

Комплексні морські (річкові) експедиційні дослідження — важливий напрям розвитку науково-технічного потенціалу морегосподарського комплексу країни

*М.Ф. Голодов¹, А.Ю. Гордєєв², Ю.І. Попов¹, С.Г. Федосєєнков²,
О.А. Щипцов², О.О. Щипцов¹, 2019*

¹Державна установа "Держгідрографія", Київ, Україна

²Державна установа "Науковий гідрофізичний центр НАН України", Київ, Україна

Надійшла 5 серпня 2019 р.

В соответствии с положениями Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Государственным учреждением "Госгидрография" Министерства инфраструктуры Украины и Государственным учреждением "Научный гидрофизический центр НАН Украины" в 2018 г. проведены три совместные комплексные научно-исследовательские экспедиции: речная экспедиция "Днепр-2018" в акватории Каневского водохранилища р. Днепр, морская экспедиция "Черное море-2018" (акватория северо-западной части Черного моря), речная экспедиция "Дунай-2018" (акватории устья Быстрое, Очаковского устья и Соломонова рукава дельты Дуная). Цель исследований — океанографическое и гидрографическое изучение морских и речных акваторий для повышения эффективности навигационно-гидрографического обеспечения безопасности судоходства и создания совместного банка океанографических данных Национальной академии наук Украины, Министерства инфраструктуры Украины и Морской администрации. С помощью современных высокоэффективных приборов измерены скорости течений, горизонтальные поля и вертикальное распределение температуры, солености воды, растворенного в ней кислорода и водородный показатель упомянутых районов акваторий. В результате комплексного дистанционного гидроакустического изучения рельефа дна и донных отложений по площади и разрешению по характеристикам отраженных сигналов изучены гидрофизические и геофизические параметры (геоакустические характеристики и литологические типы донных отложений, обратная и объемная реверберация водной толщи) обследованных районов акваторий. Выполнена съемка рельефа дна, в том числе на навигационном фарватере, а также на отдельных опасных для навигации объектах. Получены эмпирические данные для их применения на практике и дальнейших теоретических обобщений в области гидрографии и океанографии. Данные переданы в банк океанографических данных.

Ключевые слова: океанография, научно-исследовательская экспедиция, гидрология, гидроакустика, гидрография, банк океанографических данных, скорости течений, соленость воды, рельеф дна, донные отложения.

Вступ. Закордонний і вітчизняний досвід доводить, що головним інструментом ефективного здійснення морської політики є метод програмно-цільового планування і управління, який реалізується на дер-

жавному рівні з використанням науково-технічного потенціалу морегосподарського комплексу країни. За програмно-цільовим підходом можна подолати негативну практику відомчих і групових інтересів,

скомплектувати і скоординувати розрізнені дослідження і проекти, впорядкувати розподіл фінансових коштів і матеріальних ресурсів, підвищити рівень управління [Науковий ..., 1994; Щипцов, Щипцов, 2019].

Відомо, що до основних напрямів розвитку науково-технічного потенціалу держави належать:

- розробка комплексної програми розвитку морського наукового і науково-технічного потенціалу на середньо- та довгострокову перспективу;
- організація комплексних морських експедицій [Постанова ..., 2009].

Керуючись положеннями Морської доктрини України, Національна академія наук України звернулася на адресу Міністерства інфраструктури України (лист Президента НАН України Б. Є. Патона від 10 липня 2018 р. № 72/1057-5) з необхідністю ініціювання міжвідомчої науково-технічної програми (далі — Програма) Міністерства інфраструктури України та Національної академії наук України стосовно комплексного океанографічного і гідрографічного вивчення морського середовища та внутрішніх водних шляхів України на період 2018—2022 рр.

Відповідно до зазначеного звернення НАН України, а також з урахуванням майбутнього міжнародного десятиріччя науки про океан в інтересах сталого розвитку, яке проголошено в резолюції (A/RES/72/73) від 05.11.2017 р. Організації Об'єднаних Націй [Резолюція ..., 2017] Державна установа (ДУ) "Держгідрографія" спільно з ДУ "Науковий гідрофізичний центр НАН України" розробили концепт Програми.

Мета Програми — океанографічне та гідрографічне вивчення морських і річкових акваторій для підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення безпеки судноплавства і створення спільного банку океанографічних даних (БОД) НАН України та Міністерства інфраструктури України.

В інтересах удосконалення методології проведення спільних експедиційних досліджень у рамках зазначеного концепту Програми восени 2018 р. було проведено

дві річкові комплексні науково-дослідні експедиції з використанням малих гідрографічних суден "Дельфін" (8—14 вересня, Канівське водосховище), "Шляховик" і катера "Гідрограф-3" (6—8 листопада, дельта Дунаю) та морську експедицію з використанням гідрографічного катера "О. Солодунов" (9—11 жовтня, акваторія північно-західної частини Чорного моря). Судно-власником зазначених плавзасобів є ДУ "Держгідрографія".

Специфіка вибору районів робіт дає підставу розглядати їх як полігони для розробки, випробування та впровадження різних техніко-методичних і технологічних прийомів виділення, оцінювання та аналізу гідрофізичних параметрів акваторій у широкому діапазоні стратегічних завдань промислово-господарського комплексу України. Під час здійснення гідрофізичних робіт було виконано такі дослідження:

- гідрологічні — вимірювання течій на різних водних горизонтах, прозорості (каламутності), температури та швидкості поширення звуку;
- гідроакустичні — площове знімання акваторій з метою виявлення об'єктів природного та штучного походження, в тому числі потенційно небезпечних;
- гідрографічні — визначення з використанням багатопроменевого ехолота основного та додаткових суднових шляхів, виявлення загального рельєфу дна, встановлення характеру і розміщення навігаційних небезпек, інтенсивності перетворення рельєфу дна та корінних берегів.

Результати експедиційних досліджень будуть використані в процесі коректури морських карт (з урахуванням фактичного океанографічного стану аномальних ділянок досліджених акваторій), а також при формуванні та поповненні зазначеної БОД.

Методи та засоби досліджень. Гідрологічні дослідження виконували за допомогою термохалінного зонда Midas CTD+ (табл. 1), було проведено вертикальне зондування водної товщі в діапазоні глибин 0—500 м, визначено тиск, температуру, електропровідність морської води, кількість розчиненого в воді кисню та водневий показник.

Т а б л и ц я 1. Основні технічні характеристики термохалінного зонда Midas CTD+

Характеристика	Датчик				
	розчиненого у воді кисню (DO)	кислотності (pH)	питомої електропровідності	тиску	температури
Тип	Електричний датчик кисню	Збалансований за тиском електрод	Індуктивні навії, збалансовані за тиском	Тензорезистивний датчик	Платиновий термометр опору (PRT) із швидким відгуком
Діапазон	0—200 % максимально, або 0—20 ppt	2—12	Від 0,1 до 60 мСм/см	До 500 м	Від - 5 до + 35 °С
Точність	± 1 % від виміряного значення ± 0,1 ppt	± 0,1	± 0,01 мСм/см	± 0,1 % діапазону	± 0,01 °С
Розрізнення	0,005 % насичення	0,001	0,002 мСм/см	0,001 % діапазону	0,002 °С

За допомогою вимірювача течій Model 106 (табл. 2) встановлено швидкість і напрямки течій.

