

Державна установа «Науковий гідрофізичний центр  
Національної академії наук України»

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна  
Національної академії наук України

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Федосєєнков Сергій Геннадійович**

УДК 551.35, 551.462

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

**Геоморфологічні та літологічні особливості донних відкладів  
на основі геоакустичних методів**

Спеціальність 04.00.22 – «Геофізика» (103 – Науки про Землю)  
(геологічні науки) 10 Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

  
\_\_\_\_\_  
*С.Г. Федосєєнков*

Науковий керівник: Щипцов Олександр Анатолійович,  
член-кореспондент НАН України,  
доктор географічних наук, професор

Київ – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Федосєєнков С.Г.* Геоморфологічні та літологічні особливості донних відкладів на основі геоакустичних методів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – «геофізика». – Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України». – Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, 2019.

Морфоструктура дна в поєднанні з даними про будову та речовинний склад осадового чохла дозволяє відновлювати історію розвитку рельєфу та палеогеографію океанічних областей.

Вивчення геологічного середовища на сучасному етапі розвитку геологічної науки потребує комплексного підходу, що включає в себе інтегровані методики, які поєднують в собі геологічні, геофізичні, літологічні та географічні інформаційні системи.

Незважаючи на інтенсивний та результативний розвиток напряму спільних геолого-геофізичних досліджень геоморфологічних та літологічних характеристик сучасних донних відкладів і досить високий рівень напрацювань, спостерігається недостатність їх розвитку в Україні останнім десятиліттям.

Одним з найбільш ефективних засобів дистанційного дослідження геоморфології дна акваторій та дистанційного визначення літологічних типів поверхневих шарів донних відкладів є системи гідролокації.

В Науково-технічному центрі панорамних акустичних систем Національної академії наук України (нині - Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України») створено автоматизований модульно-блочний інформаційно-вимірювальний геоакустичний комплекс.

Представлений геоакустичний комплекс з прив'язкою до координат і часу здійснює:

- детальне дослідження рельєфу дна акваторій (за площею) з використанням гідролокатора бокового огляду (ГБО) з частотами від 29 кГц до 470 кГц на глибинах до 500 м;

- стратифікацію шарів донних відкладів за допомогою гідроакустичного профілографу з частотами від 3 кГц до 29 кГц на глибинах до 800 м;

- обстеження дна та знайдених об'єктів підводною камерою.

Для отримання геоакустичних параметрів морського та річкового дна було розроблено математичний апарат та програмне забезпечення для обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу. Розроблена методика дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна передбачає отримання інформації щодо безперервних профілів шарів донних відкладів, а на основі аналізу акустичних трас - відносно геоакустичних властивостей шарів донних відкладів.

Розроблено методичку, де зазначається, що однією з перших вирішених проблем обробки профілограм було усунення кратних хвиль, які можуть бути помилково інтерпретовані як первинні.

Обчислюючи по черзі параметри першого шару донних відкладів, можна здійснити аналогічну обробку інформації для другого, третього і т.д. шарів. Тобто шляхом обробки відбитих гідроакустичних сигналів визначаються такі геоакустичні параметри донних відкладів як щільність, швидкість поширення пружних коливань (швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, поглинання акустичних сигналів у відкладах, донна реверберація.

Для перевірки розробленої методички при початкових натурних випробуваннях відбувалася реєстрація та аналіз сигналів гідроакустичного профілографу від задалегідь відомих типів донних відкладів. При виконанні натурних досліджень було отримано відбиті сигнали від різних типів донних відкладів. Зміна форми огинаючих відбитих сигналів по відношенню до зондувальних сигналів викликана інтерференцією різних типів хвиль, що беруть участь у формуванні відбитого сигналу.

Було побудовано спектри відбитих сигналів та створено еталонну таблицю

кореляційних залежностей геоакустичних параметрів донних відкладів за характеристикою спектру, що дало змогу вирішувати зворотні задачі – визначати літологічні типи донних відкладів за відбитим сигналом.

Морські експериментальні дослідження проводилися на Чорному морі в 75-му рейсі науково-дослідного судна «Професор Водяницький». Мета проведених гідроакустичних досліджень – гідроакустичне профілювання приповерхневих донних відкладів, визначення їх геоакустичних параметрів, стратифікація та упорядкування результатів визначення літологічних типів донних відкладів за допомогою методів дистанційної геоакустичної зйомки та взяття проб донних відкладів.

Отримано геоакустичні параметри поверхневих шарів донних відкладів шляхом обробки отриманих сигналів гідроакустичного профілографу за розробленою методикою. Далі, використовуючи статистичні алгоритми, проведено стратифікацію донних відкладів. Таким чином, геоакустичне обстеження дало змогу обстежити рельєф досліджуваних полігонів та дати інформацію щодо типів донних відкладів та їх геоакустичних параметрів.

Аналогічні річкові експериментальні дослідження проводилися спільними зусиллями фахівців Інституту геологічних наук НАН України та Науково-технічного центру панорамних акустичних досліджень НАН України. Зазначений напрям робіт поєднував в собі геофізичні та геохімічні методи досліджень акваторії р. Дніпро, контактну та дистанційну зйомку верхнього шару донних відкладів. При цьому контактна зйомка забезпечувала, як аналіз розподілу і депонування важких металів в донних відкладах, так і упорядкування та підтвердження результатів дистанційної зйомки.

Було впроваджено систему спостережень за надходженням важких металів в седиментаційні потоки на акваторії р. Дніпро та закономірностями депонування їх в верхньому шарі донних відкладів. В рамках проекту створено геоекологічний полігон для вивчення взаємодії рельєфу дна, водної товщі та верхніх шарів донних відкладів.

Однією з основних задач досліджень, що проводяться на експериментальному полігоні в межах ділянки акваторії, прилеглої до території ДУ «Гідрофізичний центр

НАН України», було визначення сезонних змін в розподілі літологічних типів верхнього шару донних відкладів.

Розроблений геоакустичний комплекс забезпечив оптимальне виконання комплексного обстеження полігону, в процесі якого ведеться одночасно геоакустична зйомка дна та взяття проб донних відкладів. За даними гідроакустичного профілювання було визначено дистанційним методом геоакустичні параметри поверхневих донних відкладів обраного полігону та класифіковано поверхневі донні відкладення як неоднорідні шари з відсотковими показниками поєднання декількох літологічних класів.

Викладено результати власних досліджень щодо геоморфологічних та літологічних особливостей окремих районів Чорного моря, окремих ділянок р. Дніпро, гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава р. Дунай за даними геоакустичної зйомки.

