точку відліку цих змін прийняли період 1960-х років, коли антропогенне евтрофування вод Дунаю тільки роз-

починалося, а екосистема ПЗЧМ ще перебувала у стані «екологічної норми». Цей період називають «доевтрофікаційним» або «докризисним», маючи на увазі виникнення екологічної кризи в ПЗЧМ у 1970—1980 рр., головними ознаками якої були: розширення зон «цвітіння» води; виникнення гіпоксії та заморів у придонних водних шарах на великих площах; деградація філофорного поля Зернова; збіднення біологічного різноманіття [30].

Гирлове узмор'я Дунаю відноситься до області лавинної седиментації. Тут осідають і вибувають з подальшого транспорту у відкриту частину моря великі маси зважених речовин. Рівень забрудненості поверхневих вод узмор'я р. Дунаю досить значний [30].

Аналіз розподілу біогенних елементів, а також нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин у морських водах за даними багаторічних спостережень показує, що за рівнем і динамікою біогенних елементів й забруднюючих речовин Кілійське гирлове узмор'я може бути віднесене до так званих екологічно «гарячих точок» Чорного моря, де в умовах антропогенного тиску відбулися найгірші зміни в структурі та функціонуванні водної екосистеми.

Встановлено [26], що в період 1992—2012 рр. каламутність р. Дунаю на її гирловій ділянці зменшилася вдвічі — 95 г/м^3 у порівнянні з періодом 1961—1991 рр. — 194 г/м^3 . З огляду на те, що витрата води не мала значних відхилень у період з 1961 р. до 2012 р., тренд у коливаннях каламутності викликаний зміною антропогенної діяльності: припиненням днопоглиблювальних робіт у гирлових рукавах, скороченням судноплавства по Кілійському гирлу, а також зниженням рівня господарської діяльності в регіоні. Останніми роками відновилося судноплавство в українській частині р. Дунай, Молдова та ЄС побудували нафтоналивний та зерновий термінали, вантажний і пасажирський порт в с. Джурджулешти, в зв'язку з цим каламутність води дещо збільшилася, цьому також сприяв підвищений стік річки в 2005—2006 роках.

Питання радіоекологічного забруднення Дунаю вивчалось ще у 70—80-ті роки минулого століття: в роботі [16] наведено деякі репрезентативні дані, що показують діапазон вимірюваних концентрацій радіоактивності в річковій воді та у відкладеннях.

При оцінці сучасного антропогенного навантаження пригирлового району річки Дунай за модулем стоку нафтових вуглеводнів, його було віднесено до критичного значення.

Основними проблемами та ризиками природокористування, зумовленими природними й антропогенними чинниками в Дунайському пригирловому районі були: багаторічний перерозподіл річкового стоку Дунаю, обміління лимано-озер, утворення барів, рукавів, плавнів, болотних угідь, у тому числі, відведення території для Дунайського біосферного заповідника, забруднення довкілля, заморні явища [26]. У гирлі річки основною причиною екстремального погіршення якості води були хлороорганічні пестициди і гіпоксія. При аналізі явищ замору встановлена неоднозначна роль стоку р. Дунай (замори риби в лимано-озерах сталися при максимумі подачі в них дунайської води).

На підставі стаціонарних та експедиційних спостережень Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії, комплексного аналізу гідрологічних і гідрохімічних процесів [26] встановлено, що всі види господарської діяльності в гирлі річки Дунай меншою мірою впливали на якість води, ніж транзит забруднюючих речовин з країн

Дунайського басейну. Місцеві джерела забруднення (включаючи судноплавство і Придунайську зрошувальну систему) були менш значимими через спад виробництва сільськогосподарської продукції та деградації транспортної галузі, портового й міського господарства українського Придунав'я та Дунайського пароплавства [26].

У роботі [17] наведено вплив річкового стоку Дунаю і Дніпра на екологічний стан ПЗШЧМ за такими показниками: концентрація хлорофілу-*a*, індекс вегетації NDVI, яскравість нормалізованого вихідного випромінювання на різних довжинах хвиль, температура поверхні води за даними сканерів типу SeaWiFS, MODIS, NOAA. Отримано взаємозв'язок витрат води Дунаю і Дніпра з мінливістю концентрації хлорофілу-*a* та індексу північно-атлантичного коливання (NAO). Показано добре виражений взаємозв'язок між площею гіпоксії та індексом NDVI. Площа гіпоксії може бути оцінена на основі отриманих співвідношень за супутниковими даними. Результати дослідження можна використовувати для дистанційного моніторингу екологічних умов регіону.