Гідроакустичні дослідження виконували за допомогою вітчизняного гідроакустичного комплексу, розробленого ДУ "Гідрофізичний центр НАН України" (рис. 1), який було встановлено на зазначених вище суднах під час експедицій. До складу комплексу входили: гідролокатори бокового огляду (ГБО-50 або ГБО-100М, залежно від глибин районів обстеження), ехолот EM-100, гідроакустичний профілограф, прий-

мач GPS, пристрій сполучення, ПЕОМ та ін. (табл. 3) [Гончар та ін., 2011].

Для забезпечення збору, обробки, зберігання та передачі у судовий фрагмент банку цифрових океанографічних даних гідроакустичної інформації було розроблено сучасний математичний апарат і програмне забезпечення для побудови планшетів обстежених акваторій з автоматичним нанесенням схеми галсів, гідролокаційної інформації з прив'язкою до координат і батиметричних карт акваторій [Волошина та ін., 2003; Гончар та ін., 2012].

Т а б л и ц я 2. Основні технічні характеристики вимірювача течій Model 106

Характеристика	Швидкість	Частота дискретизації	Тиск
Тип	Високоєфективне робоче колесо стирулу	Компас флюсу	Перетворювач тензодатчика
Розмір	Діаметр 125 мм на крок 270 мм	—	—
Діапазон	Від 0,03 до 5 м/с	Від 0 до 360°	50 дбар
Точність	± 1,5 % від показання понад 0,15 м/с; ± 0,004 м/с нижче 0,15 м/с	± 2,5°	± 0,2 %
Роздільна здатність	—	0,5°	0,025 %

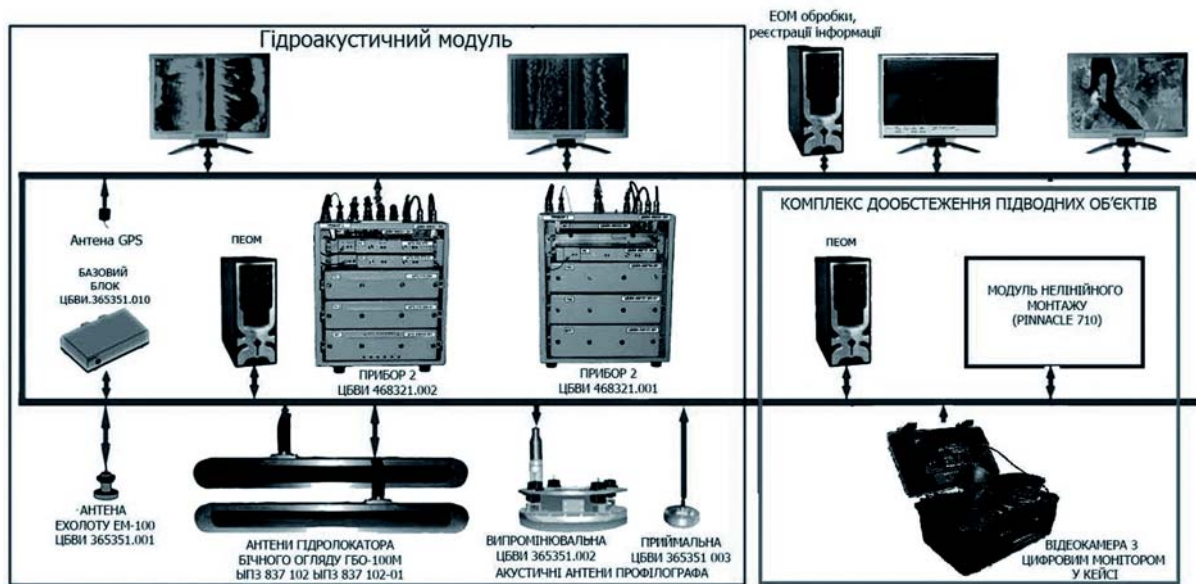


Рис. 1. Структура гідроакустичного комплексу.

Гідрографічні дослідження здійснювали за допомогою багатопроменевого ехолота Sea Bat 7101.

Технічні характеристики приладу:

- можливість вибору глибин у режимі реального часу, 24 варіанти робочої частоти — від 190 до 420 кГц з кроком 10 кГц;
- можливість вибору в режимі реального часу ширини смуги охоплення від 10° до 165° — для однієї голови сонара та від 20° до 210° — для двоголового сонара (з концентрацією всіх променів у межах обраного сектора);

- можливість повороту сектора огляду в режимі реального часу з концентрацією всіх променів у межах обраного сектора;
- підтримка двох режимів формування променів: режим рівних кутів (EA) — рівні кути між променями; режим рівних відстаней (ED) — рівні відстані на дні між променями;
- динамічна стабілізація бортової хитавиці при діапазоні кутів поперечного нахилу $\pm 15^\circ$, що забезпечує якісне виконання знімання незалежно від динаміки судна та максимальну ефективність

Т а б л и ц я 3. Основні технічні характеристики засобів гідроакустичного комплексу

Характеристика	ГБО-100М	ГБО-50	Ехолот EM-100
Робоча частота, кГц	96; 104	470	230
Діапазони дальності (на один борт), м	100; 200; 400; 800	50; 100	—
Діапазон глибин, м	До 100	До 20	До 100
Розрізнявальна здатність, м	0,25—2,0	0,025—0,1	0,025—0,1
Тривалість зондувального імпульсу, мс	0,1; 0,5; 1,0;	0,5; 1,0; 2,0	0,1
Максимальна електрична потужність, що підводиться до антени, Вт	До 1000	До 400	Д

- унаслідок мінімізації кількості галсів, потрібних для знімання повної ділянки;
- підтримка автоматичної корекції посилення, відстеження дальності та кута;
- можливість вибору числа променів від 10 до 512 — для одноголового сонара; від 20 до 1024 — для двоголового сонара;
- ширина променя: $1^\circ \times 1^\circ$ — за частоти 400 кГц; $2^\circ \times 2^\circ$ при 200 кГц;
- одночасне виведення даних батиметрії, бокового сканування і сніпет-даних, первинних даних водяного стовпа;
- діапазон тривалості імпульсу 30 мкс — 30 мкс (режим CW) і 300 мс — 10 мс (режим FM).

Результати обробки та інтерпретація отриманого експериментального матеріалу. Окремі акваторії Канівського водосховища та р. Дніпро. Результати комплексного дослідження окремих акваторій Канівського водосховища та р. Дніпро від поверхні до ґрунту (дна) наведено у табл. 4. Виконано знімання ділянки затопленої

вирубки площею $0,32 \text{ км}^2$, яка є небезпечною щодо навігації з урахуванням її безпосередньої близькості до судноплавного ходу. Протяжність цієї ділянки — 800 м у напрямку з північного заходу на південний схід і 400 м — з південного заходу на північний схід. Для детальніших результатів промір рельєфу дна було виконано за відстані між галсами 20 м.

За допомогою програмного забезпечення НУРАСК було побудовано схему ізобат зі значеннями 3,65; 5; 7 та 9 м. За результатами знімання виявлено три ділянки з глибинами, меншими за 3,65 м (рис. 2).

На центральній частині вирубки виявлено ділянку з негарантованими глибинами завдовжки 350 м і завширшки 50 м. Найменші глибини — 3,1 м при нормальному підпертому рівні Канівського водосховища 91,5 м БС.

Крім того, встановлено два невеликі осередки з негарантованими глибинами. Радіус цих навігаційних небезпек 10—15 м.

