

УДК 551.46.07

Комплексні гідроакустичні дослідження дна та донних відкладів в окремих акваторіях Азово-Чорноморського басейну

С.Г. Федосеєнков, О.І. Шундель, Л.В. Нестеренко

Федосеєнков Сергій Геннадійович – к.геол.н., завідувач відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Шундель Олексій Іванович – к.фіз.-мат.н., науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: lixyta666@gmail.com

Нестеренко Любов Володимирівна – молодший науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Анотація. Мета роботи – комплексна оцінка стану дна та сучасних седиментаційних процесів окремих акваторій Азово-Чорноморського басейну, що передбачає детальні дослідження дна, донних відкладів та виявлення об'єктів навігаційних перешкод за допомогою комплексу гідроакустичних засобів власної розробки (гідролокаційна зйомка рельєфу дна, стратифікація донних відкладів) з побудовою планшета обстеження (нанесення на планшет руху носія з координатною прив'язкою, нанесення гідролокаційного зображення дна з виявленими затонулими об'єктами та особливостями донного рельєфу). Методика дослідження та апаратура – гідроакустичне зондування водної товщі та дна акваторій за допомогою мобільного гідроакустичного комплексу, математична обробка отриманих результатів та їх візуалізація з використанням геоінформаційних технологій. Дослідження виконували для отримання нових детальних гідрографічних та океанографічних даних про стан морського середовища, рельєфу дна, пошуку й обстеження навігаційних небезпек, а також затонулих об'єктів. Результати експедиційних досліджень будуть використані для коректури річкових карт з урахуванням фактичного гідрографічного, гідроакустичного та гідрологічного стану аномальних досліджуваних ділянок акваторій з метою створення безпечних умов судноплавства на внутрішніх водних шляхах України.

Ключові слова: гідроакустика, гідролокатор бокового огляду, промір глибин, Банк океанографічних даних НАН України, експедиція, донні відклади.

Вступ. Україна володіє значними водними просторами, які мають величезне значення у народному господарстві окремих регіонів і держави в цілому. Для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій необхідний постійний моніторинг водного середовища Азово-Чорноморського басейну та внутрішніх водних шляхів України з метою виявлення навігаційних перешкод, аварійного стану гідроспоруд та інших загрозливих явищ. Тобто існує необхідність комплексного системного та неперервного вивчення стану дна, донних відкладів як окремих ділянок, так і повністю акваторій річок Дніпро та Дунай, Азовського й Чорного морів у межах України.

Донні відклади акваторій Азово-Чорноморського басейну, а також процеси вторинного забруднення води в результаті реседиментації потребують постійного оновлення даних щодо сучасного стану. Існують всього лише фрагментарні та нерегулярні дані про донні відклади річок Дніпро і Дунай, Дніпровських водосховищ, причорноморських лиманів і прибережної частини шельфової зони Чорного та Азовського морів.

Дистанційний моніторинг дна акваторій з використанням гідроакустичних засобів забезпечує визначення рельєфу дна і типів ґрунтів верхніх шарів дна, виявлення об'єктів, які лежать на дні, в тому числі тих, які несуть загрозу безпеці судноплавства й екологічній безпеці (затонулі або затоплені судна й інші об'єкти, звалища вибухових речовин як потенційно небезпечних забруднювачів середовища), контроль стану ґрунтів поблизу гідроспоруд, прокладання та обстеження підводних трубопроводів з метою запобігання аварійних викидів.

Мета – комплексна оцінка стану дна та сучасних седиментаційних процесів окремих акваторій Азово-Чорноморського басейну, що передбачає детальні дослідження дна, донних відкладів і виявлення об'єктів навігаційних перешкод за допомогою мобільного комплексу гідроакустичних засобів власної розробки (гідролокаційна зйомка рельєфу дна, стратифікація донних відкладів) з побудовою планшета обстеження (нанесення на планшет руху носія з координатною прив'язкою, нанесення гідролокаційного зображення дна з виявленими затонулими об'єктами та особливостями донного рельєфу).

Методика – гідроакустичне зондування водної товщі та дна акваторій за допомогою мобільного гідроакустичного комплексу, математична обробка отриманих результатів, їх аналіз і візуалізація з використанням геоінформаційних технологій.

Результати експериментальних досліджень Азово-Чорноморського басейну

Державною установою "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" (далі – Центр) протягом 2018–2019 рр. організовано та забезпечено виконання 7-ох комплексних наукових експедицій з метою вивчення стану морського та річкового середовища гідрофізичними (гідроакустичними) методами досліджень, а також збору та накопичення відповідних океанографічних даних. У 6-ти експедиціях було використано мобільний гідроакустичний комплекс власної розробки: у 2018 р. – в акваторіях Канівського водосховища річки Дніпро, північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ), р. Дунай (гирла Бистре та Очаківське, Соломонов рукав); у 2019 році – в акваторіях р. Дунай, а саме рукавах Прямий, Іванешть, Катенька, Машенька та Соломонов; окремих акваторіях ПЗЧМ на підходах до портів Чорноморськ, Білгород-Дністровський та Одеса; акваторіях Бузько-Дніпровсько-Лиманського каналу (БДЛК) та Одеської затоки.

До складу мобільного гідроакустичного комплексу власної розробки входять: гідролокатор бокового огляду (ГБО), ехолот, профілограф, приймач GPS, пристрій сполучення, персональний комп'ютер (ПК) та ін. ГБО є змінним: можна використовувати або ГБО-50, або ГБО-100М залежно від глибин і задач обстеження, що дозволяє працювати на глибинах до 100 метрів

Серед основних завдань гідроакустичних досліджень важливе місце посідає аналіз характеру та динаміки основних факторів седиментації дистанційними методами. Актуальність дослідження цих процесів визначається недостатньою вивченістю особливостей літологічних типів донних відкладів і закономірності їх розповсюдження [1–6].

Для виконання аналізу змін екосистем акваторій необхідний комплексний системний підхід і неперервні за періодом виконання дослідження водного середовища з метою отримання оперативних даних. Саме тому дослідження на окремих ділянках акваторій

північної частини північно-західного шельфу Чорного моря (ПЗШЧМ) та р. Дунай проводили два роки поспіль, що дало можливість системності спостережень за динамікою змін, які відбуваються.

За результатами експедиційних досліджень було:

- отримано нові детальні гідроакустичні та геоморфологічні дані про рельєф дна;
- виявлено навігаційні небезпеки, затонулі об'єкти антропогенного походження, в тому числі, замулені та малорозмірні;
- побудовано картографічні схеми районів з нанесенням схем руху судна при обстеженні та отриманої мозаїки відбитого сигналу на галсах і локалізації знайдених об'єктів,
- отримано гідроакустичні зображення дна, які для зручності користування забезпечені супровідною інформацією, в т.ч. географічними координатами;
- оброблено ехограми за допомогою спеціального програмного забезпечення для досягнення максимально можливої розрізняювальної здатності по дальності та напрямку і зниження рівня гідроакустичних перешкод, в т.ч. поверхневої реверберації. Найбільш характерні цілі були виділені на ехограмах.

Одержана гідроакустична інформація доповнила судновий фрагмент Банку океанографічних даних (БОД) НАН України. Знайдені об'єкти потребують додаткового деталізованого вивчення та нанесення (за необхідності) на карти для можливості їх моніторингу і повторного дослідження.

До того ж, Центр, який є судновласником морських науково-дослідницьких суден (НДС) "Гідробіолог" та "Анатолій Гончар", для виконання океанологічних досліджень сучасними технічними засобами дослідження морського та річкового середовища здійснив модернізацію НДС шляхом створення наукових приміщень (лабораторій) і робочих майданчиків, оснащених штатним і переносним обладнанням, які забезпечують проведення гідроакустичних, гідрологічних, геологічних, гідробіологічних, гідрохімічних та інших досліджень.

Відповідно до нового проєкту Центру зі створення комплексу суднових науково-дослідних лабораторій у складі 9-ти лабораторій, першою було розроблено та створено судову науково-дослідну гідроакустичну лабораторію, яка в сукупності з апаратно-програмними комплексами дозволить проводити дослідження методом гідролокації дна акваторій і різноманітних підводних об'єктів, в тому числі, потенційно небезпечних, на шельфі та у внутрішніх водоймах з метою підвищення ефективності підводних досліджень, а також попередження надзвичайних ситуацій і моніторингу екологічної обстановки.

Комплексні гідроакустичні дослідження р. Дніпро

Річка Дніпро – головна водна артерія України, одна з найбільших і найважливіших річок Європи. Протягом віків річка відігравала та продовжує відігравати важливу роль у житті людини: забезпечує мільйони людей питною водою, здійснює водозабезпечення промислових підприємств, зволожує сотні тисяч гектарів землі, дає змогу виробляти електроенергію, а також є транспортною артерією. Тому в життєзабезпеченні країни вона має неабияке значення.

Дослідження останніх років стану екосистеми Дніпра свідчать [1–9], що в ній відбуваються негативні зміни: евтрофування, замулення, заростання водною рослинністю.

Поєднання впливу природних і техногенних чинників на стан Дніпра привернуло увагу до поглибленого вивчення донних відкладів як одного з індикаторів змін природного стану довкілля. Донні відклади є однією з головних та інформативних складових гідросистеми. Вони відображають сукупність фізичних, хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у водотоці та на водозбірній території [9].

Роботи з комплексного гідроакустичного дослідження Канівського водосховища р. Дніпро у 2018 році проведено на 12 гідроакустичних профілях та одному гідрографічному полігоні. Загальна протяжність експедиційного маршруту Київ–Канів–Київ становила 360 кілометрів.

Проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 50 км², що дало змогу виявити та дослідити затоплені об'єкти природного та техногенного походження. Загалом, при дослідженні дна окремих акваторій Канівського водосховища за площею було знайдено більше 1000 характерних об'єктів техногенного та природного походження (довжиною до 18 м). Ці об'єкти потребують додаткового дослідження та нанесення на навігаційні карти для можливості їх постійного моніторингу й системного відстежування їх стану.

Гідроакустичні дані при дослідженні Канівського водосховища доповнили наявні дані цієї акваторії, що дало змогу уточнити інформацію при оновленні річкових навігаційних карт.

Результати моніторингу геоакустичних параметрів донних відкладів вказують на наявність часових змін у складі речовин седиментаційних потоків у межах дослідженої ділянки акваторії р. Дніпро. Виявлено тісний зв'язок між гранулометричним складом, геоакустичними параметрами та питомою щільністю, що дозволяє використовувати один із цих показників, наприклад, коефіцієнт відбиття або щільність як індикатор змін літології донних відкладів у цілому, і цілеспрямовано відстежувати даний параметр у системі моніторингу сучасного річкового седиментогенезу.

Відображення перебігу процесів надходження поллютантів у межі акваторії р. Дніпро й механізму їх розподілу між компонентами водного середовища дає можливість визначати фактори впливу на інтенсивність процесів самоочищення акваторій індустриальних осередків та у зонах активного техногенного навантаження.

Завдяки проведеним натурним дослідженням у межах акваторії отримано первинну інформацію щодо речовинного складу поверхневого шару донних відкладів. Результати досліджень попередньо засвідчили визначальний вплив рельєфу дна на накопичення певних літологічних типів поверхневого шару донних відкладів, при цьому для ділянок дна, де відсутні активні гідродинамічні процеси, спостерігається підвищення вмісту складової алеврито-пелітової розмірності. Одночасно для ділянок дна з пониженнями в рельєфі або на периферії руслової частини, де відсутні активні гідродинамічні процеси, спостерігається підвищення вмісту дрібнодисперсної складової в співвідношенні гранулометричних фракцій.

В акваторії водосховища, в цілому, розрізи відкладів відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення. У них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку. А на річці Дніпро, внаслідок

динамічного стану гідросистеми, а також завдяки активному впливу техногенних чинників, розріз відкладів характеризується великою мінливістю й розмивом частини шарів.

Дані щодо середньої щільності та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів за результатами проведених натурних досліджень в межах акваторії р. Дніпро свідчать про замулення його річища на дослідженій ділянці. Що, у свою чергу, призводить до накопичення у пелітовій фракції донних відкладів поллютантів.

Виходячи з основних закономірностей осадо накопичення [8, 10, 11], які викликані гідродинамічними факторами і, швидше за все, течіями, а також, беручи до уваги особливості рельєфу дна, можна виділити зони кінцевого транспортування осадових порід дрібних класів (двох типів): зони стагнації з пасивними гідродинамічними умовами чи утворенням вихрових структур та дисипаційні зони, де відбувається зменшення енергетики потоку в результаті наштовкування його на перешкоду, внаслідок чого втрачається частка суспендованого матеріалу. Саме такі зони найбільш сприятливі для накопичення осадового матеріалу дрібних і тонких класів.

Освітлені (акустично прозорі) слабостратифіковані товщі (рис. 1) вказували на їх петрофізичну однорідність (гомогенність). Це типово для великих площ, де седиментація слабо залежить від фізико-географічних і гідродинамічних умов та реалізується в стабільній обстановці при інтегрованому впливі водного середовища, що сприяє безперервному накопиченню осадових товщ. Що було також підтверджено літологічним аналізом проб донних відкладів. За даними гідрогеоакустичної зйомки було отримано літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів (табл. 1). Лише локально, в деяких окремих місцях акустичний сигнал зафіксував структуру шарів донних відкладів, які істотно відрізнялися за петрофізичними властивостями між собою.

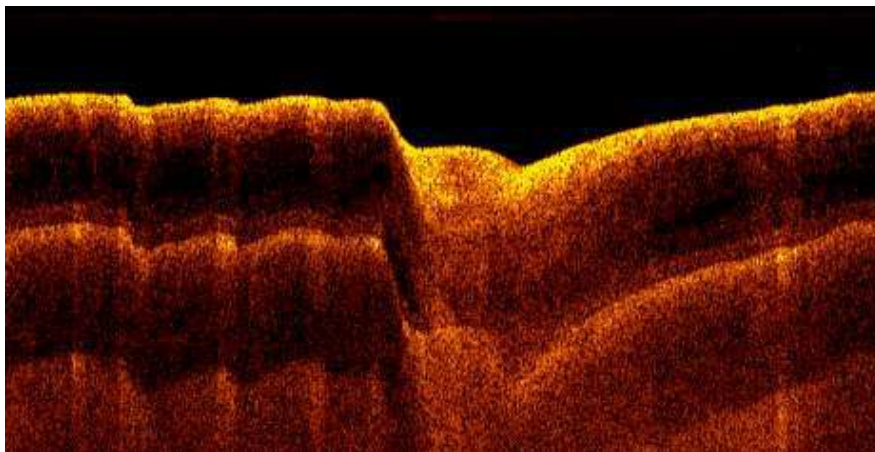


Рис. 1. Фрагмент профілограми – акустично прозорі слабостратифіковані товщі

Слід зазначити, що загалом в отриманих ехо-сигналах дна міститься інформація про тонку шарувату структуру донних відкладів з розрізнявальною здатністю до 0,3 м. Обробка отриманих профілограм за допомогою розроблених алгоритмів та програмного забезпечення дозволила отримати щільності, потужності та літологічні розрізи шарів донних відкладів

обстеженої акваторії (рис. 2, 3). При виділенні типів відкладів використано класифікацію Безрукова П.Л. і Лісіцина А.П., де в якості основних показників гранулометричного складу прийнято зміст переважної фракції та середній діаметр частинок.

Таблиця 1 – Геоакустичні параметри донних відкладів та їх стратифікація з відсотковими показниками поєднання в шарі декількох літологічних класів

Номер точки	Широта	Довгота	Коеф. відбиття	Щільність, кг/м ³	Швидкість звуку, м/с	Пісок, %	Мул, %
1	50.1366 с	30.7647 в	0,3	1712	1638	68	32
2	50.1366 с	30.7647 в	0,33	1770	1669	60	40
3	50.1366 с	30.7647 в	0,31	1736	1645	65	35
4	50.1366 с	30.7647 в	0,32	1740	1670	91	9
5	50.1366 с	30.7647 в	0,34	1870	1622	98	2
6	50.1366 с	30.7647 в	0,35	1878	1650	99	1
7	50.1366 с	30.7647 в	0,34	1840	1645	93	7
8	50.1366 с	30.7647 в	0,26	1620	1590	55	45
9	50.1367 с	30.7647 в	0,28	1650	1600	57	43

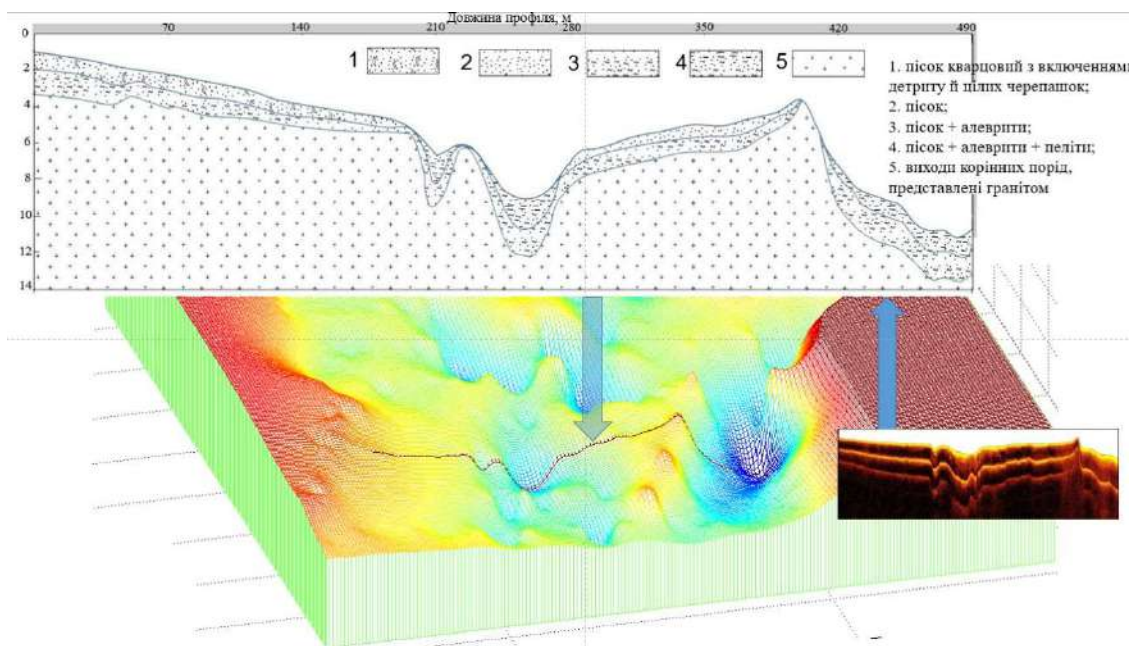
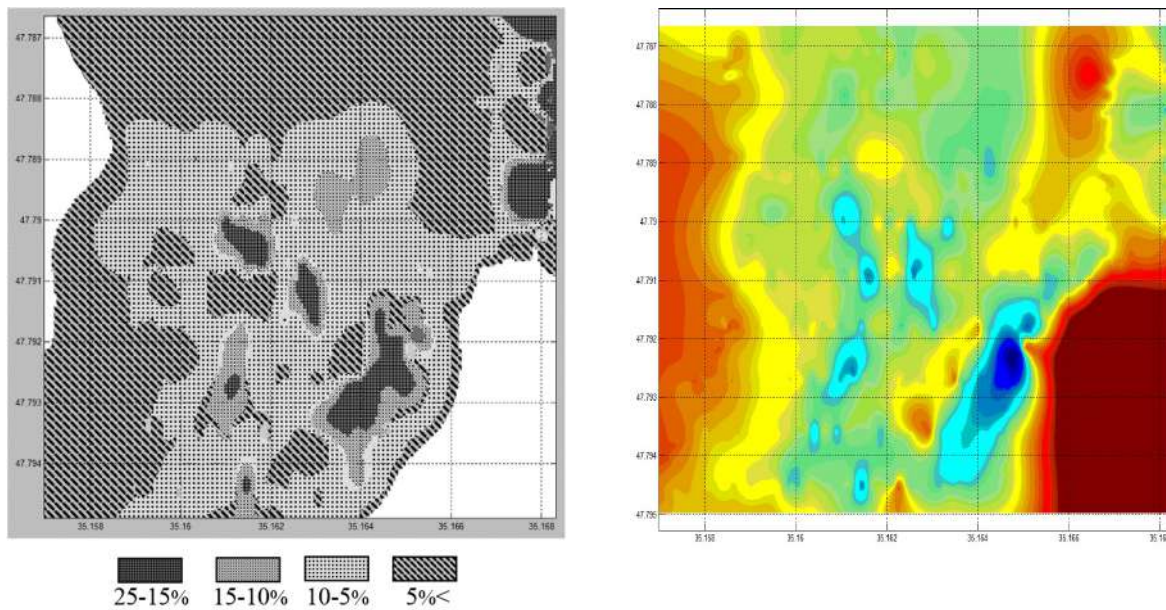