З небезпечних метеорологічних явищ (що повторюються, зазвичай, кожні 7, 11, 22 рр.) у гирлі річки Дунай були тумани, мряка, складні відкладення і ожеледь [26].

У 2000-х фахівцями Інституту гідробіології НАН України розроблено й апробовано на прикладі водяних рослин гирла р. Дунай математичну модель та відповідну комп'ютерну програму комплексного аналізу даних про структуру та екологічний стан угруповань рослин. Результати, що були отримані нетрадиційними методами збігаються з контактними експертними традиційними оцінками, а на їх одержання та обробку витрачено набагато менше часу при збільшенні достовірності отриманих показників [11, 34].

Сильні цвітіння ціанобактерій були відзначені в 1986–1988 рр. у гирлі Дністровського лиману та біля гирла річки Дунай. Пізніше, протягом тривалого часу, такі сильні цвітіння не виникали. У [24] це пов'язують з припиненням надходження великої кількості пестицидів у море зі стоком річок.

Пригирлове узбережжя річки Дунай залишається однією з активних зон моря — зоною концентрації мікроорганізмів, фіто- і зоопланктону, макрзообентосу і риб, що розглядається як прояв крайового ефекту, який проявляється не тільки в зростанні кількісних характеристик, а й у збільшенні показників функціональної активності гідробіонтів [4]. Встановлено, що на показники загальної чисельності макрзообентосу достовірно впливають глибина і тип ґрунту, а на загальну біомасу — глибина, тип ґрунту і солоність. У пригирловій частині Дунаю ґрунти представлені мулами, які присутні на всіх глибинах, піски і замулені піски зустрічаються в більшості випадків у баровій області на невеликих глибинах, замулена ракуша і ракуша з піском — переважно в мористій частині. Найвищі показники чисельності макрзообентосу та біомаси зареєстровані на мулистих ґрунтах. На віддаленні від гирла складаються сприятливі умови для розвитку поліхети, які утворюють тут скупчення з дуже високою щільністю.

Мілководна зона перехідних вод із солоністю від 0,3 до 12,0 ‰ населена зоопланктоном, який має різну пристосованість до солоності [12]. Найбільшим видовим багатством характеризуються прісні води, де широко представлені всі три екологічні групи зоопланктону: прісноводні, прісноводно-олігогалінні та прісноводно-мезогалінні види. Зі збільшенням солоності видове багатство знижується, в першу чергу, за рахунок зменшення прісноводних видів, вони зустрічаються переважно в місцях винесення течією з рукавів, водночас зменшується і кількість прісноводно-

олігогалінні і прісноводно-мезогалінних видів, можливо, через вплив зони «критичної солоності». Зміна видового багатства зоопланктону в градієнті солоності від 0,5 до 9,0 ‰ описується лінійною залежністю з високим ступенем апроксимації.

Результати комплексних досліджень основних природних процесів у дельті Дунаю за останні 50 років показали, що найбільш оптимальним варіантом для водної магістралі є прокладання глибоководного суднового ходу Дунай — Чорне море по гирлу Бистре Кілійської морської дельти Дунаю. Це задовольнить основні навігаційні та гідроморфологічні вимоги щодо судноплавності, а саме: русло цього гирла малозвивисте й досить глибоке, а його морфологічні параметри близькі до проєктних характеристик глибоководного суднового ходу [33]. Замулення глибоководного суднового ходу Дунай — Чорне море відбувається під впливом природних і антропогенних факторів, тобто залежить від кількості водного і твердого стоку Дунаю, якості та точності проведення днопоглиблювальних робіт.

Загалом, усі варіанти морського суднового ходу, які передбачають використання того чи іншого рукава Дунаю і які проходять через його гирло, вирізнятимуться інтенсивним замулюванням, розвитком позагирлових морських наносів і потребуватимуть захисту для судноплавства у вигляді будівництва різноманітних морських споруд (шпори, дамби тощо).

Для збереження водних ресурсів і запобігання деградації Дунайського гирлового району необхідні поглиблення та реконструкція рукавів Дунаю. Підтримка глибин в Кілійській системі рукавів не тільки буде сприяти збереженню водних ресурсів, а й підвищить рибпромислове значення регіону, через збільшення промислу чорноморсько-азовського оселедця й осетрових [26].