Таблиця 4. Результати гідрологічних досліджень акваторій Канівського водосховища та р. Дніпро, 2018 р.

Номер станції	Дата	Час	Координати		Глибина, м	Прозорість води, м	Температура води, °С	Швидкість течії, м/с
			Широта (північна)	Довгота (східна)				
1	09.09.2018	9 : 50	49° 54,409′	31° 25,865′	5,0	1,25	20,9	0,11
2	09.09.2018	13 : 40	49° 47,425′	31° 26,970′	14	1,35	20,9	0,15
3	11.09.2018	8 : 00	49° 59,778′	31° 24,194′	8,4	1,30	20,4	0,10
4	11.09.2018	9 : 20	49° 56,479′	31° 14,542′	5,0	1,25	20,6	0,16
5	11.09.2018	12 : 05	49° 58,759′	31° 06,571′	7,0	1,35	20,4	0,12
6	11.09.2018	14 : 40	50° 01,558′	30° 59,665′	6,7	1,30	20,2	0,09
7	11.09.2018	15 : 25	50° 04,836′	30° 55,247′	5,5	1,25	21,0	0,12
8	11.09.2018	16 : 35	50° 07,349′	30° 48,901′	11,9	1,55	20,2	0,14
9	12.09.2018	9 : 43	50° 08,214′	30° 45,877′	9,3	1,70	20,3	0,08
10	12.09.2018	10 : 50	50° 12,305′	30° 43,907′	8,4	1,65	20,5	0,05
11	13.09.2018	10 : 52	50° 14,396′	30° 41,689′	10,0	1,35	20,2	0,10
12	13.09.2018	11 : 47	50° 19,059′	30° 37,716′	9,4	1,15	20,2	0,12
13	13.09.2018	13 : 38	50° 27,939′	30° 31,749′	9,2	1,10	20,1	0,11

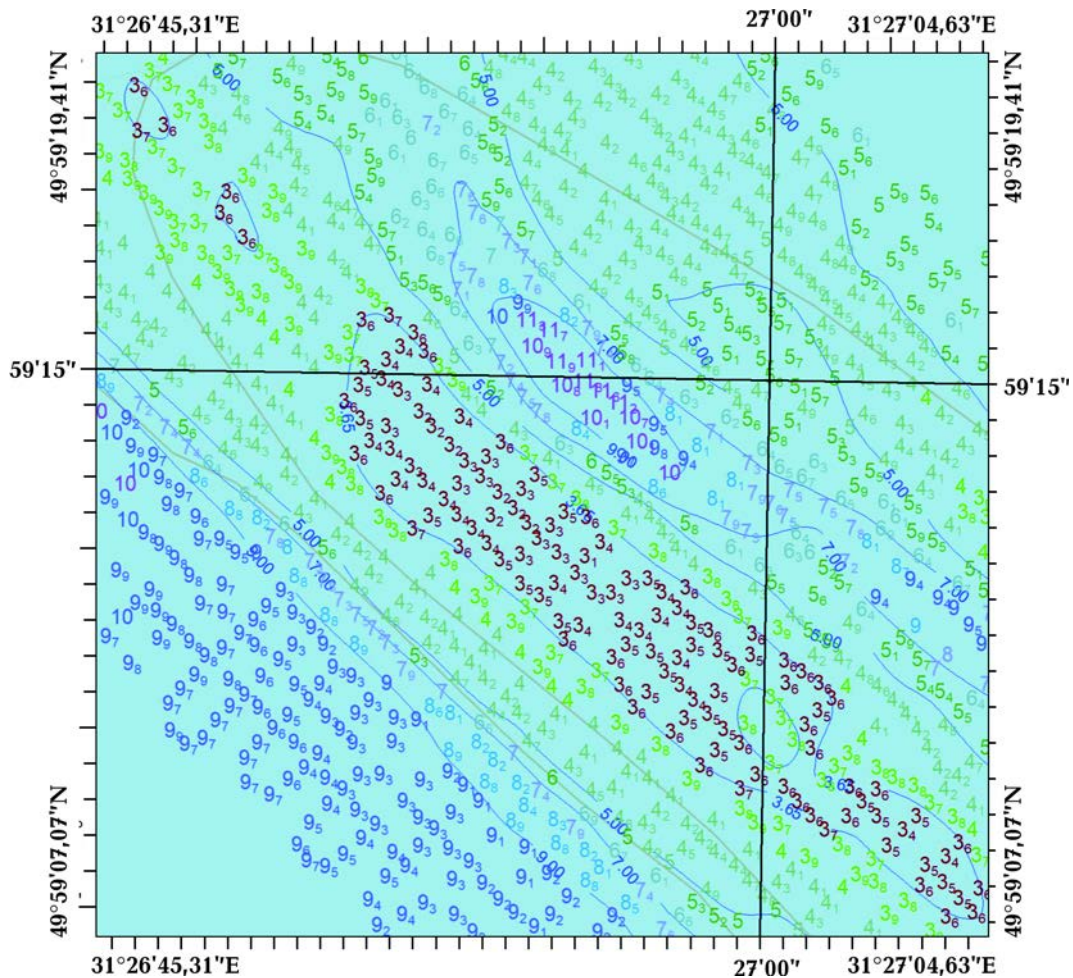


Рис. 2. Навігаційні небезпеки затопленої вирубki.

Значення негарантованих глибин на рис. 2 показано червоним кольором.

Затоплена вирубка є небезпечною для навігації й через прокладений додатковий судноплавний підхід до пристані м. Переяслав-Хмельницький. Роботи зі знімання цієї ділянки необхідні для розуміння динаміки зміни рельєфу дна та коректного розміщення засобів навігаційного обладнання: буїв і сигар. Таким чином, системність промірних робіт на вказаній ділянці Канівського водосховища є необхідною умовою безпечного пересування плавзасобів.

У цілому глибини ділянки затопленої вирубki є гарантованими, вони варіюють від 3,65 до 11,9 м. Середня глибина приблизно дорівнює 5 м. За течією річки, якщо рухатися правою кромкою, глибина збільшуєть-

ся до 7—11 м. Поряд із ділянкою навігаційної небезпеки знаходиться ділянка глибин, більших (до 12 м) за середні значення (рис. 2, показано фіолетовим кольором).

У результаті комплексного дистанційного гідроакустичного вивчення рельєфу дна та донних відкладів за площею та розрізненням за характеристиками відбитих сигналів вивчено гідрофізичні та геофізичні параметри (геоакустичні характеристики та літологічні типи донних відкладів, зворотна та об'ємна реверберація водної товщі) обстежених районів акваторій [Смит, 1977]. За допомогою програмного забезпечення, розробленого в ДУ "Гідрофізичний центр НАН України", побудовано відповідні математичні моделі дна [Гончар и др., 2009]. Отримані геофізичні параметри упоряд-

ковано та підготовлено для передачі у гідрографічний фрагмент БОД для подальшого аналізу та збереження.

Відповідно до затвердженого плану роботи обстежено гідротехнічні споруди та підхідні канали (рис. 3). При цьому отримано понад 20 Гбайт інформації (табл. 5) про стан донних відкладів акваторій за результатами обробки профілограм за методикою дистанційного профільного ґрунтового знімання дна. За допомогою гідроакустичного профілювання зареєстровано структуру верхньої осадової товщі потужністю до 1,6 м залежно від її щільності.