Рис. 2. Обробка інформації профілограм: 3D-модель рельєфу дна р. Дніпро

На рис. 4 показано фрагмент ехограми фарватеру р. Дніпро з межами зон розподілу піску й мулу. Отримані дані є унікальними і потребують додаткового подальшого дослідження для проведення детальної стратифікації річкових донних відкладів.

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



а) схема розподілу донних відкладів за вмістом пелітового матеріалу (%)

б) рельєф дна обраного полігону

Рис. 3. Математична модель розподілу пелітового матеріалу за даними обробки інформації профілограм

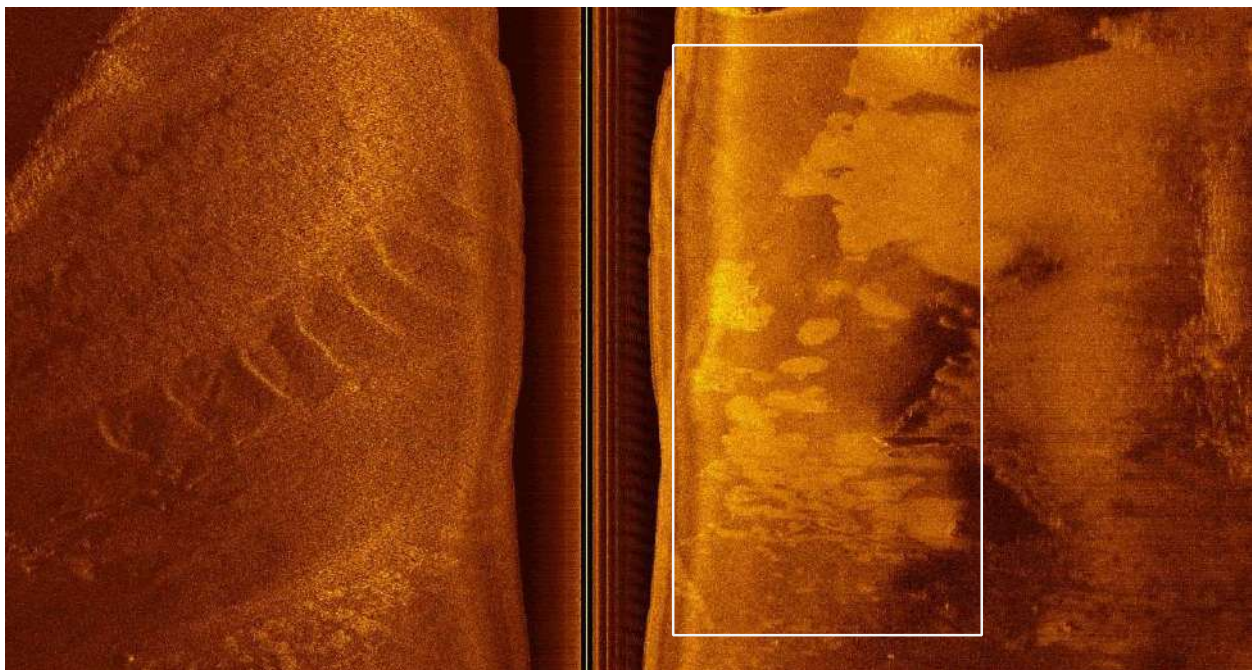


Рис. 4. Ехограма фарватеру р. Дніпро з межами зон розподілу піску й мулу

Комплексні гідроакустичні дослідження Чорного моря

В експедиції 2018 року обстежено окремі частини акваторії ПЗЧМ. Дослідження виконували на переходах та якірних стоянках на 50-ти океанографічних станціях полігону, які включають 27 станцій чотирьох прибережних розрізів. Загальна протяжність маршруту становила 302 кілометри.

В цілому, розрізи відкладів відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення (рис. 5). У них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу. В деяких окремих місцях акустичний сигнал зафіксував структуру шарів донних відкладів, які істотно відрізнялися за петрофізичними властивостями між собою.

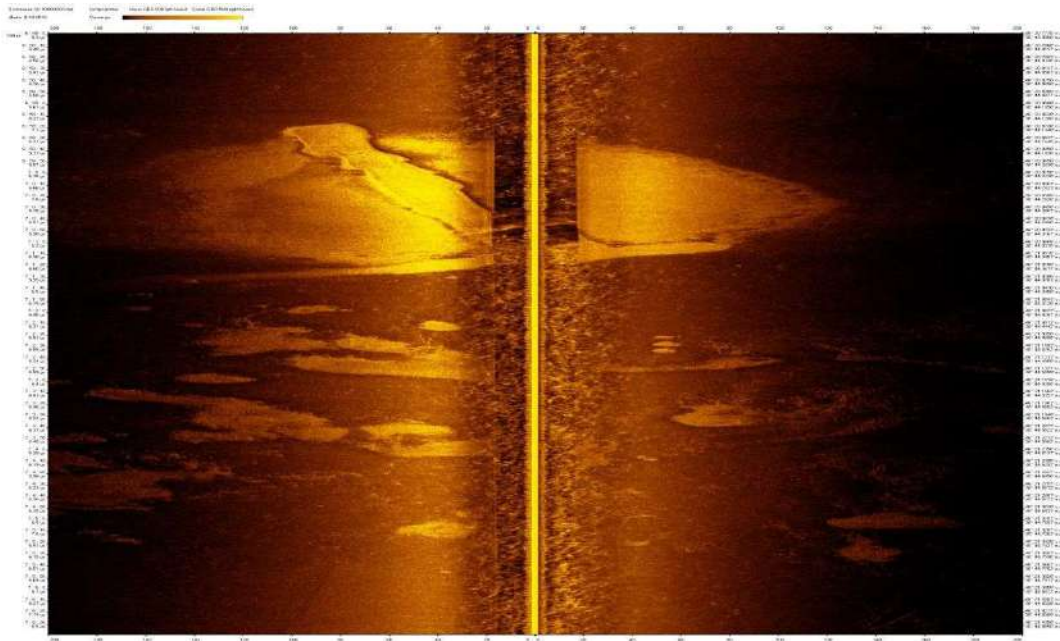


Рис. 5. Приклад ехограми дна північної частини ПЗШЧМ

У підсумку, впродовж експедиції у 2018 р. проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 70 км², що дало змогу виявити та дослідити затонулі об'єкти природного й техногенного походження; визначено географічні координати та розміри знайдених об'єктів і побудовано 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів, зокрема, знайдено більше 100 характерних об'єктів штучного та природного походження.

При виконанні комплексної морської науково-дослідної експедиції ПЗШЧМ у 2019 р. загальна протяжність маршруту склала приблизно 162 км. Роботи виконувалися на продольних гідрографічних і гідроакустичних профілях вздовж суднового ходу.

Виконано площинну гідроакустичну зйомку загальною площею більше 75 км² з виявленням об'єктів природного й штучного походження, визначено їхні координати та розміри. На рис. 6–11 наведено побудовані 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів від знайдених об'єктів.

У результаті комплексного дистанційного гідроакустичного дослідження рельєфу дна та донних відкладів, за характеристиками відбитих сигналів проведено вивчення гідрофізичних та геофізичних параметрів (геоакустичні характеристики та літологічні типи донних відкладів, зворотна та об'ємна реверберація водної товщі) обстежених районів акваторій, в тому числі, підхідних каналів і гідротехнічних споруд (рис. 12). До того ж, під час експедиції було зафіксовано унікальне гідроакустичне зображення палеоріки (рис. 13) у ПЗЧМ.