*Геоморфологічні та літологічні особливості окремих районів Чорного моря за даними геоакустичної зйомки.* При виконанні морських експериментальних досліджень північно-східних районів Чорного моря отримані профілограми, на яких переважали однорідні протяжні відбиття, які свідчили про синхронні зміни умов седиментації в межах великих площ. Акустично прозорі товщі вказували на їх петрофізичну однорідність. Це типово для великих глибоководних площ, де седиментація слабо залежить від фізико-географічних і гідродинамічних умов і реалізується в стабільній обстановці при інтегрованому впливі водного середовища, що сприяє накопиченню безперервних осадових розрізів. Це було також підтверджено літологічним аналізом проб донних відкладів. За даними геоакустичної зйомки було отримано літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів.

Поверхня дна першого досліджуваного полігону розміром 7 км×25 км загалом була рівною та мала пологий схил в сторону глибоководної западини. Глибина коливалася в межах 60 м-120 м.

Рельєф другого полігону розміром 7 км×16 км в межах структури Палласа відзначався складною морфоструктурою, що відрізнявся підводними хребтами та

уступами. Уступи розділяють схил на ступені з різними кутами нахилу його поверхні. Найбільше число уступів зафіксовано в західній частині схилу. Для цієї зони характерні прояви зсувних і обвальних процесів в зв'язку з високими градієнтами кутів нахилу поверхні схилу. Пологі уступи і поверхні, розвинені на корінних відкладах, в більшій частині перекриваються сучасними і четвертинними відкладами, а саме морськими мулами з включенням гравію і піщанистого матеріалу, мулами пелітовими з вмістом черепашки.

*Геоморфологічні та літологічні особливості окремих районів р. Дніпро за даними геоакустичної зйомки.* Донні відклади р. Дніпро є інформативним індикатором змін природного стану гідроекосистеми ріки. Комплексне дослідження акваторій р. Дніпро в межах м. Запоріжжя дало змогу визначити, що строкатість гранулометричного складу донних відкладів головним чином визначається геоморфологічною неоднорідністю та перепадами рельєфу дна.

Використання гідроакустичного профілографу дозволило отримати профілі дна обстеженого полігону з високою розрізняювальною здатністю до 30 см вертикально. При цьому параметри апаратури дозволили провести якісне зондування чохла осадового шару до корінних порід, представлених гранітами Українського щита.

Обробка отриманих профілограм за допомогою розроблених алгоритмів та програмного забезпечення дозволила отримати щільності, потужності і літологічні розрізи шарів донних осадів обстеженого полігону. Так як осадконакопичення в межах полігону нижньої течії р. Дніпро контролюється гідрологічними і геолого-геоморфологічними факторами, на ділянках з більш вирівняним рельєфом, до яких відноситься верхня частина полігону з глибиною 8 м - 10 м, поширені гранулометричні одноманітні осади.

Аналіз розподілу гранулометричних фракцій осадового матеріалу на дні дає досить повне уявлення про локалізацію та мінливість осадів в межах цього полігону, а також про характер накопичення осадів.

Для цього були складені схеми поширення розмірних фракцій. При порівнянні схем розподілу гранулометричних фракцій осадового матеріалу в поверхневому шарі

можна зробити висновки, які дозволяють охарактеризувати деякі риси накопичення осадів в нижній течії Дніпра. Піщаний матеріал концентрується головним чином уздовж берегової лінії і на рівних ділянках дна внаслідок виносу дрібніших фракцій, що говорить про активність хвилевих процесів в центральних, більш глибоких частинах полігону, а також в напівзакритих затоках концентрується зазвичай матеріал алевритової розмірності. Наявність кіс, особливості донного рельєфу та конфігурація берегової лінії ускладнюють картину диференціації осадового матеріалу в деталях, але не змінюють її загальний характер.

Аналіз проб донних відкладів, відібраних малою ґрунтовою трубкою і дночерпачем забезпечив контроль дистанційних методів і доповнення моделей, що створюється якісними даними.

Виявлений тісний зв'язок між гранулометричним складом, геоакустичними параметрами та питомою щільністю дозволяє використовувати коефіцієнти відбиття або щільність, як індикатор змін літології донних осадків в цілому, і цілеспрямовано відстежувати сучасний річковий процес седиментогенезу.

Дані щодо середньої щільності та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів в результаті проведених сезонних натурних досліджень полігону в межах акваторії р. Дніпро свідчать про його замулення, що, в свою чергу, призводить до накопичення у пелітовій фракції донних осадків поллютантів.

*Геоморфологічні та літологічні особливості окремих районів гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава р. Дунай за даними геоакустичної зйомки.* Дистанційні дослідження р. Дунай показали, що її гранулометричний склад неоднорідний і закономірно змінюється від мулу до піску. За даними гідроакустичного дослідження переважаючою фракцією в складі донних відкладів акваторій р. Дунай 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 осадів за два роки дослідження (2018-2019 рр.) показує його стабільність практично на всьому досліджуваному районі (донні

відклади гирла Бистре відзначено збільшенням в 2019 році частки піску і зменшення мулу).

Для визначення літологічних особливостей донних осадків з глибиною закладалися геологічні розрізи в профілях найбільш репрезентативних зон району дослідження.

Виходячи з основних закономірностей осадконакопичення, які викликані гідродинамічними факторами і, швидше за все, течіями, а також, приймаючи до уваги особливості рельєфу дна, можна виділити зони кінцевого транспортування осадових порід двох типів: зони стагнації з пасивними гідродинамічними умовами чи утворенням вихрових структур та дисипаційні зони, де відбувається зменшення енергетики потоку в результаті натикання його на перешкоду, внаслідок чого втрачається частка суспендованого матеріалу. Саме ці зони найбільш сприятливі для накопичення осадового матеріалу типу мул.

Таким чином, в дисертаційній роботі виконано теоретичне узагальнення та запропоновано нове вирішення задачі оцінки геоморфологічних та літологічних особливостей морського та річкового дна шляхом визначення його геоакустичних параметрів. Результати дослідження дозволяють встановити закономірності осадконакопичення певних літологічних класів донних відкладів у вигляді регресійних зв'язків між геоакустичними параметрами донних відкладів, рельєфом дна, глибиною та пробами донних відкладів.

На основі виконаних комплексних досліджень вперше складені детальні карти розповсюдження літологічних типів донних відкладів окремих акваторій р. Дніпро з урахуванням матеріалів точкових відборів зразків донних відкладів та результатів обробки інформації геоакустичного комплексу, що дозволили створити цілісну картину взаємодії антропогенних й природних процесів та надали можливість подальшого їх прогнозу. Уточнено геоморфологічні та літологічні особливості й доповнено дані щодо рельєфу дна Чорного моря. На прикладі полігонів в межах акваторії р. Дніпро доведено існування тісного взаємозв'язку між рельєфом дна та накопиченням певних літологічних типів поверхневого шару донних відкладів,



виявлені ділянки дна, седиментаційні процеси на яких характеризуються інтенсивністю гідродинамічних явищ. За даними гідроакустичної зйомки вивчено геоакустичні параметри та проведено класифікацію донних відкладів акваторії річки Дніпро, північно-західної частини Чорного моря, акваторій гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава річки Дунай. Отриману інформацію передано до БОД. Подальший просторовий аналіз отриманої бази даних може бути використаний для чотиривимірного картування дна та поверхневих шарів донних відкладів акваторій з певними літологічними та морфологічними характеристиками, обчислення їх об'ємів, швидкості осадконакопичення та вмісту різноманітних компонент для прогнозування корисних копалин, екологічного моніторингу, природоохоронних заходів та ін.