У роботі [37] розглянуті можливі зміни гідрометеорологічних умов у дельті Дунаю з прогнозом до 2050 р. Температура води зростає у всіх водних об'єктах гирлової частини Дунаю, найвищу температуру слід очікувати в придунайських озерах і на гирловому узбережжі. Зменшиться частота та тривалість крижаних явищ у всіх водоймах і рукавах дельти. Очікується зниження концентрацій O_2 , збільшення амплітуд добового ходу O_2 і CO_2 в літню пору. Слід очікувати підвищення загальної мінералізації в придунайських озерах і погіршення якості води за більшістю показників.

Практична значимість наведених результатів полягає у підтвердженні важливості налагодження міжвідомчої співпраці щодо ефективного і раціонального використання природних ресурсів та запровадження природоохоронних заходів на Дунаї та Чорному морі, провадження кращих світових практик сталого розвитку територій, переведення управління водними ресурсами на наукову основу, налагодження системи моніторингу для прийняття конструктивних рішень щодо збереження та відтворення водних біоресурсів у регіоні Дунаю і прилеглих територіях Чорного моря.

Висновки

Для пригирлового району Дунаю характерні максимальні значення біогенних речовин, що надходять сюди з річковими водами. Однак у результаті впливу метеорологічних, гідродинамічних і гідрофізичних факторів тут відбувається трансформація водних мас, що призводить до зміни концентрацій біогенних речовин.

За останні 150 років стік гирлової області Дунаю помітно змінився. Починаючи з 20-х років ХХ століття, стік наносів Дунаю скорочувався. В теперішній час стік зважених наносів зменшився більш ніж у два рази в порівнянні з природним режимом.

Описано три характерні гідролого-гідрохімічні ситуації для пригирлового району р. Дунай: поширення трансформованого стоку річки далеко на схід; притискання стоку Дунаю до західного берега Чорного моря; уздовжбереговий апвелінг. Через уздовжбереговий апвелінг у літній період у поверхневих водах пригирлового району Дунаю можливе зниження вмісту кисню та виникнення замо-ру риби на ПЗШЧМ.

За даними водомірних постів середньорічна солоність води гирлового узмор'я р. Дунай за останні 15 років зменшувалася на 0,05 ‰ за рік, що було обумовлено збільшенням стоку маловодного періоду на 5–11 %, обвалуванням рукавів річки.

Аналіз замулювання гирлового узмор'я та глибоководного суднового ходу Дунай — Чорне море показав домінування природних факторів, серед яких величина рідкого й твердого стоків річки та зворотна залежність формування гирлового бару при віддаленні від гирла. Виходячи із сучасних умов гідрологічного режиму дельти (сучасного перерозподілу стоку), вибір напрямку суднового ходу гирлом Бистре є більш обґрунтованим.

Збереженню водних ресурсів системи рукавів і запобіганню деградації Дунайського гирлового регіону сприятимуть врегулювання суперечностей щодо спільного природокористування в Придунав'ї на міжнародному рівні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлинский Н.А. Попов Ю.И. Формирование придонной гипоксии и сероводорода на шельфе Черного моря. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2018. Вип. 18. С. 6–13.
2. Берлинский Н.А., Наконечная З.В. Влияние природных и антропогенных факторов на экологические условия устьевой области Дуная. URL: <http://eco.com.ua/content/vlyuanyepryudnyh-y-antropogennyh-faktorov-na-ekologicheskoye-uslovyu-ustevoy-oblasty>.
3. Богатова Ю.И. Гидрохимический режим украинского участка взморья Дуная. *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40, № 3. С. 295–305.
4. Бондаренко О.С. Таксоцен полихет в приустьевом взморье реки Дунай. *Морський екологічний журнал*. Отд. вып. № 2, 2011. С. 11–16.
5. Гаврилюк Р.В., Берлинский Н.А. Опасные морские гидрологические явления в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24, Вип. 2. С. 26–39.
6. Газетов Е.И., Андрианова О.Р., Мединец В.И., Белевич Р.Р., Морозов В.Н. Оценка влияния стока реки Дунай на отдельные гидрологические характеристики северо-западной части Черного моря в 2004–2013 гг. *Вісник Одеського національного університету. Географічні і геологічні науки*. 2015. Т. 20, Вип. 4. С. 55–64.
7. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А., Гончаров А.Ю. Районирование Украинского сектора северо-западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2000. №1. С. 9–25.
8. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А. Формирование гидрохимических условий на устьевом взморье Дуная. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон*. 2000. Т. 2. С. 133–141.
9. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцкут Ю.И., Гурев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2015. Т. 8, № 1. С. 17–26.
10. Джаошвили Ш.В. Реки Черного моря : технический отчет. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2002. 58 с. URL: https://www.eea.europa.eu/ru/publications/technical_report_2002_71/at_download/file.