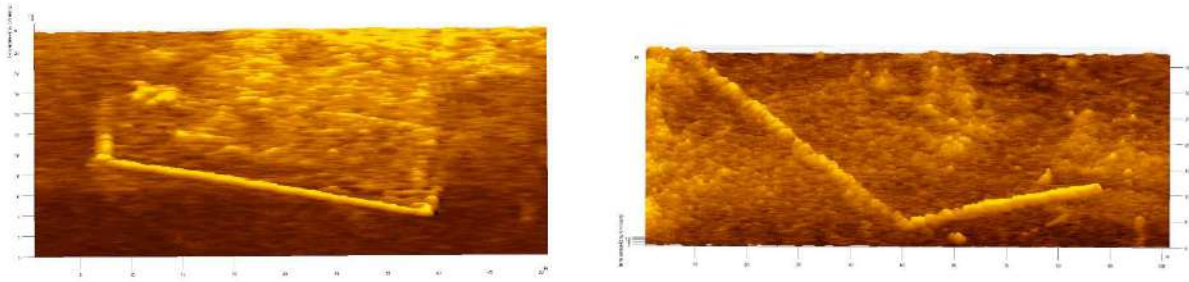


Рис. 6. Знайдені об'єкти правильної форми

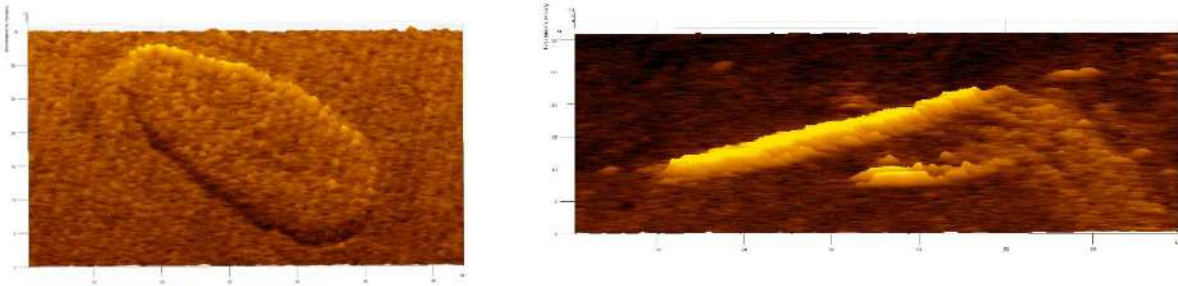


Рис. 7. Знайдений об'єкт круглої форми

Рис. 8. Знайдений об'єкт правильної форми (довжина близько 40 м)

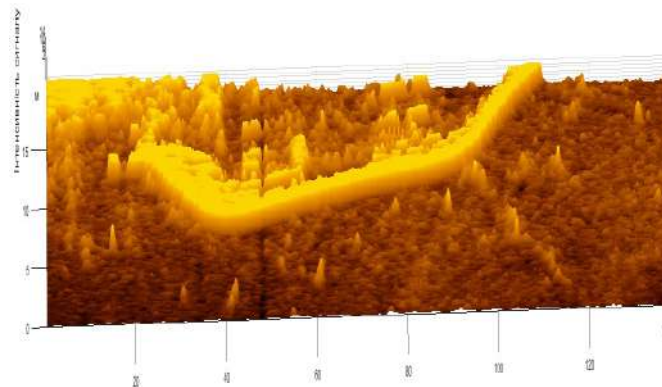


Рис. 9. Знайдений об'єкт правильної форми

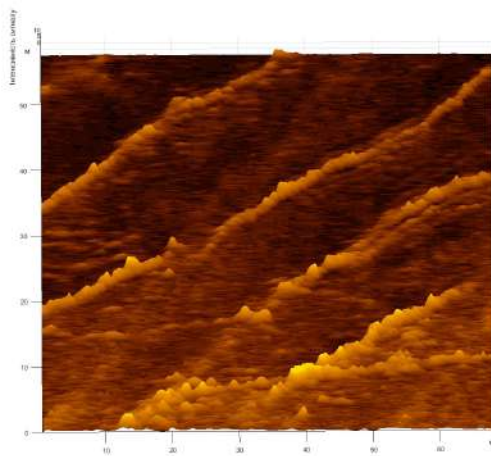


Рис. 10. Характерний рельєф

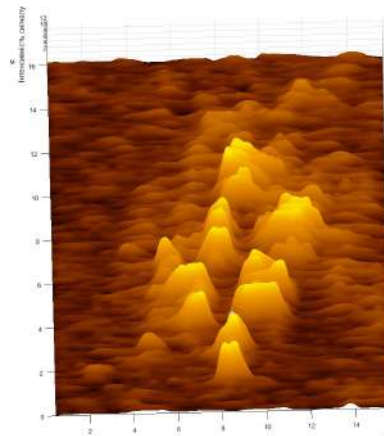


Рис. 11. Гідроакустична зйомка полігону звалища донного ґрунту

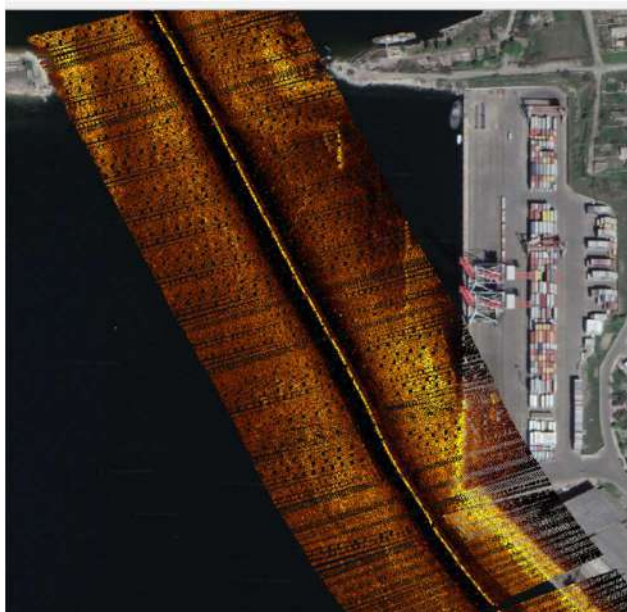


Рис. 12. Гідроакустична зйомка гідротехнічних споруд порту

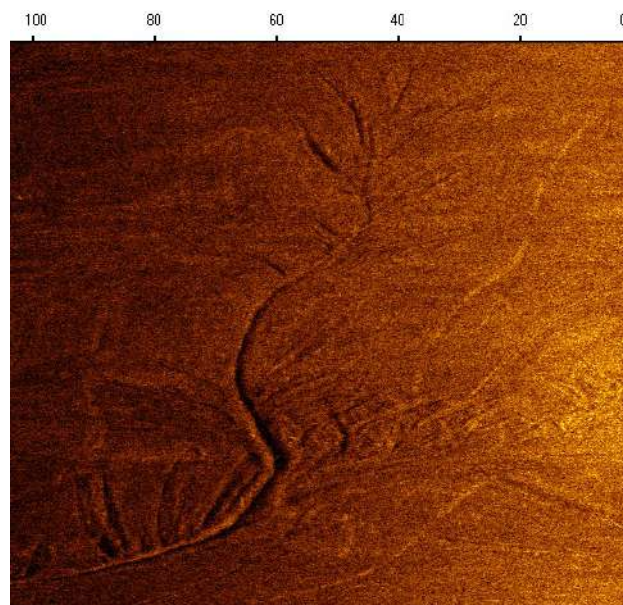


Рис. 13. Гідроакустичне зображення русла палеоріки на поверхні дна ПЗЧМ

На рис. 14–15 показано розподіл щільності верхнього шару донних відкладів і глибин дослідженої ділянки. Дані щодо середньої щільності в межах від 1290 кг/м^3 до 1680 кг/м^3 свідчать про залежність щільності донних відкладів від глибини залягання.

Проведення гідроакустичних робіт в акваторіях Бузько-Дніпровсько-Лиманського каналу (БДЛК) та Одеської затоки ПЗЧМ в серпні 2019 року здійснено на маршрутних галсах та на переходах між гідрологічними станціями на БДЛК. Протяжність дослідницького маршруту становила приблизно 170 км. БДЛК є гідротехнічною спорудою, що забезпечує підхід суден з Чорного моря до морських і річкових портів Херсонського і Миколаївського регіону, терміналів, підприємств. Траса каналу частково проходить по Чорному морю та Дніпро-Бузькому лиману. Особливою рисою цього лиману є його мілководність. Береги БДЛК низькі, піщані, місцями високі (до 25–30 м), складені глинисто-піщаними породами, дно біля кіс піщане, на глибині вкрите глинистими мулами.

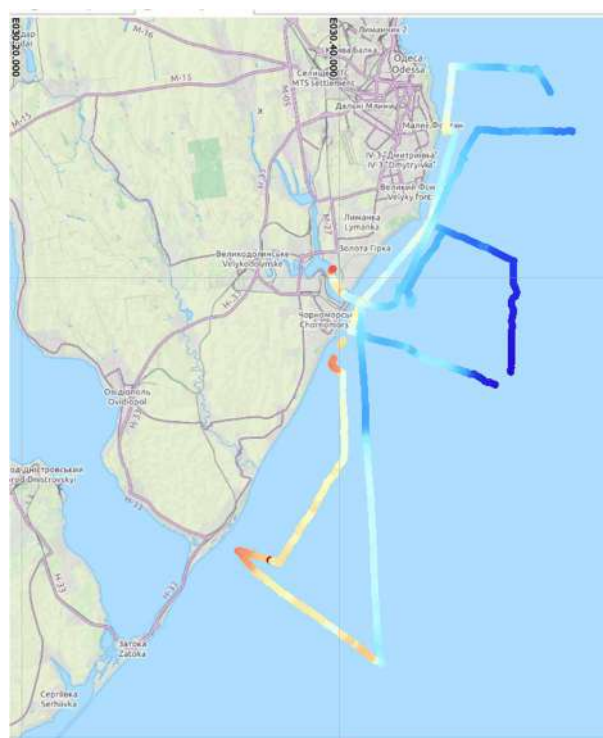
При проведенні комплексної науково-дослідної експедиції в акваторіях БДЛК та Одеської затоки у ПЗЧМ було виконано площинну гідроакустичну зйомку загальною площею більше 40 км^2 ; побудовано відповідні геоморфологічні інформаційні моделі для різних ділянок дна акваторій з урахуванням їх структурних і літологічних характеристик; виявлено понад 50 об'єктів природного й штучного походження, визначено їх координати та розміри (рис. 16).