В акваторії Канівського водосховища у цілому розрізи осадів відповідають спокійнішим гідродинамічним умовам нагро-

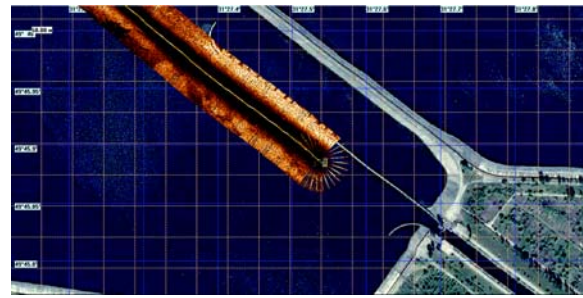


Рис. 3. Гідроакустичне обстеження гідротехнічної споруди Канівської ГЕС.

мадження. У них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку. На р. Дніпро внаслідок динаміч-

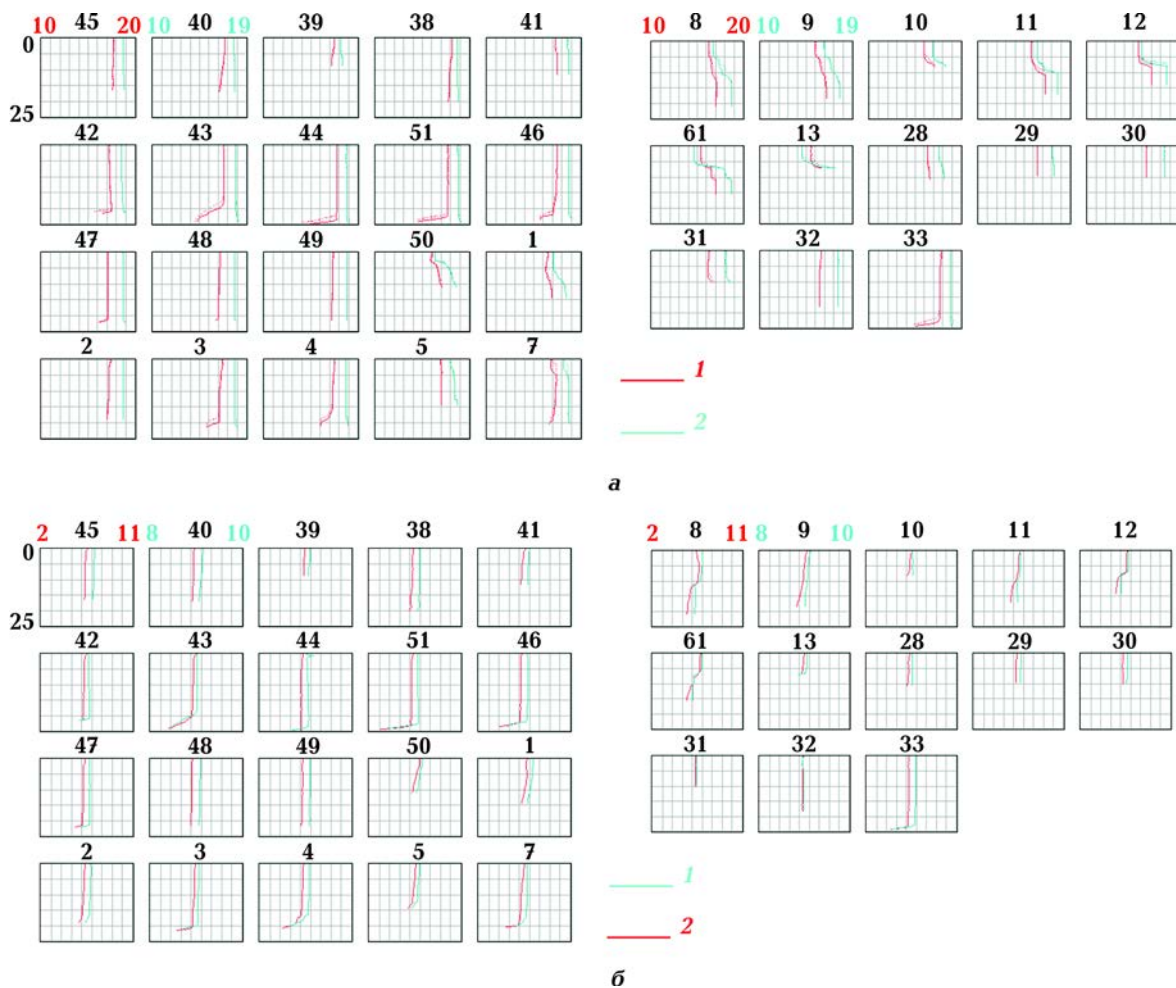


Рис. 4. Вертикальний розподіл: *а* — температури й солоності; *б* — розчиненого кисню і водневого показника. Полігон "Північний", 09—11.10.2018 р.

ного стану гідросистеми, а також активного впливу техногенних чинників розріз осадів характеризується великою мінливістю й розмиванням частини шарів.

Дані щодо середньої густини та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів верхньої течії р. Дніпро свідчать про замулення річища Дніпра на дослідженій ділянці. Замулення, у свою чергу, призводить до накопичення політантів у пелітовій фракції донних осадів [Одрова, 1979; Гидрология ..., 1989].

Акваторія північно-західної частини Чорного моря. У результаті комплексного дослідження північно-західної частини Чорного моря гідрологічною групою отримано горизонтальні поля і вертикальні розподіли температури, солоності води, розчиненого в ній кисню і водневого показника. На рис. 4 бачимо майже повну однорідність вод за вертикалю в глибоких районах шельфу або в районах з відсутністю на поверхні річкових вод. Це період початку осіннього вихолоджування і поки ще слабого розвитку вертикальної конвекції. З останньої причини в зонах поширення трансформованих річкових вод залишається вираженою їх двошарова структура.

Розподіл термохалінних і гідрохімічних характеристик простежується на основі поверхневих розподілів. За даними супутника MODIS за період проведення експедиційних робіт основний струмінь вод Дніпровсько-Бузького стоку поширювався уздовж північного узбережжя із захопленням переважно східної частини полігона аж до західної межі Одеської банки.

Далі цей струмінь вужчим прибережним потоком входив у Одеську затоку і поширювався без суттєвої трансформації характеристик (від 15,7 до 17,0 °С) до середньої межі між Малим і Великим Фонтаном Одеського регіону, створивши виражений циклонний меандр. Води глибшої, мористої, частини шельфу мали вищу й однорідну температуру на поверхні — 17,4—17,7 °С.

Солоність і умовна густина морської води в точності повторювались за характером значень розподілу температури: у струмені та на ділянці відкритого шельфу становили відповідно 14,3—17,0 і 17,6—18,0‰; 10,0—11,8 і 10,0—12,35 ум. од. Підвищені значення вмісту розчиненого кисню і знижені — показника рН відображали глибше поширення у південному напрямку при-

Т а б л и ц я 5. Геоакустичні параметри донних відкладів р. Дніпро та їх стратифікація з відсотковими показниками поєднання в шарі декількох літологічних класів за даними гідроакустичного профілювання

Номер точки	Координати, град		Коефіцієнт відбиття	Густина, кг/м ³	Швидкість звуку, м/с	Пісок, %	Мул, %
	північна широта	східна довгота					
1	50,53116667	30,55128333	0,3	1712	1638	68	32
2	50,52583333	30,68421667	0,33	1770	1669	60	40
3	50,52416667	30,68745	0,31	1736	1645	65	35
4	50,52828333	30,7308	0,32	1740	1670	91	9
5	50,52828333	30,7308	0,34	1870	1622	98	2
6	50,4255	30,65233333	0,35	1878	1650	99	1
7	50,42083333	30,65721667	0,34	1840	1645	93	7
8	50,42371667	30,71445	0,26	1620	1590	55	45
9	50,54	30,58455	0,28	1650	1600	57	43

бережного струменя трансформованих річкових вод — аж до порту Чорноморськ і навіть дещо південніше.