**Ключові слова:** геоморфологія дна, донні відклади, гідроакустичний профілограф, ехолот, геоакустичні параметри донних відкладів, літологічні особливості, морфологічні особливості.

### *Список публікацій здобувача за темою дисертації*

Основні результати та висновки дисертаційного дослідження, одержані автором особисто або у співавторстві та опубліковані у журналах, які входять до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з наук про Землю, або іноземних виданнях. За темою дисертації опубліковано 35 наукових праць: статей у фахових наукових виданнях – 8 (2 входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), одна глава в колективній монографії, 12 статей в інших наукових виданнях (1 в іноземному), 1 патент і 14 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня.

### *Монографії*

1. Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря: Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Довбыш С.Н., Дыкань Н.И., Ольштынская А.П., Вернигоров В.П., Никитина А.А., Тимченко В.П., Гончар А.И.,

Клочан Ю.А., Клочан В.И., Сафонов А.В., Иваненко М.П., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Мельников В.В., Токарев Ю.Н., Алемов С.В., Болтачева Н.А., Бурдиян Н.В., Игнатьев С.М., Ревков Н.К., Сергеева Н.Г., Серегин С.А., Станичный С.В., Сысоев А.А. Под ред. А.Ю. Митропольского. К.: ИГН НАН Украины, 2013. 141 с. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у натурних випробуваннях, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

***Статті в наукових фахових виданнях України:***

2. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И., Худоконь В.В., Сафонов А.В. Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2011. Вип. 25. Т. 1. С. 117-121. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у постановці задачі, інтерпретація результатів аналізу інформації побудованого планшета на прикладі сполучення із супутниковою картою і прив'язкою до географічних координат під час моніторингу акваторій, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

3. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Методы подавления кратных волн при обработке информации профилограмм. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 7-12. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, обчислення математичної моделі профілограми, участь у розробці методів усунення кратних хвиль при обробці інформації профілограм).

4. Митропольський О.Ю., Насєдкін Є.І., Іванова Г.М., Довбиш С.М., Нікітіна А.О., **Федосеєнков С.Г.** Закономірності формування вмісту нікелю в складі седиментаційних потоків. Зб. наук. пр. Інституту геологічних наук НАН України. 2015. Т. 8. С. 139-144. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі,

обговорення висновків).

5. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., **Федосєєнков С.Г.**, Іванова Г.М., Довбиш С.М. Відновлення та адаптація проекту моніторингу седиментаційних процесів на шельфі Чорного моря на полігоні "Запоріжжя". *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2016. № 3. С. 89-94. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

6. Гончар А.І., **Федосєєнков С.Г.** Сучасні комп'ютерні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації. *Геоінформатика*. № 1 (61). 2017. С. 19-25. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у постановці задачі, проведення та обробка нових експериментальних досліджень, побудова, розрахунок та аналіз вітчизняних сучасних комп'ютерних методів обробки і візуалізації гідроакустичної інформації, встановлення закономірностей поширення певних літологічних типів донних відкладів у обстеженому районі р. Дніпро).

7. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Іванова Г.М., Кураєва І.В., Войтюк Ю.Ю., **Федосєєнков С.Г.** Моніторинг стану річкових відкладів у межах індустріальних осередків (на прикладі м. Запоріжжя). *Мінералогічний журнал*. 2017. Т. 39, № 3. С. 75-84. (Особистий внесок – участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації донних відкладів р. Дніпро у межах м. Запоріжжя, обробка результатів автоматизованої профільної ґрунтової зйомки дна з визначенням фізико-механічних параметрів верхнього шару донних відкладів, створення 3d полігону даних, який об'єднує інформацію щодо глибини акваторії, розподілу шарів донних відкладів, географічних координат точок досліджень в єдине ціле).

***В інших наукових виданнях:***

8. Гончар А.И., Шундель А.И., **Федосєєнков С.Г.** Некоторые аспекты создания структурных моделей неоднородного слоистого дна. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27.

С. 151-155. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, розробка та аналіз системи комп'ютерного тривимірного моделювання геофізичних полів геологічних структур, математичне моделювання геологічного середовища, наближеного до реального).

9. Honchar A.I., **Fedoseienkov S.H.** Geo- and hydro-acoustic complex as study of interconnection between processes in waters and bottom sediments. *Геодинаміка*. 2016. № 2 (21). С. 101-108. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі, систематизація та інтерпретація обробки гідрогеоакустичної інформації).

10. **Федосеєнков С.Г.** Методика дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Modern Science – Moderní Věda*. 2016. №3. С. 179-186. (Особистий внесок – постановка задачі, аналіз експериментальних досліджень та їх обробка).

#### **Патент:**

Гідролокатор бокового огляду: пат. 111541 Україна. № а201500106; заявл. 06.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9/2016.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру або матеріали і тези конференцій:**

11. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель О.І. Аспекти технології автоматизованої дистанційної профільної грунтової зйомки морського дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2011. № 8. С. 63–68.

12. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шличек Л.І., Шундель О.І., Неверова С.І. Спектральний метод оцінки параметрів донних відкладень: коефіцієнтів відбиття і поглинання. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2011. № 8. С. 69-76.

13. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И.

Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акваторий. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2012. № 9. С. 97-102.

14. Гончар А.И., Неверова С.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Энергетические характеристики параметрического профилографа донных осадочных структур. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2012. № 9. С. 103-107.

15. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Спектральные методы послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2013. № 10. С. 68-79.

16. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Реконструкция характеристик упругого дна по коэффициенту отражения. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2013. № 10. С. 80-79.

17. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.** Технология дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 32-37.

18. Гончар А.И., Клочан Ю.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обработка и визуализация информации гидроакустического модуля. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 38-43.

19. Гончар А.И., Мартыновская Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Оценка типов донного грунта по отраженным сигналам однолучевого эхолота. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*:

зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 44-51.

20. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Прогнозирование цифровой модели рельефа по модельным данным гидрогеоакустических средств. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 9-16.

### *Матеріали та тези конференцій*

21. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Шундель А.И., **Федосеенков С.Г.** Построение планшета обследованных акваторий по данным панорамного акустического комплекса (ПАК). *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды X Всероссийской конф. ГА – 2010. 25-27 мая 2010 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2010. С. 78-80.

22. Гончар А.И., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Вероятностная оценка послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды XI Всероссийской конф. ГА-2012. 22–24 мая 2012 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2012. С. 265-268.

23. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И. Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акватории. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології*: матеріали XVII Міжнародного наук.-техн. симпозіуму, 10-15 вересня 2012 р. Алушта: Національний університет "Львівська політехніка", Державна установа «Держгідрографія», 2012.

24. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обследование прибрежных акваторий гидроакустическими средствами. *Морские берега Украины*: V Всеукраинский семинар-совещание, 10-13 сентября 2012 г. пгт. Кацивели: МГИ НАН Украины, 2012.

25. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Гидроакустический модуль мониторинга дна акваторий. *Системи контролю*

*навколишнього середовища – 2012: Міжнародний науково-технічний семінар, 24–28 вересня 2012 р. Севастополь: МГІ НАН України, 2012.*

26. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Технология автоматизированной дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна. *Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій: зб. матеріалів міжнар. наук. конф., 8-13 жовтня 2012 р. Київ, 2012. С. 29*

27. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.** Оценка погрешности построения планшетов панорамной гидроакустической съемки на мелководье. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. научн. тр. Севастополь: МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Вып. 27. С. 18-22.*

28. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Цифровое моделирование параметрического профилографа. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 65-78.*

29. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Математическое моделирование спектрального метода определения коэффициентов затухания и отражения для многослойных водонасыщенных донных отложений. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 193-204.*

30. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Геоакустические методы исследования дна. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 299-309.*

31. Гончар А.И., Гончар Ю.А., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.** Методология дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: труды XII Всероссийской конф. ГА-2014, 27-29 мая 2014 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН,*

2014. С. 483-486.

32. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шличек Л.І. Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України: тези доповідей V науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2014р.* Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. С. 217-218.

33. Гончар А.І., Нестеренко Л.В., **Федосеєнков С.Г.** Использование гидроакустических технологий для экологического мониторинга акваторий. *Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів: зб. тезисів восьмої міжнародної наук.-практ. конф. 2015 р.* Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України. 2015.

34. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шличек Л.І., Нестеренко Л.В., Клочан Ю.А. Сучасні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації як джерело нових потенційних можливостей гідроакустичних засобів. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України: тези доповідей науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2015 р.* Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2015.

## ABSTRACT

*Fedoseienkov S.H.*, Geomorphological and lithological features of bottom sediments on the basis of geoaoustic methods. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a candidate degree in geological sciences, specialty 04.00.22 - "geophysics". - State institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine".- The Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 2019.

The morphostructure of the bottom, combined with data on the structure and material composition of the sedimentary cover, allows to restore the history of relief development and paleogeography of oceanic regions.



The study of the geological environment at the present stage of the development of geological science requires a comprehensive approach, which includes integrated techniques that combine geological, geophysical, lithological and geographical information systems.

Despite the intensive and effective development of the direction of joint geological and geophysical researches of geomorphological and lithological characteristics of modern sediments and a rather high level of development, there is a lack of their development in Ukraine in the last decade.

Hydrolocation systems are one of the most effective means of remote sensing of the geomorphology of the waters and the remote determination of lithological types of surface layers of bottom sediments.

In the Scientific and Technical Center of Panoramic Acoustic Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine (now - State Institution "Scientific Hydrophysical Center of NAS of Ukraine") an automated module-block information and measuring geoacoustic complex was created.

The presented geoacoustic complex with binding to coordinates and time provides:

- a detailed study of the relief of the bottom of the water area (by area) using a side view sonar with frequencies from 29 kHz to 470 kHz at depths up to 500 m;
- stratification of layers of bottom sediments by means of a hydroacoustic profilograph with frequencies from 3 kHz to 29 kHz at depths up to 800 m;
- inspection of the bottom and found objects with an underwater camera.

To obtain the geoacoustic parameters of the seafloor and river bottom, a mathematical apparatus and software for processing information of the hydrogeoacoustic complex were developed. The developed technique of remote profile geoacoustic survey of the bottom provides information about continuous profiles of layers of bottom sediments, and on the basis of the analysis of acoustic trails - relative to the geoacoustic properties of layers of bottom sediments.

A technique has been developed to state that one of the first solved problems in the processing of profilograms was the elimination of multiple waves, which could be misinterpreted as primary.

By calculating in turn the parameters of the first layer of bottom sediments, it is possible to carry out similar processing of information for the second, third, etc. layers. That is, by processing the reflected hydroacoustic signals, such geoacoustic parameters of bottom sediments as density, velocity of propagation of elastic oscillations (speed of sound), reflection coefficients, absorption of acoustic signals in sediments, bottom reverberation are determined.

In order to test the developed methodology, during the initial field tests, the registration and analysis of the hydroacoustic profilograph signals from pre-known types of bottom sediments. When performing field studies, we received reflected signals from different types of sediments. The change in the shape of the envelope reflected signals with respect to the probing signals is caused by the interference of different types of waves involved in the formation of the reflected signal.

The spectra of the reflected signals were constructed and a reference table of correlation dependencies of geoacoustic parameters of the bottom sediments on the spectrum characteristic was created, which made it possible to solve the inverse problems - to determine the lithological types of bottom sediments by the reflected signal.

Marine pilot studies were conducted on the Black Sea in the 75th voyage of the research vessel "Professor Vodyanitsky". The purpose of the conducted hydroacoustic studies is hydroacoustic profiling of the surface bottom sediments, determination of their geoacoustic parameters, stratification and ordering of the results of determination of lithological types of bottom sediments by means of methods of remote geoacoustic survey and sampling of sediments.

The geoacoustic parameters of the surface layers of the bottom sediments were obtained by processing the received signals of the hydroacoustic profilograph by the developed method. Further, stratification of sediments was performed using statistical algorithms. Thus, the geoacoustic survey made it possible to survey the terrain of the studied

polygons and to provide information on the types of sediments and their geoacoustic parameters.

Similar river experimental studies were conducted by joint efforts of specialists of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine and the Scientific and Technical Center for Panoramic Acoustic Studies of the NAS of Ukraine. This work combines geophysical and geochemical methods of exploration of the Dnieper River, contact and remote survey of the top layer of bottom sediments. In this case, contact shooting provided both an analysis of the distribution and deposition of heavy metals in the sediments, and the ordering and confirmation of the results of remote shooting.

A system of observations of heavy metals inflow into the sedimentary streams in the Dnieper River basin was introduced and regularities were deposited in the upper layer of sediments. The project has created a geo-ecological landfill to study the interaction of bottom topography, water column and top layers of bottom sediments.

One of the main tasks of the research conducted at the experimental landfill within the area of the water area adjacent to the territory of the State Hydrophysical Center of the NAS of Ukraine was to determine seasonal changes in the distribution of lithological types of the upper layer of bottom sediments.

The developed geoacoustic complex ensured optimal performance of the complex polygon survey, during which geoacoustic surveying of the bottom and sampling of sediments is carried out. According to the data of hydroacoustic profiling, the geoacoustic parameters of the surface sediments of the selected polygon and Surface sediments are classified as inhomogeneous layers with percentages of the combination of several lithological classes.