За даними гідрогеоакустичної зйомки було отримано інформацію про літологічний тип верхнього шару донних відкладів. Локально, в деяких окремих місцях акустичний сигнал зафіксував структуру шарів донних відкладів, які істотно відрізнялися за петрофізичними властивостями між собою (рис. 17).

Визначено зони найбільш сприятливі для накопичення осадового матеріалу дрібних і тонких фракцій (рис. 18).



Шкала щільності верхнього шару донних відкладів від 1290 кг/м^3 до 1680 кг/м^3 та її розподіл
 Рис. 14. Розподіл щільності верхнього шару донних відкладів дослідженої ділянки



Шкала глибини від 0 до 26,5 м та її розподіл
 Рис. 15. Розподіл глибин дослідженої ділянки

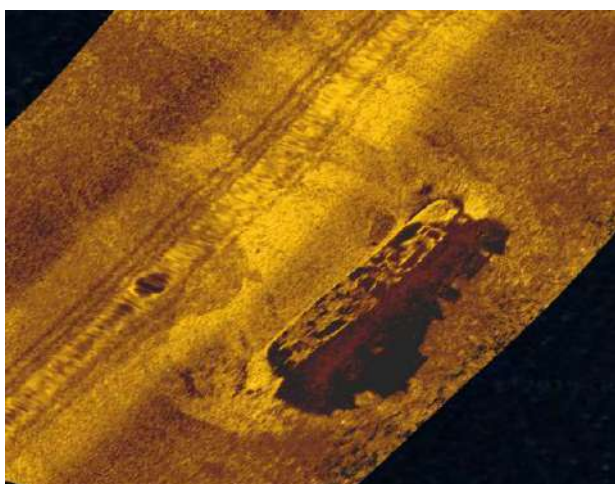


Рис. 16. Геоакустичне обстеження знайденого судна

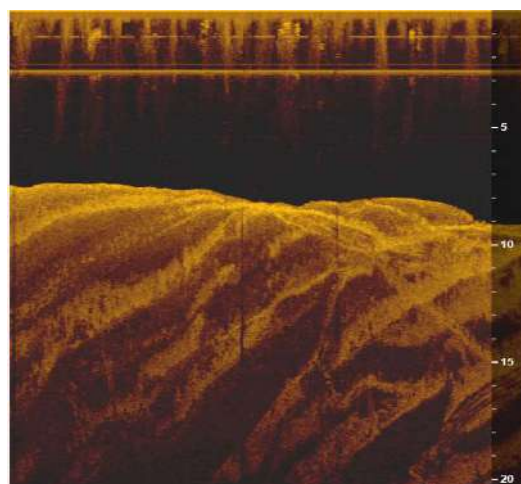


Рис. 17. Фрагмент ехограми: шари донних відкладів (мули алевритово-пелітові потужністю близько 3 м на шарі глини)

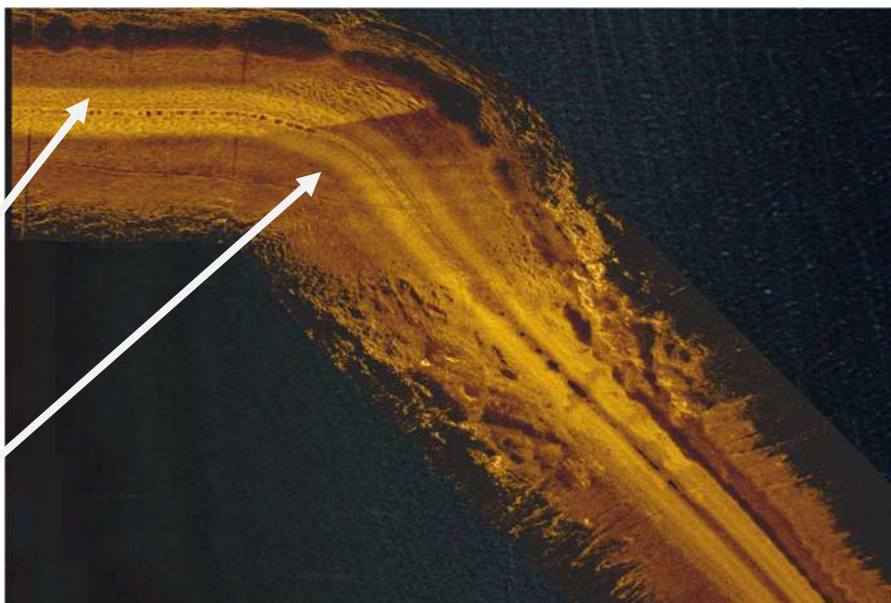


Рис. 18. Ехограма з межами зон розподілу піску та мулу

Середня глибина дослідженого району коливалася в межах 2–6 м, а щільність донних відкладів – в межах 1220 кг/м^3 до 1720 кг/м^3 , що відповідає закономірності їх ущільнення.

Загалом, під час проведених досліджень Чорного моря у період 2018–2019 рр. отримано такі результати:

- проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 185 км^2 , що дало змогу виявити та дослідити понад 200 затонулих й затоплених об'єктів природного та техногенного походження;

- визначено географічні координати та розміри знайдених об'єктів, побудовано 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів;

- побудовано математичні моделі (полігони геоакустичних даних);

- отримані геофізичні параметри упорядковано та передано в судновий фрагмент банку даних;

- отримано інформацію про стан донних ґрунтів обстеженої акваторії. При цьому зареєстровано структури верхньої частини осадової товщі потужністю 2–5 м залежно від щільності;

- отримано літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів. В окремих місцях акустичний сигнал зафіксував структуру шарів донних відкладів, які істотно відрізнялися за петрофізичними властивостями між собою;

- здійснено апробацію нових методик проведення гідроакустичних спостережень та науково-технічного оновлення методів і програмно-технологічних засобів.

Комплексні гідроакустичні дослідження на р. Дунай

Гідроакустичні дослідження у 2018 році на р. Дунай в акваторіях гирл Бистре та Очаківське і Соломонова рукава зумовлені необхідністю отримання нових детальних гідроакустичних і геоморфологічних даних про рельєф дна, а також виявлення навігаційних небезпек, затонулих об'єктів антропогенного походження, в тому числі, замулених і

малорозмірних. Проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 30 км² та виявлено затоплені об'єкти природного та техногенного походження (рис. 19).



Рис. 19. Приклад ехограми дна р. Дунай (гирло Бистре)

Дослідження останніх років стану екосистеми Дунаю свідчать [3] про евтрофікацію водних об'єктів, замулення, заростання водною рослинністю.

За результатами експедиції визначено географічні координати та розміри знайдених об'єктів і побудовано 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів. Загалом при дослідженні дна р. Дунай в акваторіях гирл Бистре та Очаківське і Соломонова рукава за площею було знайдено більше 50 характерних об'єктів штучного та природнього походження. Вони потребують додаткового вивчення та нанесення на навігаційні карти для їх постійного моніторингу й системного відстежування їх стану в інтересах підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства на внутрішніх водних шляхах (ВВШ).

В досліджених акваторіях р. Дунай розрізи відкладів загалом відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення. У них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку (рис. 20).

У 2019 р. комплексну річкову науково-дослідну експедицію на р. Дунай провели в акваторіях Кілійського гирла від 0-го до 67 км та рукавах Прямий, Іванешть, Катенька,

Машенька, Соломонов з метою актуалізації стану дна та розробки рекомендацій щодо використання зазначених акваторій для безпечного судноплавства.

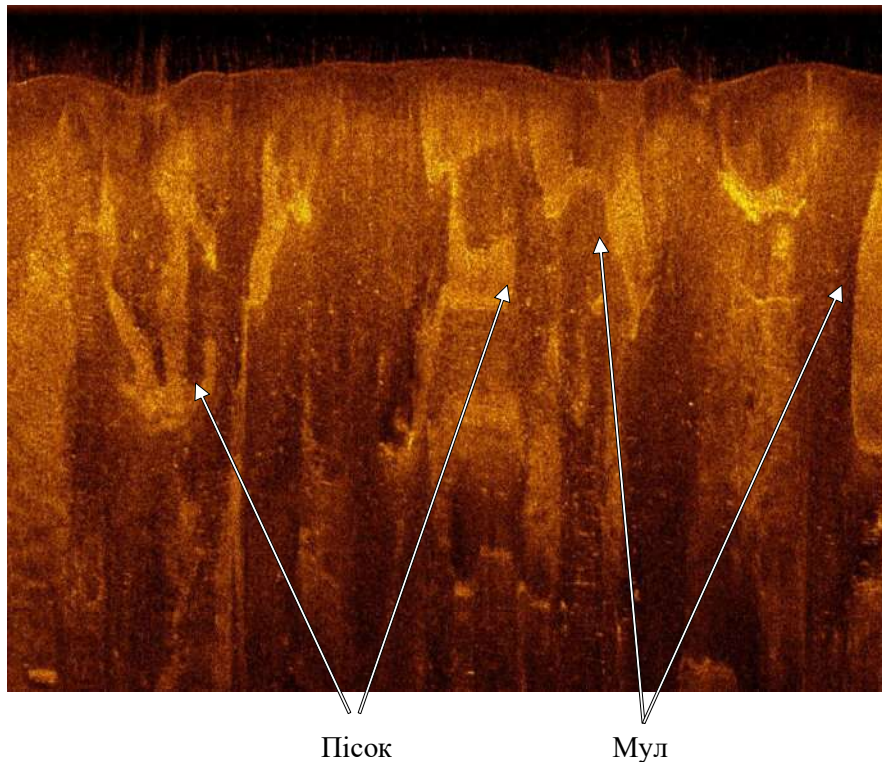


Рис. 20. Ехограма фарватеру р. Дунай з межами зон розподілу піску й мулу

Кілійське гирло на ділянці від мису Ізмаїльський Чатал (116 км) до вантажного району Вилкове є звивистим, з крутими вигинами. На 32 км основне русло гирла розгалужується на Соломонів і Прямий рукави. Соломонів рукав сполучається з Прямим рукавом на 22 км вище портового пункту Вилкове.