11. Звенигородський Е.Л. Аналіз структури та екологічного стану угруповань водяних рослин із застосуванням дистанційного моніторингу та системних методів : автореф. дис.... канд. біол. наук : 03.00.17 / Інститут гідробіології НАН України. Київ, 2000. 19 с. URL:
12. Зорина-Сахарова Е.Е., Ляшенко А.В., Марченко И.С. Влияние солёности на структуру зоопланктона акваторий переднего края Килийской дельты Дуная. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Біологія*. 2015. № 3—4. С. 251—255.
13. Иванов В.А., Михайлова Э.Н., Шапиро Н.Б. Моделирование ветровых апвеллингов на северо-западном шельфе Черного моря в окрестностях локальных особенностей рельефа дна. *Морской гидрофизический журнал*. 2008. № 3. С. 68—80.
14. Иванов В.А., Прусов А.В. Адаптация гидравлической модели водостока к бассейнам рек Дунай и Днестр. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2005. Вип. 12. С. 392—406.
15. Ильин Ю.П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря. *Научные труды УкрНИГМИ*. 2006. Вып. 255. С. 242—251.
16. Кётелеш Д.Я. К вопросу о радиоэкологии реки Дунай. *Бюллетень МАГАТЭ*. Книга 22. № 2. С. 47—53.
17. Кириленко Н.Ф., Кушнир В.М., Лемешко Е.М. Влияние речного стока на экологические условия северо-западной области черноморского региона по данным контактных и дистанционных измерений. *Геоинформатика*. 2009. № 4. С. 43—49.
18. Кондратьев С.И. Три характерные гидролого-гидрохимические ситуации возле устья Дуная по данным экспедиционных исследований Морского гидрофизического института в 1997—2013 годах. *Морской гидрофизический журнал*. 35, № 4. 2019. С. 367—383.
19. Кондратьев С.И. Особенности пространственного распределения кислорода в водах приустьевоего взморья Дуная в 1997—2010 годах. *Морской гидрофизический журнал*. 2014. № 3. С. 60—76.
20. Кондратьев С.И. Особенности пространственного распределения элементов главного биогенного цикла в водах приустьевоего взморья Дуная в 1997—2013 годах. *Морской гидрофизический журнал*. 2015. №5 (185). С. 35—52.
21. Кондратьев С.И., Видничук А.В. Особенности вертикального распределения кислорода и сероводорода в Черном море по экспедиционным данным Морского гидрофизического института в 1995—2015 годах. *Морской гидрофизический журнал*. 2018. 34, № 5. С. 422—433.
22. Кондратьев С.И., Геворгиз Н.С. Гидрохимические условия в районах устья Дуная и острова Змеиный в сентябре и октябре 1997 года. *Морской гидрофизический журнал*. 2000. № 2. С. 42—60.
23. Кубряков Александр Иванович. Моделирование циркуляции и процессов массопереноса в Черном море в приложении к задачам оперативной океанографии: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 04.00.22 / Морской гидрофизический институт НАН Украины. Севастополь, 2014. 399 с. URL: http://mhi-ras.ru/news/thesis_defense_201409291200.html.
24. Малахова Л.В., Лобко В.В. Содержание хлорорганических соединений в прибрежных морских акваториях Крыма и Краснодарского края в 2019 г. Комплексные исследования Мирового океана [КИМО-2020]: материалы V Всерос. науч. конф. молодых ученых. (г. Калининград, 18—22 мая 2020 г.). Калининград, 2020. С. 383—384.
25. *Міжнародна міжурядова організація «Дунайська комісія»*: URL: <https://www.danubecommission.org/>.
26. Миньковская Р.Я. Морские устья рек северо-западной части Чёрного моря: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.28. ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва, 2020. 370 с.
27. Миньковская Р.Я. Солёность воды как критерий зонирования морских устьев рек. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 298—301. URL: <https://dissert.ocean.ru/index.php/dissertatsii/category/62-minkovskaya.html>.
28. Миньковская Р.Я., Ильин Ю.П. Вынос растворенных биогенных веществ в Черное море со стоком Килийского рукава р. Дунай. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2005. Вип. 12. С. 155—166.
29. Михайличенко Т.В. Изучение динамических процессов в приустьевой части Дуная на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения в оптическом диапа-