Розподіл температури, солоності та вмісту розчиненого кисню у придонному (0,5—1,0 м від дна) шарі в теплий і перехідні періоди різняться від поверхневого з огляду на слабку взаємодію з атмосферою та інші умови внутрішнього гідродинамічного режиму.

Придонні води відносно глибоких районів шельфу (20—25 м) до кінця першої декади жовтня прогрілися до 14,2—16,2 °С, а в мілководних прибережних районах — лише на 1—2 °С вище. Солоність вод у глибоких районах полігона досягала 18,25 ‰. Гіпоксія, або киснева недостатність (вміст $O_2 < 2,7—3,0 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$), у придонних шарах відсутня, лише на станції 31 вміст кисню ще залишався на дуже низькому рівні (3,1 $\text{мл} \cdot \text{л}^{-1}$). Для порівняння, за спостереженнями місяцем раніше, у вересні зафіксовано велику зону гіпоксії в Одеській улоговині та у прибережному північному жолобі.

Вертикальний розподіл характеристик температури, солоності води, водневого показника та розчиненого кисню простежено на вертикальних розрізах, побудованих переважно близько до нормалі до берегової лінії (рис. 5). Більшу частину цих розрізів виконують на судах ФДУ "Одеський район Держгідрографії" вже протягом двох років.

Розподіл майже всіх перелічених параметрів виявляє повну вертикальну однорідність характеристик до глибин 20—23 м. Винятком є розподіл солоності: розпріснення хоч і сягає цих глибин, але вертикальний градієнт ще дорівнює $0,01 \text{ ‰} \cdot \text{м}^{-1}$. Це найпівденніший галс знімання з максимальною трансформацією вод Дніпровсько-Бузького стоку в межах полігона (рис. 5).

У західній частині розрізу простежується струмінь трансформованих річкових вод, що огинають акваторію Одеської затоки. Ділянки незначного розпріснення спостерігаються в районі Одеської банки.

Для просторового уявлення векторів течій побудовано їх розподіли на 4 основ-

них горизонтах: 2, 5, 10 і 20 м. Розподіл векторів течій на поверхневому горизонті показує виражений потік вод Дніпровсько-Бузького стоку, що входить зі сходу в межі Одеської затоки і поширюється далі на південь аж до м. Чорноморськ зі швидкостями $18—29 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис. 6).

Для отримання ще однієї незалежної оцінки циркуляції було розраховано геострофічні течії на поверхні полігона від нульової поверхні 20 м. Загалом всі оцінки якісно збігаються, більше того, геострофічні розрахунки показують наявність циклонічного вихору в мористій частині полігона.

У результаті комплексного дистанційного гідроакустичного вивчення рельєфу дна та донних відкладів у межах акваторії північно-західної частини Чорного моря досліджено відклади чорноморського горизонту четвертинної системи морського, лиманного і лиманно-морського генезису, а також утворення техногенного характеру. Відклади представлені переважно мулами і черепашниками, меншою мірою — пісками і дуже мало — гравієм та галечниками. Мули поширені в центральних частинах жолобів, піски — на шельфі у вигляді порівняно вузької смуги уздовж берегової лінії. Поля черепашників, як правило, займають проміжне положення між полями мулів і пісків. Піски переважно дрібнозернисті, меншою мірою середньозернисті, рідко грубозернисті. Зазвичай піски нешаруваті, але можуть містити окремі прошарки мулу або черепашнику. Мули глинисті, дрібно- і крупноалевритові.

У межах акваторії шельфу виділено форми акумулятивно-денудаційного рельєфу, сформованого ерозією, — продовження дна балок на шельфі. Розміри цих форм коливаються від 800 м до 1,5 км завдовжки і до 500 м завширшки. В рельєфі морського дна ці форми виражені слабо, вони перекриті сучасними морськими відкладами незначної потужності (рис. 7). Це алеврити, піски, щебінь, а також брили вапняку. Згадані форми ерозійного рельєфу наклалися на морську абразійну терасу за низького базису ерозії, а потім через трансгресію виявилися під рівнем моря.

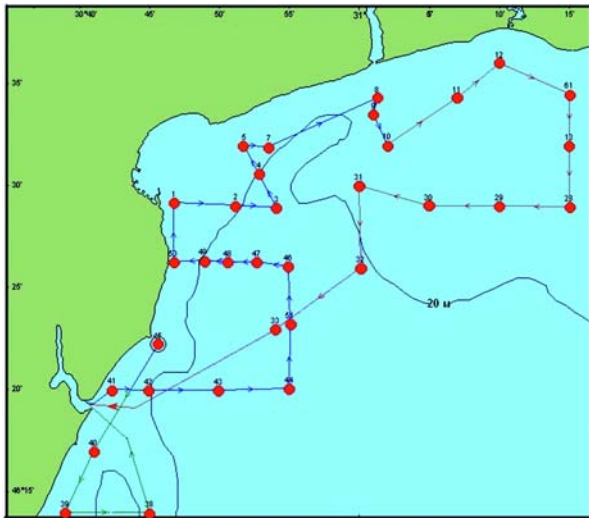


Рис. 5. Схема переходів і розташування станцій морського полігона, 09—11.10.2018 р.

На прибережних ділянках суші та акваторії шельфу хвильова діяльність моря є основним рельєфоутворювальним чинником, що характеризується руйнуванням, перенесенням і накопиченням пухкого матеріалу.

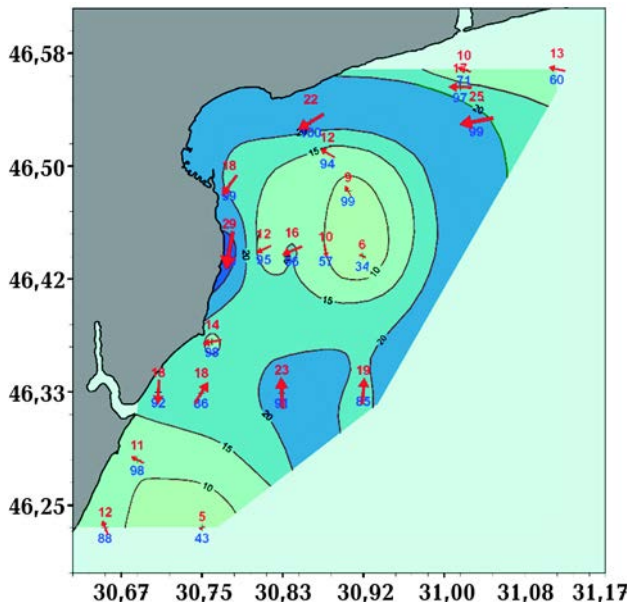


Рис. 6. Розподіл векторів течій у поверхневому шарі морського полігона. 09—11.10.2018 р. У чисельнику — швидкості течій ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$), у знаменнику — стійкості потоку (%).