Кілійське гирло нижче вантажного району Вилкове ділиться на два основних гирла: Очаківське і Старостамбульське. Перше з них спрямоване на північний схід, друге – на південний схід. Обидва гирла розгалужуються на безліч другорядних проток, утворюючи сучасну дельту річки Дунай.

Кілійське гирло, яке є продовженням основного русла р. Дунай, приймає до 60% дунайських вод і несе в море більшу частину мулу, що захоплюється течією. Річки Прут і Сірет під час весняних і осінніх дощів приносять у русло річки Дунай велику кількість наносів, що утворюються у результаті розмиву лісових берегів. Ці наноси осідають на прибережній зоні, обмілинах і перекатах. Відклади в Кілійському гирлі – це мул і пісок, місцями глинистий мул та глина. Уздовж берегів тягнуться неширокі прируслові вали, що утворилися в результаті відкладення наносів у період повеней.

Вперше отримано матеріали гідроакустичної зйомки акваторій рукавів Прямий, Іванешть, Катенька, Машенька, островів Великий Даллер і Малий Даллер, Кілійського гирла р. Дунай (рис. 21, 22). Загалом при дослідженні дна р. Дунай за площею було знайдено більше 50 характерних об'єктів техногенного та природного походження. Ці об'єкти потребують додаткового вивчення та нанесення на навігаційні карти для їх постійного моніторингу та

системного відстежування їх стану в інтересах підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства ВВШ.

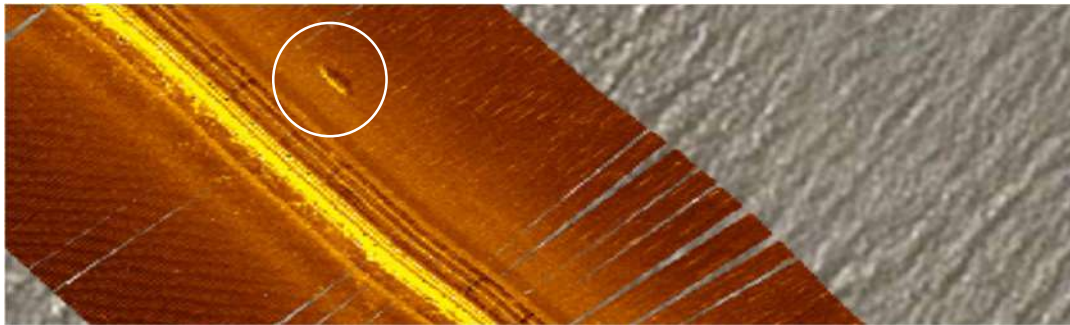


Рис. 21. Гідроакустичні обстеження дна та донних відкладів берегової зони Дунаю та його фарватеру (знайдений об'єкт правильної форми)

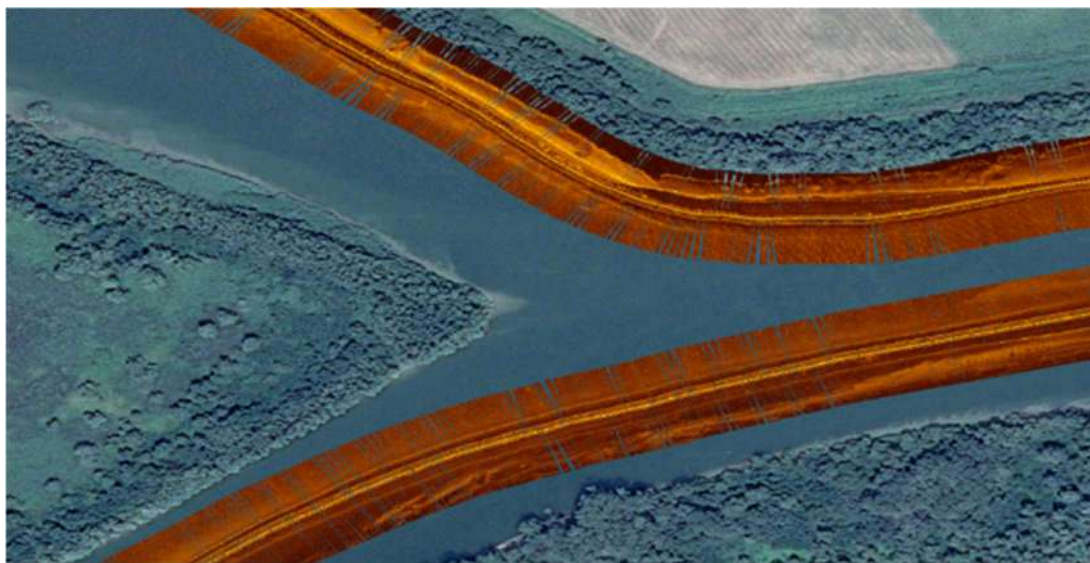


Рис. 22. Гідроакустичні обстеження дна та донних відкладів району о. Великий Даллер (полоса зйомки 50 м на кожен борт)

Переважаючою фракцією в складі донних відкладів за даними гідроакустичного дослідження був пісок (в середньому 56,3%). Середня концентрація мулів складала приблизно 32,9%. Глина – найменш представлена фракція в гранулометричному складі донних відкладів (в середньому 10,9%). Порівняння гранулометричного складу донних відкладів двох років дослідження (2018–2019 рр.) показує його стабільність практично у всьому досліджуваному районі. У донних відкладах гирла Бистре відзначено збільшення в 2019 р. частки піску та зменшення мулу.

Таким чином, було встановлено основні механізми накопичення певних літологічних типів сучасних донних відкладів в окремих акваторіях р. Дунай.

За підсумками експедицій 2018–2019 рр. на р. Дунай отримано такі основні результати гідроакустичних досліджень:

- вперше отримано матеріали гідроакустичної зйомки акваторій рукавів Прямий, Іванешть, Катенька, Машенька, островів Великий Даллер і Малий Даллер, Кілійського гирла р. Дунай;
- повторно отримано матеріали гідроакустичної зйомки акваторій гирла Бистре,

Соломонова рукава р. Дунай, що дало змогу провести аналіз змін екосистеми;

– проведено аналіз сили зворотного розсіювання звукових хвиль з різними частотами гідроакустичного комплексу ГБО-50 (ДУ "Гідрофізичний центр НАН України") та комплексу багатопроменевого ехолоту Sea Bat 7101 (ДУ "Держгідрографія") дозволив уточнити геоакустичні параметри донних відкладів і провести коригування даних гідролокатора бокового огляду для їх візуалізації та класифікації затоплених і затонулих об'єктів;

– спільна комплексна робота гідроакустичної та геологічної груп з дослідження донних відкладів окремих акваторій р. Дунай дала змогу найбільш повно вивчити їх властивості, склад і закономірності розповсюдження;

– проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 60 км² з визначенням коливання глибин від 5 м до 15 м;

– виявлено та досліджено багато затоплених об'єктів природного та техногенного походження з визначенням їхніх географічних координат та розмірів і побудовою 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів.

Комплексні гідроакустичні дослідження в акваторіях головного навігаційного фарватеру р. Прип'ять (в межах Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника)

Прип'ять – найбільша за площею басейну, довжиною та водністю права притока Дніпра. Відновлення судноплавства на Прип'яті дозволить розкрити транзитний потенціал України за рахунок розвитку річкового транспортного коридору від Балтійського до Чорного морів.

У 2019 році проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі (рис. 23) загальною площею понад 4 км², що дало змогу виявити та дослідити затоплені об'єкти різного походження. Визначено географічні координати та розміри знайдених об'єктів і побудовано математичні моделі інтенсивностей відбитих сигналів.

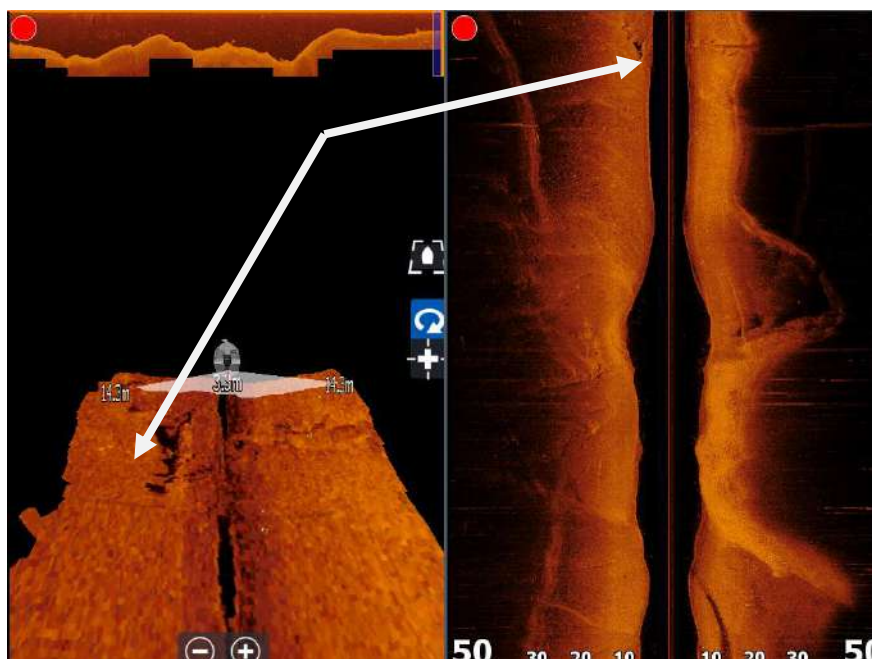


Рис. 23. Знайдений об'єкт на фарватері р. Прип'ять

Загалом при дослідженні дна р. Прип'ять за площею було знайдено більше 50 характерних об'єктів штучного та природного походження. Ці об'єкти потребують додаткового вивчення та реєстрації для можливості їх постійного моніторингу й системного відстежування їхнього стану в інтересах підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства ВВШ, екологічного стану тощо. Також було:

- отримано інформацію про стан донних відкладів району досліджень за результатами обробки профілограм із застосуванням методики дистанційної профільної ґрунтової зйомки дна;
- зареєстровано структури верхньої осадової товщі потужністю 0.2–0.6 м залежно від щільності за допомогою гідроакустичного профілювання;
- зафіксовано на багатьох ехограмах затонулі стовбури дерев (рис. 24) довжиною до 12 м;
- досліджено повністю затонулу баржу довжиною близько 70 м, що становить навігаційну небезпеку (рис. 25) та побудовано фрагмент карти ізобат цього району. Гідроакустичне дослідження баржі показало її суттєве замулення на глибині 5–6 м. Характер геоморфології дна, літології донних відкладів і сила течій дають підстави припустити подальше переміщення затонулої баржі до фарватеру річки. Також зафіксовано частково затонулу баржу довжиною близько 70 м (рис. 26-27).

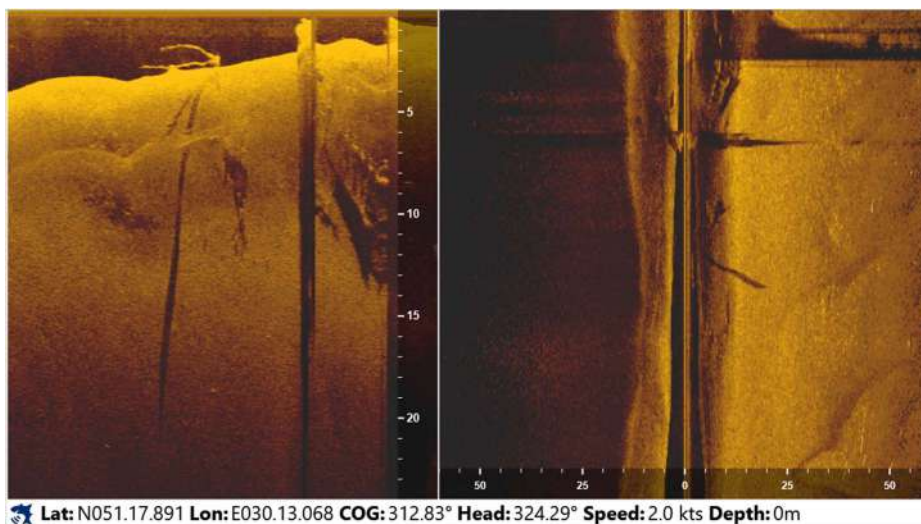


Рис. 24. Ехограма затонулих стовбурів дерев

Дистанційне дослідження донних відкладів р. Прип'ять дозволило провести оцінку їх середньої щільності, яка коливалась у межах 1490 кг/м^3 до 1600 кг/м^3 та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів, що свідчить про замулення річища на дослідженій ділянці.

Отримані результати комплексної науково-дослідної експедиції "Прип'ять – 2019" було докладно викладено в монографії [12].

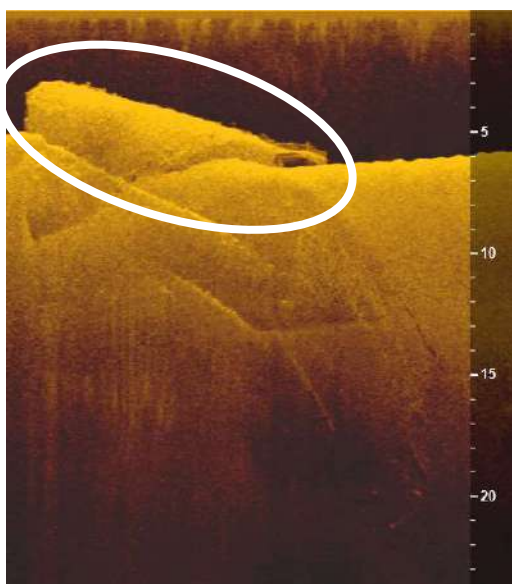


Рис. 25. Ехограма профілю затонулої баржі на глибині 5–6 м



Рис. 26. Ехограма ГБО частково затонулої баржі на р. Прип'ять (довжина близько 70 м)



Рис. 27. Фотографія частково затонулої баржі

Наукова новизна. Проведено комплексне гідроакустичне дослідження дна акваторій річок Дніпро і Дунай, а також Чорного моря в період 2018–2019 років. Вперше одержано матеріали гідроакустичної зйомки р. Прип'ять. Під час експедицій було отримано емпіричні відомості для набуття практичного досвіду та подальших теоретичних узагальнень у галузі гідрографії й океанографії. Виконані експедиційні дослідження дозволили провести аналіз зміни стану акваторій, що є невід'ємною складовою екологічного моніторингу водного середовища (екосистем) та закласти основи для вироблення рекомендацій з удосконалення навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства.

Практична значимість. Виконання комплексних експедиційних досліджень ВВШ є вкрай важливим для здобуття нових натурних даних й комплексного екологічного моніторингу, але ускладнюється обмеженим фінансуванням та втратою науково-дослідного флоту НАН України. Дослідження виконувалися для отримання нових детальних гідрографічних та океанографічних даних про стан морського середовища, рельєфу дна, пошуку та обстеження навігаційних небезпек, а також затонулих об'єктів. Результати

експедиційних досліджень використано в процесі коректури річкових карт з урахуванням фактичного гідрографічного, гідроакустичного та гідрологічного стану досліджуваних ділянок акваторій, що забезпечить створення безпечних умов судноплавства на внутрішніх водних шляхах України. Проведені дослідження мають науково-технічне і прикладне значення.

Висновки. Загалом, у результаті комплексних гідроакустичних досліджень в акваторіях Канівського водосховища річки Дніпро; ПЗЧМ; р. Дунай (гирло Бистре і Очаківське, рукави Соломонов, Прямий, Іванешть, Катенька, Машенька); окремих акваторій ПЗЧМ на підходах до портів Чорноморськ, Білгород-Дністровський та Одеса; Бузько-Дніпровсько-Лиманського каналу та Одеської затоки ПЗЧМ було:

– проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 300 км², що дало змогу виявити та дослідити донні об'єкти природного та техногенного походження;

– визначено географічні координати та розміри виявлених об'єктів, побудовано схеми 3D-зображень інтенсивностей відбитих сигналів;

– зареєстровано більше 1200 характерних об'єктів штучного та природного походження;

– побудовано математичні моделі (полігони геоакустичних даних);

– встановлено, що суднохідний шлях 745,0–750,0 км від гирла р. Дніпро є безпечним, а глибини гарантованими. Динаміка зміни рельєфу дна є незначною, а стійкість підводної поверхні є помірно сталою;

– експедиційні роботи на шельфі Чорного моря загальною протяжністю маршруту 131 морська миля (243 км) дозволили здійснити апробацію нових методик проведення гідроакустичних досліджень та програмно-технологічних засобів, також на глибині моря понад 20 м виявлено замулені уламки літака;

– комплексні гідрографічні й гідроакустичні дослідження дельти Дунаю дали змогу уточнити й підтвердити сучасний стан окремих ділянок суднового ходу р. Дунай, виявити загальний рельєф дна річкового русла, встановити характер і розташування навігаційних небезпек;

– одержані геофізичні параметри упорядковано та передано в судовий фрагмент банку даних;

– отримано інформацію про стан донних ґрунтів усієї площі обстежених акваторій, при цьому зареєстровано структури верхньої частини осадової товщі потужністю 2–5 м залежно від щільності;

– здійснено літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів. Лише локально, в деяких окремих місцях акустичний сигнал зафіксував структуру шарів донних відкладів, які істотно відрізнялися за петрофізичними властивостями між собою;

– здійснено апробацію нових методик проведення гідроакустичних спостережень та науково-технічне оновлення методів і програмно-технологічних засобів;

– одержано емпіричні відомості для набуття практичного досвіду й подальших теоретичних узагальнень у галузі гідрографії та океанографії;

– отримані дані передано до гідрографічного фрагменту Банку океанологічних даних НАН України з метою створення можливості постійного моніторингу акваторій, які досліджували та підвищення ефективності навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства.

За результатами досліджень закладено основи для вироблення рекомендацій з удосконалення навігаційно-гідрографічного забезпечення мореплавства в досліджуваних районах.

Для забезпечення аналізу змін екосистем акваторій необхідно застосувати комплексний підхід і періодичні повторні дослідження з метою отримання оперативних даних про фізичні процеси в них. Саме тому дослідження на окремих ділянках акваторії північної частини ПЗШЧМ та р. Дунай в акваторіях гирл Бистре та Очаківське і Соломонова рукава проводились два роки поспіль, що дало можливість здійснити системні спостереження за динамікою змін, які відбулися.

Постійний моніторинг водного середовища шляхом комплексних експедиційних досліджень дозволяє запобігти виникненню надзвичайних ситуацій на воді й оперативно реагувати на виявлені загрози.