The results of our own research on the geomorphological and lithological features of particular areas of the Black Sea, separate sections of the Dnieper River, the Bystre mouth, the Ochakivsky mouth and the Solomon arm of the Danube River are presented.

Geomorphological and lithological features of some Black Sea regions according to geoacoustic surveys. When performing marine experimental studies of the northeastern Black Sea regions, profilograms were obtained, which were dominated by homogeneous

longitudinal reflections, which indicated synchronous changes in sedimentation conditions within large areas. Acoustically transparent strata indicated their petrophysical homogeneity. This is typical of large deep-water areas, where sedimentation is weakly dependent on physico-geographical and hydrodynamic conditions and is implemented in a stable environment with the integrated influence of the aquatic environment, which contributes to the accumulation of continuous sedimentary sections. This was also confirmed by lithological analysis of sediment samples. According to the geoacoustic survey, a lithological classification of the top layer of bottom sediments was obtained.

The surface of the bottom of the first test site, 7 km in size, 25 km in general, was flat and had a sloping slope towards the deep water basin. Depth ranged from 60 m to 120 m.

The relief of the second landfill, measuring 7 km 16 km within the structure of Pallas, was characterized by a complex morphostructure, distinguished by underwater ridges and ledges. The ledges divide the slope into degrees with different angles of inclination of its surface. The largest number of ledges is recorded in the western part of the slope. This zone is characterized by the manifestation of landslides and collapse processes due to the high gradients of the slope of the slope surface. Hollow ledges and surfaces, developed on the indigenous sediments, are mostly covered by modern and Quaternary sediments, namely marine silt with the inclusion of gravel and sandy material, pelitic silt containing turtle.

Geomorphological and lithological features of particular areas of the Dnieper River according to geoacoustic surveys. Bottom sediments of the Dnieper River are an informative indicator of changes in the natural state of the river's hydro-ecosystem. A comprehensive study of the Dnieper River waters within Zaporizhzhya has made it possible to determine that the particle size distribution of bottom sediments is mainly determined by geomorphological heterogeneity and differences in bottom relief.

The use of a hydroacoustic profilograph allowed to obtain profiles of the bottom of the surveyed polygon with high resolution up to 30 cm vertically. At the same time, the parameters of the equipment made it possible to carry out qualitative probing of the cover of the sediment layer to the bedrock represented by the granites of the Ukrainian Shield.

The processing of the obtained profilograms with the help of the developed algorithms and software allowed to obtain the densities, capacities and lithological sections of the layers of the bottom sediments of the surveyed polygon. Since sedimentation within the Dnieper downstream is controlled by hydrologic and geologic-geomorphological factors, in areas with more even relief, to which the upper part of the polygon with a depth of 8 m - 10 m belongs, granulometric monotonous sediments are distributed.

Analysis of the distribution of granulometric fractions of sedimentary material at the bottom gives a fairly complete idea of the localization and variability of sediments within this range, as well as the nature of sediment accumulation.

For this purpose schemes of distribution of size fractions were drawn up. When comparing the distribution patterns of granulometric fractions of sedimentary material in the surface layer, conclusions can be drawn that allow us to characterize some features of sediment accumulation in the lower reaches of the Dnieper. The sand material is concentrated mainly along the shoreline and in equal parts of the bottom due to the removal of smaller fractions, which indicates the activity of wave processes in the central, deeper parts of the range, as well as in semi-enclosed bays, usually the material of siltstone is concentrated. The presence of braids, the features of the bottom relief and the configuration of the shoreline complicate the picture of the differentiation of sedimentary material in detail, but do not change its overall character.

The analysis of sediments sampled by a small soil tube and a dredger provided control of the remote methods and the addition of models created by qualitative data.

The close relationship between granulometric composition, geoacoustic parameters and specific density allows us to use reflection coefficients or density as an indicator of changes in lithology of bottom sediments as a whole, and purposefully monitor the modern river sedimentogenesis process.

Data on the average density and changes in the concentration of silt in the upper layer of bottom sediments as a result of seasonal field studies of the landfill within the Dnipro River watershed indicate its siltation, which in turn leads to the accumulation of pollutants in the pelitic fraction.

Geomorphological and lithological features of certain areas of the Bystre mouth, Ochakiv mouth and Solomon arm of the Danube River according to geoacoustic data

Remote surveys of the Danube have shown that its particle size distribution is heterogeneous and naturally changes from silt to sand. According to the hydroacoustic study, sand was the predominant fraction in the bottom sediments of the Danube River waters (an average of 56.3%). The average concentration of silt was approximately 32.9%. Clay is the least represented fraction in the particle size distribution of bottom sediments (an average of 10.9%). A comparison of the particle size distribution of bottom sediments over the two years of the study (2018-2019) shows its stability in almost the entire study area (bottom sediments of the Bystre river are marked by an increase in 2019 sand particles and a decrease in silt).

Based on the basic patterns of sedimentation, which are caused by hydrodynamic factors and, most likely, currents, as well as taking into account the features of the bottom relief, it is possible to distinguish zones of final transport of sedimentary rocks of two types: stagnation zones with passive hydrodynamic structures and zones where the energy of the stream is reduced as a result of an obstruction, which results in the loss of suspended material. These areas are most favorable for the accumulation of sedimentary material such as silt. Thus, the thesis generalizes the theoretical generalization and proposes a new solution to the problem of estimation of geomorphological and lithological features of the sea and river bottom by determining its geoacoustic parameters. The results of the study allow us to establish patterns of sedimentation of certain lithological classes of sediments in the form of regression relationships between geoacoustic parameters of sediments, bottom relief, depth and samples of sediments.

On the basis of complex researches, detailed maps for the distribution of lithological types of bottom sediments of separate waters of the Dnieper River were drawn up for the first time, taking into account the materials of spot sampling of sediments and the results of processing information of the geoacoustic complex, which allowed to create a holistic picture of the interaction between anthropogenic and natural anthropogenic interactions. . Geomorphological and lithological features have been clarified and data on the Black Sea

bottom relief have been added. The example of polygons within the Dnipro water area shows the existence of a close relationship between the bottom relief and the accumulation of certain lithological types of the surface layer of sediments, the areas of the bottom, the sedimentation processes on which are characterized by the intensity of hydrodynamic phenomena. According to hydroacoustic data, geoacoustic parameters were studied and the sediments of the Dnipro River, northwestern Black Sea waters, the waters of the Bystre mouth, the Ochakiv mouth and the Solomon arm of the Danube River were classified. The information received was transmitted to the oceanographic database. Further spatial analysis of the obtained database can be used for four-dimensional mapping of the bottom and surface layers of bottom sediments with certain lithological and morphological characteristics, calculating their volumes, sedimentation rate and content of various components for predicting minerals, ecological resources .