- зоне. *Спутниковые методы и системы исследования Земли* : X международная школа-семинар. (г. Таруса, 09—12 апреля 2019 г.). 2019. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2019/09.pdf.
30. Оцінка стану вод української частини Нижнього Дунаю : технічний звіт «Інвентаризація складів отрутохімікатів та джерел забруднення води» / УкрНЦЕМ. ред. Коморіна В.М. 2017. 282 с.
 31. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. Климатические характеристики водородного показателя вод приустьевой акватории у р. Дунай и его сезонная изменчивость. *Системы контроля окружающей среды*. 2020. Вып. 1(39). С. 109—116.
 32. Попов Ю.И., Полонский А.Б. О некоторых структурно-динамических особенностях антициклонических вихрей северо-западной части материкового склона Черного моря. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. №14. С. 236—249.
 33. Ромах С., Коноваленко М. Особливості дослідження замулювання портів і штучних каналів на прикладі ГСХ Дунай — Чорне море. *Вісник Держгідрографії*. 2010. № 4(32). С. 7—9.
 34. Сіренко Л.Я., Звенигородський Е.Л. Комплексний аналіз результатів дистанційного моніторингу угруповань водних рослин гирла Дунаю. *Системы контроля окружающей среды*. 2001. Вып. 3. С. 260—261.
 35. Цыганова М.В., Лемешко Е.М., Рябцев Ю.Н. Моделирование формирования гидрофронта в районе устья Дуная. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. № 3. 2016. С. 26—31.
 36. Черой А.И. Сток воды, наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай: дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / Одесский государственный экологический университет. 2009. 174 с. URL: <http://www.dslib.net/gidrologia/stik-vodye-nanosiv-i-morfolohichni-protseseye-u-hyerloviy-oblasti-richkye-dunaj.html>.
 37. Черой А.И. Возможные климатические изменения в дельте Дуная, Юго-Западная часть Украины. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2013. 18, Вып. 3 (19). С. 50—56.
 38. Шуйский Ю.Д. Гидролого-морфологические черты формирования современной Килийской дельты Дуная. *Вісник Одеського національного університету*. 2003. 8, Вып. 11. С. 4—17.

Стаття надійшла 24.01.2022

S.I. Nevierova, Researcher
Scientific Hydrophysical Centre, NAS of Ukraine
42, Akademik Hlushkov Ave., Kyiv, 03187, Ukraine
E-mail: sidzp2019@gmail.com

OVERVIEW OF HYDROPHYSICAL STUDIES IN THE WATERS OF THE DANUBE RIVER ESTATES

The purpose of the article is to systematize the hydrophysical observations carried out by various specialists in the waters of the Danube River region on the basis of the results of expeditionary studies carried out on the basis of long-term observations of the past and present centuries, the need to fill in the gaps in the understanding of the current state of the Danube sea mouth, due to a substantial increase in its anthropogenic load. The Danube Sea Floor is located on the Danube River. Data have been collected from many complex marine expeditionary studies on the Danube coastline of different institutions of different countries. A description of changes in the indicators of salinity, turbidity, run-off and sediment, oxygen, temperature, hydrogen index, upwelling, ecological state of the area of the estuary rise of the Danube region is provided. The practical significance of these results lies in the importance of establishing national inter-institutional cooperation for the efficient and rational use of natural resources and the introduction of environmental protection measures in the Danube and the Black Sea, introduction of world best practices for the sustainable development of territories, scientific management of water resources, establishment of a monitoring system to identify constructive solutions for the conservation and reproduction of aquatic bioresources in the Danube region and the adjacent territories of the Black Sea.

Keywords: Danube Estates, hydrophysical research, hydrochemical research, North-West Black Sea, expeditionary research.