Результати комплексних досліджень також можуть бути використані в процесі прогнозування екологічного стану річкових русел, змін геологічної будови дна, для оперативної актуалізації річкових карт і посібників для плавання (з урахуванням фактичного гідрографічного, гідроакустичного та гідрологічного стану окремих ділянок акваторій, які досліджують), а також при розробці рекомендацій для безпечного судноводіння, планування днопоглиблювальних робіт, при розробці водних туристичних маршрутів, формуванні та поповненні Банку океанографічних даних НАН України тощо.

Перелік використаних джерел

1. Шнюков Е.Ф., Куковская Т.С., Кузнецов А.С., Радчук В.В. 73-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" – геолого-геохимические, гидроакустические и гидробиологические исследования в Черном море. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2013. № 3. С. 118–127.
2. Шнюков Е.Ф. Геолого-геофизические исследования в 27-м рейсе НИС "Владимир Паршин" в Черном море. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2007. № 1. С. 135–140.
3. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Маслаков Н.А., Шнюкова Е.Е. Геоморфология Форосского выступа черноморской континентальной окраины Крыма. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 4. С. 15–29.
4. Шнюков Е.Ф. и др. Формы рельефа дна Черного моря как возможные проявления современной геодинамической активности. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2012. №2(28). С. 99–103.
5. Шнюков Е.Ф. и др. Геолого-геофизические исследования в 30-м рейсе НИС "Владимир Паршин" в Черном море. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2009. № 3. С. 94–97.
6. Шуйский Ю.Д. Оценка состояния берегов Черного моря в течение ближайших десятилетий. *Экологические проблемы Черного моря*. Одесса. 2001. Вып. 3. С. 367–373
7. Дослідження ефективного параметричного профілографу для стратифікації донних відкладів та розвиток методів її підвищення. звіт з НДР. НТЦ ПАС НАН України. №0111U002370. Запоріжжя, 2013. 85 с.
8. Сміт Д.Т. Акустичні та механічні властивості донних відкладів. Акустика морських осадків. за ред. Хемптона; перекл. з англ. під ред. Ю.Ю. Жідковського. М.: Світ, 1977. С. 47–65.
9. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины: монография. Киев: Наук. думка, 2006. 383 с.

10. Огородніков В.І. Особливості формування донних відкладів в великих рівнинних водосховищах. *Вісник Київського ун-ту. Сер. географія.* 2000. №46. С. 21–24.

11. Новиков Б.И. Донные отложения рек Украины. Киев: Наук. думка, 1985. 172 с.

12. Чернобыльская зона відчуження: комплексна річкова науково-дослідна експедиція "Прип'ять – 2019": за ред. чл.-кор. НАН України О.А. Щипцова. Київ: Держгідрографія, 2019. 128 с.

Комплексные гидроакустические исследования дна и донных отложений отдельных акваторий Азово-Черноморского бассейна

С.Г. Федосеенков, А.И. Шундель, Л.В. Нестеренко

Федосеенков Сергей Геннадьевич – к.геол.н., заведующий отделом панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Шундель Алексей Иванович – к.физ.-мат.н., научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: lixyta666@gmail.com

Нестеренко Любовь Владимировна – младший научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Аннотация. Цель работы – оценка экологического состояния отдельных акваторий Азово-Черноморского бассейна, предусматривает подробные исследования дна, донных отложений и обнаружение объектов навигационных препятствий комплексом гидроакустических средств собственной разработки (гидролокационную съемку рельефа дна, стратификацию донных отложений) с построением планшета обследования (нанесение на планшет траектории носителя с координатной привязкой, нанесение гидролокационных изображений дна с выявленными затонувшими объектами и особенностями донного рельефа). Методика исследования и аппаратура – гидроакустическое зондирование водной толщи и дна акваторий с помощью мобильного гидроакустического комплекса, математическая обработка полученных результатов с использованием геоинформационных технологий. Исследования выполнялись для получения новых детальных гидрографических и океанографических данных о состоянии морской среды, рельефе дна, поиска и обследования навигационных опасностей, а также затонувших объектов. Результаты экспедиционных исследований будут использованы в процессе корректуры речных карт с учетом фактического гидрографического, гидроакустического и гидрологического состояния аномальных исследуемых участков акваторий, обеспечит создание безопасных условий судоходства на внутренних водных путях Украины. Проведенные исследования имеют научно-техническое и прикладное значение.

Ключевые слова: гидроакустика, гидролокатор бокового обзора, промер глубин, Банк океанографических данных НАН Украины, экспедиция, донные отложения.

Integrated hydroacoustic studies of the seabed and sediments of selected areas of the Azov-Black Sea basin

S.H. Fedoseienkov, A.I. Shundel, L.V. Nesterenko

Fedoseienkov, Serhiy Hennadiyovych – Cand. Sci. (Geol.), Head of the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Shundel, Oleksiy Ivanovych – Cand. Sci. (Phys. and Math.), Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: lixyta666@gmail.com

Nesterenko, Lyubov Volodymyrivna – Junior Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Abstract. The objective of the work is to assess the ecological status of selected areas of the Azov-Black Sea basin, providing for detailed studies of the seabed, sediments and the detection of navigational obstacles by a set of hydroacoustic means of its own development (sonar survey of the topography of the bottom, stratification of the bottom sediments) with construction of the survey tablet (application of the carrier motion with coordinates, application of the sonar image of the bottom with identified sunken objects and features of the bottom relief). Research methods and instruments – hydroacoustic soundings of the water column and seabed with the aid of a mobile hydroacoustic complex, mathematical processing of the obtained results using geoinformation technologies. The studies were carried out to obtain new detailed hydrographic and oceanographic data on the state of the marine environment, the topography of the seabed, navigational hazards and sunken objects. The results of the expeditionary studies will be used in the process of readjusting river maps to take into account the actual hydrographic, hydroacoustic and hydrological status of the anomalous areas under study, Ensure safe navigation on Ukrainian inland waterways. The research carried out has scientific, technical and practical significance.

Keywords: hydroacoustics, side-scan sonar, depth-measurement, oceanographic data bank of NAS of Ukraine, cruise, sediments.

References

1. Shnyukov YeF, Kukovskaya TS, Kuznetsov AS, Radchuk VV. 73-y reys NIS "Professor Vodyanitskiy" – geologo-geokhimicheskie, gidroakusticheskie i gidrobiologicheskie issledovaniya v Chernom more [Voyage 73 R/V "Professor Vodnicki" – Geological-geochemical, hydroacoustic and hydrobiological research in the Black Sea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2013;3:118–127 [in Russian].
2. Shnyukov YeF. Geologo-geofizicheskie issledovaniya v 27-m reyse NIS "Vladimir Parshin" v Chernom more [Geological-geophysical research in the 27th flight of NIS "Vladimir Parshin" to the Black Sea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2007;1:135–140 [in Russian].
3. Shnyukov YeF, Pasyukov AA, Maslakov NA, Shnyukova YeYe. Geomorfologiya Foroskogo vystupa chernomorskoj kontinentalnoj okrainy Kryma [Geomorphology of the Foros Ledge of the Black Sea continental margin of the Crimea. The Black Sea Trench of the Crimea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2010;4:15–29 [in Russian].
4. Shnyukov YeF, et al. Formy relefa dna Chernogo morya kak vozmozhnye proyavleniya sovremennoy geodinamicheskoy aktivnosti [Black Sea bottom features as possible manifestations of modern geodynamic activity]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2012;2(28): 99-103 [in Russian].
5. Shnyukov YeF, et al. Geologo-geofizicheskie issledovaniya v 30-m reyse NIS "Vladimir Parshin" v Chernom more [Geological-geophysical research in the 30th flight of R/V "Vladimir Parshin" to the Black Sea]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2009; 3:94–97 [in Russian].
6. Shuyskiy YuD. Otsenka sostoyaniya beregov Chernogo morya v techenie blizhayshikh desyatiletij [Assessment of the Black Sea coasts over the next decades]. *Ekologicheskie problemi Chornogo morya*. Odessa. 2001; 3:367–373 [in Russian].
7. Doslidzhennja efektyvnogho parametrychnogho profiloghrafu dlja stratyfikaciji donnykh vidkladiv ta rozvytok metodiv jiji pidvyshhennja [Study of effective parametric profiling for sediment stratification and development of methods to increase it]. Zaporizhzhja: NTC PAS NAN Ukrainy; 2013. 85 p. №0111U002370 [in Ukrainian].
8. Smit DT. Akusticheskie i mekhanicheskie svoystva donnykh otlozheniy. Akustika morskikh osadkov [Acoustic and mechanical properties of sediments. Acoustics of sediments]. In: Khempton L, editor. Moskva:Mir;1977. P.47–65 [in Russian].
9. Timchenko VM. Ekologicheskaya gidrologiya vodoemov Ukrainy [Ecological Hydrology of Water Bodies of Ukraine]. Kiev: Nauk. Dumka; 2006. 383 p. [in Russian].
10. Oghorodnikov VI. Osoblyvosti formuvannja donnykh vidkladiv v velykykh rivnynnykh vodoskhovyshhakh [Features of sediment formation in large lowland reservoirs]. *Visnyk Kyjivskogho un-tu. Ser. gheoghrafija*. 2000;46:21–24 [in Ukrainian].
11. Novikov B.I. Donnye otlozheniya rek Ukrainy [Sediments of Ukrainian rivers]. Kyjiv: Nauk. Dumka; 1985. 172 p. [in Russian].
12. Shhycov OA, editor. Chornobyl'sjka zona vidchuzhennja: kompleksna richkova naukovo-doslidna ekspedycja "Pryp'jatj–2019" [Chernobyl exclusion zone: integrated river research expedition "Pripyat – 2019"]. Kyjiv: DU "Derzhghidrohrafija". 2019. 128 p. [in Ukrainian].