Позитивною формою акумулятивно-денудаційного генезису на шельфі є морська абразійна тераса (бенч). Ця форма рельєфу вироблена хвилеприбоєм у корінних породах, у межах району досліджень простежується повсюдно. Поверхня тераси рівна, одноманітна, з рідкісними неглибокими балками субширотного простягання, що утворені хвильовою діяльністю. Тераса перекрита переважно невеликим шаром сучасних морських відкладів потужністю до 1,5 м.

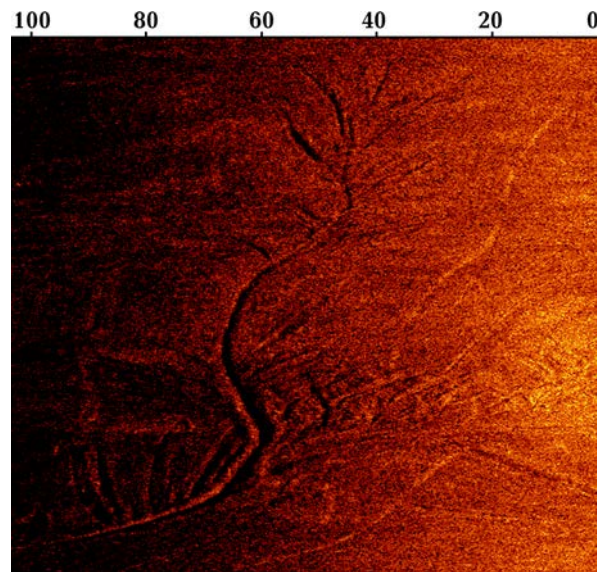


Рис. 7. Гідроакустичне зображення рукава палео-Дніпра в акваторії північно-західної частини Чорного моря.

На поверхні абразійної тераси у вигляді виступів виділяються позитивні елементи рельєфу — зсувні блоки, складені понтичними вапняками. Вони утворилися в результаті абразійної хвильової діяльності й виявилися затопленими морем за час голоценової трансгресії моря. Такі зсувні блоки приурочені до прибережної зони.

Природні умови Північно-Західного Причорномор'я сприяють широкому і різноманітному розвитку екзогенних геологічних процесів. Трансгресія Чорного моря зумовлює інтенсивні прояви процесів абразії, останні, у свою чергу, спільно з ін-

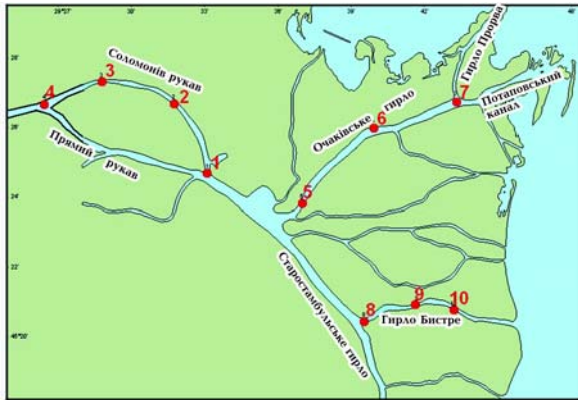


Рис. 8. Схема розташування гідрологічних станцій експедиції "Дунай-2018".

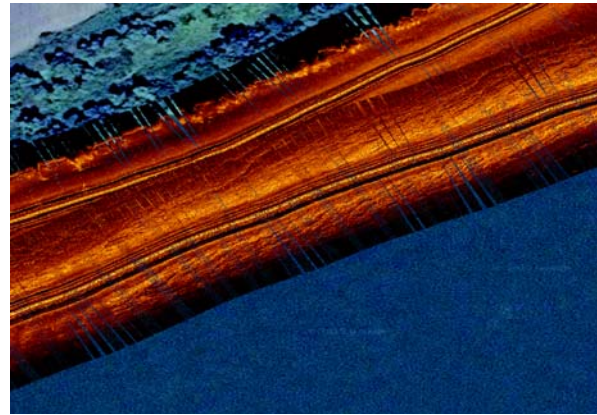


Рис. 9. Розподіл векторів течій на горизонтах 0,5; 3 і 6 м, 06—08.11.2018 р.

шими чинниками (геологічна будова, гідрогеологічні, геоморфологічні і неотектонічні умови) спровокували розвиток зсувних процесів.

У прибережній зоні шельфу найпоширенішими є донна абразія, переміщення та акумуляція наносів. Виникненню і роз-

витку цих процесів сприяють різне орієнтування берегової лінії щодо панівних хвилювань, наявність потенційних джерел постачання прибережної смуги уламковим матеріалом у вигляді продуктів берегової і донної абразії.

Абразійно-зсувні процеси характери-

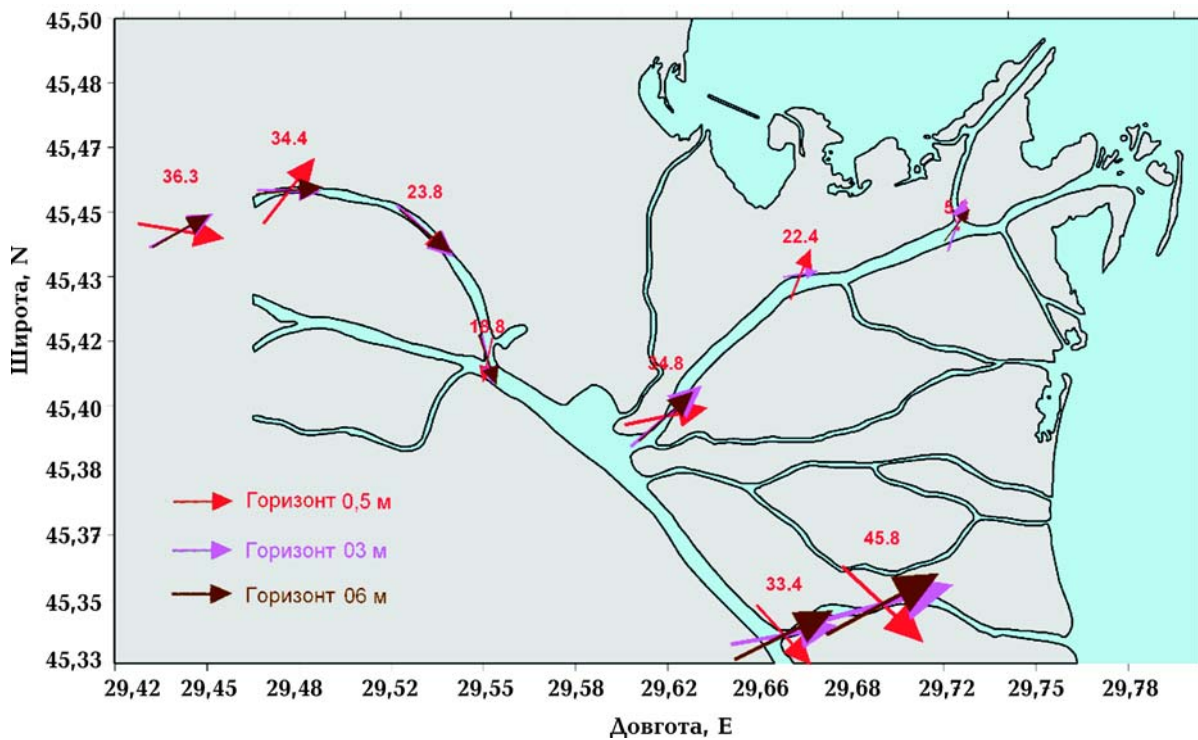


Рис. 10. Гідроакустичне обстеження дна і донних відкладів Прямого рукава р. Дунай (полоса знімання — 50 м на кожен борт у два проходи).