**Key words:** bottom geomorphology, bottom sediments, hydroacoustic profilograph, echo-sounder, geoacoustic parameters of bottom sediments, lithological features, morphological obliquities.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	26
ВСТУП.....	27
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ І ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
1.1 Аналіз сучасного стану вивчення геоморфологічних та літологічних особливостей морського та річкового дна.....	34
1.2 Порівняльний аналіз існуючих методів і систем дистанційного дослідження морських та річкових донних відкладів.....	36
1.3 Геоморфологічні та літологічні характеристики дна, фізико- механічні та акустичні властивості донних відкладів.....	40
1.3.1 Геоморфологічні характеристики дна.....	40
1.3.2 Літологічні характеристики дна.....	43
1.3.3 Фізико-механічні властивості донних відкладів.....	49
1.3.4 Геоакустичні властивості дна.....	52
Висновки до розділу 1 .....	59
РОЗДІЛ 2 ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	64
2.1 Гідрогеоакустичний комплекс як засіб дослідження рельєфу дна та донних відкладів акваторій.....	64
2.2 Методика дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна....	65
2.2.1 Проблема кратних хвиль та шумів. Визначення фактичних границь профілограми.....	66
2.2.2 Коефіцієнт відбиття, щільність, швидкість звуку у шарі донних відкладів.....	72
2.2.3 Коефіцієнт загасання акустичної енергії в шарі.....	73
2.3 Апробація методики дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна.....	78
Висновки до розділу 2 .....	80



РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ДНА.....	86
3.1 Визначення геоакустичних параметрів морського дна.....	86
3.2 Визначення геоакустичних параметрів річкового дна.....	94
3.3 Геологічні, літологічні, мінералогічні та геохімічні методи дослідження.....	103
Висновки до розділу 3 .....	111
РОЗДІЛ 4 ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ ТА ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ДНА ЗА ДАНИМИ ГІДРОАКУСТИЧНОЇ ЗЙОМКИ.....	115
4.1 Геоморфологічні та літологічні особливості північно-східних районів Чорного моря.....	116
4.2 Геоморфологічні та літологічні особливості нижньої течії р. Дніпро .....	124
4.3 Геоморфологічні та літологічні особливості акваторії Канівського водосховища річки Дніпро.....	129
4.4 Геоморфологічні та літологічні особливості північно-західної частини Чорного моря.....	135
4.5 Геоморфологічні та літологічні особливості акваторій гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава річки Дунай....	139
Висновки до розділу 4 .....	148
ВИСНОВКИ.....	151
ДОДАТОК А Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Дніпро-2018».....	155
ДОДАТОК Б Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Чорне море-2018».....	158
ДОДАТОК В Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Дунай-2018».....	162
ДОДАТОК Г Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	165

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$R$  – коефіцієнт відбиття;

$\rho_i$  – щільність  $i$ -го середовища;

$c_i$  – швидкість звуку в  $i$ -му середовищі;

$z_i$  – імпеданс  $i$ -го середовища;

$\beta$  – коефіцієнт загасання;

$S$  – солоність води в проміле;

$T$  – температура води за Цельсієм;

$f$  – частота сигналу;

$K$  – кореляційний інтеграл двох сигналів;

$\rho_i$  – щільність кожної  $i$ -ої компоненти донних відкладів;

$k_i$  – стисливість  $i$ -ої компоненти;

$n_i = v_i/v$  – відносний об'єм  $i$ -ої компоненти донних відкладів;

$v_i$  – об'єм  $i$ -ої компоненти;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  – модулі об'ємної пружності компонент, що складають донний осад;

$E$  – модуль Юнга для твердих частинок скелету;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона для твердих частинок скелету;

$\rho_{(i-1)}c_{(i-1)}$  – акустична жорсткість  $(i-1)$ -го шару;

$A_0$  – максимальна амплітуда сигналу;

$\Delta\omega$  – девіація частоти;

$\tau$  – тривалість імпульсу;

$M_n$  –  $n$ -й момент спектру;

$\delta^2$  – другий момент, він же – дисперсія спектру;

ГБО – гідролокатор бокового огляду;

ЕВБ – експериментально-вимірювальна база;

НДС – науково-дослідне судно.

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Одним з найбільш перспективних напрямків дистанційного вивчення геоморфологічних та літологічних особливостей дна є розвиток гідроакустичних методів. Останнім, за рахунок використання більш високочастотного діапазону, притаманна потенційно вища розрізняльність верхнього шару донних відкладів, ніж низькочастотних сейсмоакустичних.

Дослідження розподілу різноманітних літологічних типів сучасних морських (річкових) донних відкладів, що мають певні геоакустичні параметри, дає можливість охарактеризувати процеси осадконакопичення на досліджуваній акваторії.

Детальна інформація про рельєф дна і його морфометричні характеристики представляють суттєвий інтерес як для практичних цілей (навігація, гідротехнічне будівництво, видобуток корисних копалин), так і для наукових досліджень в області океанології, морської геології і геофізики.

Розроблений гідроакустичний комплекс у складі гідролокатору бокового огляду (інтерферометру), профілографу та ехолоту здатен з високою продуктивністю та деталізацією вирішувати обидві задачі, а саме отримувати геоакустичні параметри донних відкладів та досліджувати геоморфологічні особливості дна.

Не менш важливою і актуальною є низка задач стосовно систематизації та зберігання великих масивів отриманих даних гідроакустичних спостережень і їх представлення в зручному для користувача вигляді.

Отже, робота присвячена розв'язанню цих питань, а саме: розробці апаратного комплексу та методики обробки гідроакустичної інформації з метою отримання геоакустичних параметрів донних відкладів морського та річкового дна, вивченню їх геоморфологічних та літологічних особливостей на прикладі окремих річкових і морських акваторій України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, результати яких висвітлені у дисертаційній роботі, є логічним продовженням робіт,

виконаних автором згідно планових та договірних науково-дослідних робіт: «Створення технології автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна» 2010-2012 рр. (№ДР 0110U003681), «Розвиток методів автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна» 2013-2015 рр. (№ДР 0113U004057), «Розвиток методів гідроакустичних досліджень поверхневих шарів дна, розробка та удосконалення корабельних систем ВМФ України, а також стаціонарних та мобільних систем виявлення несанкціонованих підводних об'єктів» 2013-2015 рр. (№ДР 0114U003842), «Комплексні гідрогеоакустичні дослідження окремих акваторій та ділянок дна експериментально-вимірювальної бази Науково-технічного центру панорамних акустичних систем НАН України» 2015 р. та мають безпосередній зв'язок з іншими виробничими та науково-дослідними роботами, що виконуються ДУ «Гідрофізичний центр НАН України».

**Мета і завдання дослідження** – оцінка геоморфологічних та літологічних особливостей морського та річкового дна шляхом визначення його геоакустичних параметрів.

**Основні завдання роботи:**

1. Узагальнення існуючих на сьогоднішній день досліджень щодо вивчення геоморфології дна акваторій та поверхневих шарів донних відкладів геолого-геофізичними методами.