зуються успадкуванням у часі та просторі, що зумовлено подібністю геологічної будови прибережної частини шельфу і прилеглої суші й постійним у часі основним активним чинником формування берегової зони — хвилюванням моря.

У прибережній частині шельфу техногенні утворення представлені відвалами ґрунту, який вибирають під час поглиблення підводних каналів. Це суміш пісків, черепашників, мулів, неогенових глин, уламків вапняку.

Мули широко поширені в районі досліджень — глинисті й суглинні, іноді на великих площах трапляються супіщані різновиди. За даними дистанційного дослідження середня щільність черепашників становить $1,0\text{--}1,4\text{ г/см}^3$. Глини, в основному, переущільнені (щільність $1,45\text{--}1,61\text{ г/см}^3$).

Піски за площею тяжіють до приурізових ділянок дна моря. Потужність пісків у приурізовій смузі сягає 1 м. Вони зазнають постійного впливу течій та інших явищ, стан порід досить динамічний, характерна непостійність складу і властивостей.

Акваторії гирла Бистре, Очаківського гирла та Соломонова рукава дельти р. Дунай. Гідрологічні роботи в рамках експедиції "Дунай-2018" виконували на 10 станціях (рис. 8). Вимірювали температуру, визначали солоність води в усьому шарі, прозорість води, а також параметри течій на горизонтах 0,5; 3; 6; 9 м і у придонному шарі.

Температура води в районі розвилки русла на Соломонів і Прямий рукави становила $14,42\text{ }^\circ\text{C}$ та знижувалася до гирла Бистре до $13,90\text{ }^\circ\text{C}$. Можливо, це характеризує не просторові, а тимчасові зміни температури води за 3-добовий період осіннього вихолодження.

Солоність поверхневого шару води протягом практично всього маршруту знімання була незмінною і становила $0,24\text{ }‰$. У районі 7-го кілометра судноплавного ходу (через гирло Бистре) солоність придонних вод підвищувалася з глибини 9 м до $15,9\text{ }‰$ у дна (станція 9). На станції 10 верхня межа галоклину залягала вище, на горизонті 5,5 м, а солоність у дна становила вже $17,2\text{ }‰$.

Прозорість поверхневого шару води за

маршрутом знімання коливалася у межах $1,0\text{--}1,5\text{ м}$.

Графічне зображення основних параметрів течій приповерхневого шару ($0,5\text{--}6\text{ м}$) й глибинно-придонного шару показано на рис. 9. Найзначніші поверхневі течії (горизонт $0,5\text{ м}$) є найнестійкішими за напрямком і не відповідають спрямованості місцевого русла, оскільки зазнають впливу локальних вітрових перенесень.

Роботи виконували в період мінімального річкового стоку (межені), тому швидкості течій коливалися на різних ділянках русла в мінімальних межах — від 19 до $46\text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. Уже на горизонті 3 м і глибше спрямованість течій відповідала напрямку основного русла з тими самими швидкостями перенесення вод. Швидкості глибинних течій у районі рукава Бистрий були в середньому на $8\text{--}12\text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ інтенсивніші, ніж у приповерхневому шарі. Максимальні швидкості течій були виявлені на горизонті 3 м у середній частині гирла Бистре — $60,1\text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$.

Придонний клин протитечії з морською водою простягався в гирлі Бистре принаймні до 7-го км (станція 9, солоність $17,26\text{ }‰$). Придонна течія на горизонті 13 м мала зворотний поверхневій течії напрямок (242°), швидкість течії дорівнювала $2,9\text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. За подібних спостережень у липні 2017 р. (на завершальній стадії паводку) клин морської води виявляли до позначки $3,5\text{ км}$ [Технічний ..., 2017].

Комплексне дистанційне гідроакустичне вивчення рельєфу дна та донних відкладів показало (рис. 10), що переважною фракцією у складі донних відкладів акваторій р. Дунай був пісок (у середньому $56,3\%$). Середня концентрація мулів становила приблизно $32,9\%$. Найменшою фракцією у гранулометричному складі донних відкладів є глина (у середньому $10,9\%$).

З огляду на основні закономірності осадоагромадження, що викликані гідродинамічними факторами і, скоріше за все, течіями рельєфу дна, а також з урахуванням особливостей рельєфу дна можна виділити зони кінцевого транспортування осадових порід дрібних класів (двох типів):

а) зони стагнації з пасивними гідродинамічними умовами або утворенням вихрових структур; б) дисипаційні зони, де зменшується енергетика потоку внаслідок натрапляння його на перешкоду, через що втрачається частка суспендованого матеріалу. Саме ці зони є найсприятливішими для накопичення осадового матеріалу дрібних і тонких класів.

На підвищеннях дна зменшується потужність сучасних відкладів, часто до повного їх зникнення. У структурно-геоморфологічних пастках, можливо, під впливом течії, нагромаджуються значні потужності піщано-алеврито-мулових відкладів, а на підвищених ділянках дна за комбінації хвильових і нехвильових течій — саме піщані відклади.

Відповідно до плану Програми виконано знімання рельєфу дна на р. Дунай в акваторії гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава на навігаційному фарватері та на окремих небезпечних для навігації об'єктах. Загальний обсяг знімання рельєфу дна способом проміру становив 58,8 лінійного кілометра.

Для детального знімання рельєфу дна способом проміру було використано малий гідрографічний катер "Гідрограф-3". Під час проміру галси основного покриття прокладали приблизно на продольних гідроакустичних і гідрографічних профілях уздовж суднового ходу. За допомогою програмного забезпечення НУРАСК побудовано схему ізобат зі значеннями 2, 5, 7 та 10 м. Під час аналізу результатів знімання було виявлено три ділянки з глибинами, меншими за 5,0 м.

У цілому глибини на р. Дунай в акваторії гирла Бистре і Соломонова рукава на навігаційному фарватері є гарантованими і варіюють від 5,0 до 15,0 м. Середня глибина приблизно дорівнює 7,5 м. Динаміка зміни рельєфу дна є незначною, а стійкість підводної поверхні — помірно стала.

Висновки. У результаті гідроакустичних, гідрографічних і гідрологічних досліджень отримано таке.

Удосконалено методологію проведення спільних експедиційних гідрографічних і океанографічних досліджень з використанням спеціалізованих суден ДУ "Держгідрографія", а також технічних засобів вивчення морського (річкового) середовища ДУ "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України".

За матеріалами багатопроменевого знімання в межах акваторій виявлено потенційно небезпечні щодо навігації об'єкти. Їх розміщення нанесено на навігаційні карти та надано повідомлення судноводіям шляхом передачі попереджень через систему НАВТЕКС. Гідрографічні дослідження підтверджують, що акваторії потребують подальшого вивчення для оновлення та коректури карт і лоцій. Знімання ділянок є необхідним для розуміння динаміки зміни рельєфу дна та коректного розміщення засобів навігаційного обладнання.

Сумісний аналіз результатів гідроакустичного і гідрографічного знімання об'єктів дослідження показав, що суднохідний шлях на акваторіях є безпечним для судноплавства, а глибини — гарантованими. Зміни рельєфу дна незначні, стійкість підводної поверхні — помірно стала.

Результати експедиційних досліджень будуть використані в процесі коректури річкових карт з урахуванням фактичного гідрографічного, гідроакустичного та гідрологічного стану аномальних досліджуваних ділянок акваторій, що забезпечить створення безпечних умов судноплавства на внутрішніх водних шляхах України.

Завдяки отриманню гідроакустичної, гідрографічної та гідрологічної інформації, що доповнила гідрографічний фрагмент БОД, у подальшому можна проводити комплексне порівняльне оцінювання геоморфологічних і літологічних особливостей акваторій.

Організація і здійснення комплексних морських (річкових) експедиційних досліджень роблять істотний внесок у підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення безпеки судноплавства морегосподарського комплексу країни.

Список літератури

- Волошина Н. О., Писанко І. М., Худоконь В. В. Організація обробки даних гідроакустичного комплексу: Зб. доп. "Проблеми, методи та засоби дослідження Світового океану". Запоріжжя, 2003. С. 218—237.
- Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Отв. ред. М. А. Шевченко. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
- Гончар А. І., Голод О. С., Федосеєнков С. Г., Шличек Л. І., Шундель А. І. Імовірнісна оцінка поширеного визначення літологічних властивостей донних відкладень в профілограмі: Тр. XI Всерос. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". Санкт-Петербург, 2012. С. 265—268.
- Гончар А. І., Федосеєнков С. Г., Шундель А. І. Аспекти технології автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2011. № 8. С. 63—68.
- Гончар А. І., Худоконь В. В., Шличек Л. І. Обработка данных в многоканальной системе сбора и обработки информации комплекса средств экологического мониторинга акваторий. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2009. № 6. С. 123—128.
- Науковий коментар до Національної програми дослідження та використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану на період до 2000 року. Ред. О. А. Щипцов. Київ: Наук. думка, 1994. 316 с.
- Одрова Т. В. Гидрофизика водоемов суши. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 312 с.
- Постанова Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 року № 1307 "Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року". Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF>.
- Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций 5 декабря 2017 г. (72/73 Мировой океан и морское право, часть XI "Морская наука", пункт 292): семьдесят вторая сессия. Режим доступа: <https://undocs.org/ru/A/RES/72/73>.
- Смит Д. Т. Акустические и механические свойства донных отложений. В кн.: *Акустика морских осадков*. Москва: Мир, 1977. С. 47—65.
- Технічний звіт про виконання океанографічних досліджень за 2017 рік. Київ: ФДУ ОРАД, 2017. 271 с.
- Щипцов О. А., Щипцов О. О. Наука про океан у наступному десятилітті. *Океанографічний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2019. № 1 (12). С. 6—28.

Complex marine (river) expeditionary studies — an important direction of development of scientific and technical potential of the sea-economy complex of the country

*M. F. Golodov, A. Yu. Gordeyev, Yu. I. Popov, S. G. Fedoseenkov,
O. A. Shchiptsov, O. O. Shchiptsov, 2019*

In accordance with the provisions of the Agreement on Scientific and Technical Cooperation between the State Institution "State Hydrography" of the Ministry of Infrastructure of Ukraine and the State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine", three joint expeditions were conducted in 2018: the "Dnepr-2018" expedition in the waters of the Kanevsky reservoir of the Dnieper River, expedition "Black Sea-2018" (water area of the northwestern part of the Black Sea), expedition "Danube-2018", where the waters of the Bystroe mouth, the Ochakov mouth and the Solomon arm were studied and the Danube Delta. The purpose of the research is oceanographic and hydrographic study of sea and river areas to improve the efficiency of navigation and hydrographic safety of navigation and the creation of a joint bank of oceanographic data of the National Academy of Sciences of Ukraine, the Ministry of Infrastructure of Ukraine and the Maritime Administration. With the help of modern high-performance instruments, the hydrological group of studies obtained the results of measurements of the velocity of water currents, horizontal fields and vertical distributions of temperature, salinity of water, oxygen dissolved in it, and values of the hydrogen index of the indicated water areas of water areas. As a result of complex remote hydroacoustic studies of the topography of the bottom and bottom sediments by area and resolution, the hydrophysical and geophysical parameters (geoacoustic characteristics and lithological types of bottom sediments, reverse and bulk reverberation of the water column) of the surveyed areas of water were studied. Hydrographic group made a survey of the bottom relief, including on the navigation channel, as well as on some objects dangerous for navigation. During the expedition, empirical data were obtained to obtain practical experience and further theoretical generalizations in the field of hydrography and oceanography. The obtained data is transferred to the oceanographic data bank.

Key words: oceanography, research expedition, hydrology, hydroacoustics, hydrography, oceanographic data bank, current velocities, water salinity, bottom topography, bottom sediments.

References

- Voloshina, N.A., Pisanko, I.M., & Khudokon, V.V. (2003). Organization of processing sonar complex data. In *Problems, methods and means of research of the oceans* (pp. 218—237). Zaporizhzhia (In Ukrainian).
- Shevchenko, M. A. (Ed.). (1989). *Hydrology and hydrochemistry of the Dnieper and its reservoirs*. Kiev: Naukova Dumka, 216 p. (in Russian).
- Gonchar, A. I., Golod, A. S., Fedoseenkov, S. G., Shlichek, L. I., & Shundel, A. I. (2012). A probabilistic assessment of the layer-by-layer determination of lithological properties of bottom sediments in profilograms: *Proc. of the XI All-Russian Conf. "Applied technologies of hydroacoustics and hydrophysics"* (pp. 265—268). St. Petersburg (in Ukrainian).
- Gonchar, A. I., Fedoseenkov, S. G., & Shundel, A. I. (2011). Aspects of the technology of automated remote profile soil survey of the seabed. *Hidroakustychnyy zhurnal*, (8), 63—68 (in Ukrainian).

- Gonchar, A.I., Khudokon, V.V., & Shlychek, L.I. (2009). Data processing in a multi-channel system for collecting and processing information from a set of environmental monitoring tools for water areas. *Hidroakustychnyy zhurnal*, (6), 123—128 (in Russian). [//zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF) (in Ukrainian).
- Shchiptsov, O.A. (Ed.). (1994). *Scientific commentary on the National Program for the Study and Use of the Resources of the Azov-Black Sea Basin and Other Regions of the World Ocean for the Period Until 2000*. Kiev: Naukova Dumka, 316 p. (in Ukrainian).
- Odrova, T.V. (1979). *Hydrophysics of land water bodies*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 312 p. (in Russian).
- Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 7, 2009 No. 1307 "On approval of the Marine Doctrine of Ukraine for the period until 2035". (2009). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF> (in Ukrainian).
- Resolution adopted by the United Nations General Assembly on 5 December 2017 (72/73 Oceans and the Law of the Sea, part XI "Maritime Science", para. 292): seventy-second session. (2017). Retrieved from: <https://undocs.org/ru/A/RES/72/73> (in Russian).
- Smith, D.T. (1977). Acoustic and mechanical properties of bottom sediments. In *Acoustics of marine sediments* (pp. 47—65). Moscow: Mir (in Russian).
- Oceanographic Survey Technical Report. (2017). Kiev: FGU ORDG, 271 p. (in Ukrainian).
- Shchiptsov, O.A., & Shchiptsov, O.O. (2019). Ocean science in the next decade. *Okeanohrafichnyy zhurnal*, (1), 6—28 (in Ukrainian).