2. Розроблення методики визначення геоакустичних параметрів поверхневих шарів донних відкладів та виділення їх літологічних типів за допомогою обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу.

3. Перевірка розробленої методики при натурних дослідженнях геоморфології дна та поверхневих шарів донних відкладів Чорного моря та акваторій р. Дніпро шляхом порівняння отриманих результатів з результатами пробовідбору.

4. Оцінка геоморфологічних та літологічних особливостей окремих районів Чорного моря, р. Дніпро та р. Дунай за розробленою методикою.

*Об'єкт дослідження* – рельєф дна та сучасні донні відклади.

*Предмет дослідження* – геоморфологія дна, умови накопичення донних відкладів.

**Методи дослідження.** Для забезпечення достовірності наукових результатів і висновків використано такі методи:

- галсова та площадна зйомка дна, побудова профілів рельєфу і батиметричних карт;
- відбір проб осадових порід дна акваторій прямоточними трубками;
- спостереження за допомогою зйомки підводною відеокамерою в реальному часі.

Для обробки матеріалу використовувалися:

- геоморфологічний аналіз;
- лінеаментний аналіз - встановлення закономірностей просторової орієнтації різномасштабних лінійних форм рельєфу і геологічних структур дна.

**Наукова новизна отриманих результатів.** 1. Розроблено комплекс сучасних методів обробки геоакустичної інформації для визначення характеристик поверхневих шарів донних відкладів та виділення їх літологічних типів. Перевірено ефективність роботи створеної методики дистанційної профільної геоакустичної зйомки морського (річкового) дна в натурних умовах шляхом порівняння результатів обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу і механічного пробовідбору.

2. На основі виконаних комплексних досліджень складено детальні карти розповсюдження літологічних типів донних відкладів окремих ділянок Чорного моря та р. Дніпро з урахуванням матеріалів точкових відборів зразків донних відкладів та результатів обробки інформації геоакустичного комплексу.

3. Уточнено закономірності розповсюдження мулів ділянок р. Дніпро в районі м. Запоріжжя та обґрунтовано фактори впливу на інтенсивність процесів самоочищення акваторій у межах індустріальних осередків та у зонах активного техногенного навантаження.

4. На прикладі полігонів в межах окремих акваторій Чорного моря, р. Дніпро та р. Дунай доведено існування тісного взаємозв'язку між рельєфом дна та накопиченням певних літологічних типів поверхневого шару донних відкладів, виявлено характерні ділянки дна, де відсутні активні гідродинамічні процеси і спостерігається підвищення вмісту складової алеврито-пелітової розмірності.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дослідження дозволяють встановити закономірності осадконакопичення певних літологічних класів донних відкладів у вигляді регресійних зв'язків між геоакустичними параметрами донних відкладів, рельєфом дна, глибиною та пробами донних відкладів. Подальший просторовий аналіз отриманої бази даних може бути використаний для чотиривимірного картування дна та поверхневих шарів донних відкладів акваторій з певними літологічними та морфологічними характеристиками, обчислення їх об'ємів, швидкості осадконакопичення та вмісту різноманітних компонент для прогнозування корисних копалин, екологічного моніторингу, природоохоронних заходів та ін.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем самостійно проведено всі етапи дисертаційного дослідження, зокрема збір та аналіз інформації з періодичних видань та фондових матеріалів, здійснено розробку математичного апарату та програмного забезпечення з обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу.

Під керівництвом дисертанта виконано апробацію методики використання апаратно-програмного гідрогеоакустичного комплексу для досліджень дна акваторій і донних відкладів при виконанні науково-дослідних робіт за такими цільовими комплексними програмами наукових досліджень НАН України як «Вивчення стану і перспектив розвитку мінерально-сировинної бази України» та «Комплексний моніторинг, оцінка та прогнозування динаміки стану морського середовища та ресурсної бази Азово-Чорноморського басейну в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін», де підтверджена доцільність її

використання як інструмента дослідження геології моря.

Усі теоретичні і практичні результати, висновки та наукова новизна, які викладені в дисертаційній роботі, отримано здобувачем самостійно. Особистий внесок здобувача у наукові праці, зазначено у списку опублікованих за темою дисертації робіт.

Особистий внесок автора в основні роботи, виконані в співавторстві, визначається наступним чином. Колективна монографія [Под ред. А.Ю. Митропольского, 2013] - участь у натурних випробуваннях, збір та аналіз матеріалів, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації. Стаття [Гончар А.И. и др., 2011] - участь у постановці задачі, інтерпретація результатів аналізу інформації побудованого планшета на прикладі сполучення із супутниковою картою і прив'язкою до географічних координат, під час моніторингу акваторій. Стаття [Гончар А.И. и др., 2013] - обчислення математичної моделі профілограми, участь у розробці методів усунення кратних хвиль при обробці інформації профілограм. Стаття [Гончар А.И. и др., 2013] - розробка та аналіз системи комп'ютерного тривимірного моделювання геофізичних полів геологічних структур, математичне моделювання геологічного середовища, наближеного до реального. Стаття [Митропольський О.Ю. та ін., 2015] – участь у проведенні експериментальних досліджень, обробка гідрогеоакустичної інформації, обговорення висновків. Стаття [Митропольський О.Ю. та ін., 2016] – участь у проведенні експериментальних досліджень, обробка гідрогеоакустичної інформації. Стаття [Гончар А.І., 2017] - участь у постановці задачі, проведення та обробка нових експериментальних досліджень, побудова, розрахунок та аналіз вітчизняних сучасних комп'ютерних методів обробки і візуалізації гідроакустичної інформації, встановлення закономірностей поширення певних літологічних типів донних відкладів у обстеженому районі р. Дніпро. Стаття [Митропольський О.Ю. та ін., 2017] - участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації донних відкладів р. Дніпро у межах м. Запоріжжя, обробка результатів автоматизованої профільної ґрунтової зйомки дна з визначенням фізико-механічних

параметрів верхнього шару донних відкладів, створення 3d полігону даних, який об'єднує інформацію щодо глибини акваторії, розподілу шарів донних відкладів, географічних координат точок досліджень в єдине ціле. Стаття [Honchar A.I., 2016] - збір та аналіз матеріалів, систематизація та інтерпретація обробки гідрогеоакустичної інформації. Стаття [2016] - постановка задачі, аналіз експериментальних досліджень та їх обробка.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на вітчизняних і міжнародних наукових нарадах і конференціях, зокрема: XI Міжнародна конференція «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики ГА-2012» (Санкт-Петербурзький науковий центр РАН, м. Санкт-Петербург, 22-24 травня 2012 р.); Міжнародний науково-технічний семінар «Системи контролю оточуючого середовища - 2012» (МГІ НАН України, м. Севастополь, 24-28 вересня 2012 р.); V Всеукраїнський семінар-нарада «Морські берега України» (МГІ НАН України, смт. Кацивелі (АР Крим), 10-13 вересня 2012 р.); XVII Міжнародний науково-технічний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS - технології» (м. Алушта, 10-15 вересня 2012 р.); Міжнародна конференція «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та сумісних територій» (м. Київ, 2012 р.); Міжнародна наукова конференція «Інтегровані системи моніторингу Чорного та Азовських морів» (МГІ НАН України, м. Севастополь, 24-27 вересня 2013 р.); XII Міжнародна конференція «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики ГА-2014» (Санкт-Петербурзький науковий центр РАН, м. Санкт-Петербург, 27-29 травня 2014 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (Інститут проблем природокористування та екології НАН України м. Дніпропетровськ, 06-09 жовтня 2015 р.); V науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України» (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки



ЗСУ, м. Київ, 09-12 грудня 2014 р.); VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України» (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗСУ, м. Київ, 09-12 грудня 2015 р.).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 174 сторінки (6,59 а.а), з них основного тексту 140 сторінок (5,29 д.а). Робота ілюстрована 16 таблицями та 59 рисунками. Список використаних джерел містить 89 найменувань.

**Подяка.** Я щиро вдячний першому науковому керівнику член-кореспонденту НАН України, доктору технічних наук, с.н.с. Гончару Анатолію Івановичу за постійну всебічну підтримку, допомогу та поради. Особлива вдячність науковому керівнику член-кореспонденту НАН України, доктору географічних наук, професору Щипцову Олександровичу за всебічне сприяння та підтримку та надання можливості збору фактичного матеріалу для досліджень. Моя подяка також академіку-секретарю Відділення наук про Землю НАН України, академіку НАН України, доктору геологічних наук, професору, директору Інституту геології, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України Пономаренку Олександровичу за допомогу та поради. Також висловлюю щире вдячність член-кореспонденту НАН України, доктору геологічних наук, професору, раднику при дирекції Інституту геологічних наук України Митропольському Олексію Юрійовичу за підтримку, цінні поради та багаторазові корисні обговорення. Висловлюю також подяку академіку НАН України, доктору геолого-мінералогічних наук, професору, раднику при дирекції ДНУ «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України» Шнюкову Євгену Федоровичу за плідну співпрацю

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ І ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

При дослідженні акваторій найважливішими завданнями є одержання інформації про глибини та рельєф дна. Підводний рельєф впливає на динаміку водної товщі та розвиток життя в акваторії. Особливо важливим є визначення рельєфу дна акваторії як характеристики його геологічної будови. Разом з даними щодо структури геофізичних полів та речовинного складу порід фундаменту вона входить в основу уявлень про тектоніку дна [1].

Морфоструктура дна в поєднанні з даними про будову та речовинний склад осадового чохла дозволяє відновлювати історію розвитку рельєфу та палеогеографію океанічних областей. Дослідження глибин та рельєфу дна, крім самостійного наукового значення, мають значну практичну цінність з цілого ряду аспектів. Останнє десятиріччя показало виключно швидку еволюцію наших знань щодо процесів зональності та форми рельєфу глибоководних частин океану. З'явилися нові можливості більш досконалого дослідження дна океану. Нове розуміння особливостей ложа океану було досягнуто в основному завдяки високорозрізняльному картуванню шляхом використання багатопроменевого батиметричного обладнання, гідролокаторів бокового огляду, багатоканального сейсмопрофілювання, глибоководного буріння та прямих і непрямих спостережень й вимірювань із занурювальних апаратів.

### **1.1 Аналіз сучасного стану вивчення геоморфологічних та літологічних особливостей морського та річкового дна**

У 60-80 роках ХХ ст. займалися розвитком морської геоморфологічної картографії такі вчені, як О.В. Живаго, П.Н. Затонський, В.Ф. Канаєв, Г.Б. Удінцев. У наш час геоморфологічний аналіз більшою мірою базується на дослідженні

морфології океанічного дна, що є найбільш оптимальним для деталізації відомостей щодо рельєфу, чіткого окреслення меж геоморфологічних елементів, визначення взаємозв'язку рельєфу і розподілу донних осадків. Особливо перспективною для цих робіт є методика виділення та аналізу відмінних ліній [2].

У 70-90-х роках ХХ ст. проводилися спільні геолого-геофізичні експедиційні дослідження Світового океану, що продемонстрували доцільність комплексного, але водночас спеціалізованого підходу вивчення геоморфологічних та літологічних особливостей дна.

Великий обсяг досліджень з літолого-геохімічного картування шельфу Чорного та Азовського морів було виконано співробітниками ІГН АН УРСР (Є.Ф. Шнюков, О.В. Григор'єв, В.П. Усенко). Значний вклад у вивчення літологічного складу донних відкладів, петрографії і мінералогії, розподілу забруднень р. Дніпро, Дніпро-Бузького лиману, Чорного та Азовських морів внесли такі особистості як П.Ф. Гожик, Ю.І. Іноземцева, А.П. Лісичин, О.Ю. Митропольський, Е.І. Наседкін.

Величезний вклад у вивчення фізико-механічних властивостей донних відкладів дна Світового океану зробив чл.-кор. НАН України В.О. Ємельянов. У монографічній роботі «Физико-механические свойства донных осадков Черного моря» [3], він у співавторстві з А.Є. Бабинцем і О.Ю. Митропольським узагальнює матеріали інженерно-геологічних досліджень. На базі великого фактичного матеріалу з фізико-механічних властивостей, складу твердої фази і порових розчинів донних осадків шельфу, континентального схилу та глибоководної западини Чорного моря висвітлюються закономірності формування фізико-механічних властивостей різних типів осадків, кореляційна залежність між складом і властивостями донних відкладів, побудовано схеми розподілу їх фізичних властивостей. Наведено дані про склад і фізико-механічні властивості осадків та осадових порід, вперше викритих глибокими свердловинами під час спільної американсько-радянської експедиції на буровому судні «Гломар Челленджер» (1975). Розглянуто методи дослідження фізико-механічних властивостей донних осадків, зроблено рекомендації для подальшого їх удосконалення та застосування [4]. Протягом багатьох років наукова діяльність

Ємельянова В.О. спрямована на вивчення широкого кола питань морської геології. Особливу увагу він приділяє вивченню закономірностей поширення донних відкладів океанів і морів та формування їх різноманітних властивостей.

За участю Ємельянова В.О. було уточнено уяву про закономірності формування та поширення різноманітних літогенетичних типів донних відкладів у Чорному морі, окремих районах Індійського та Тихого океанів та у Гвінейському секторі Атлантичного океану. Вперше ним побудовано картосхеми розподілу верхнього шару донних відкладів Чорного моря та Гвінейського сектора Атлантичного океану за їх водно-фізичними та фізико-механічними властивостями [5], на чому свого часу акцентував засновник наукової геологічної школи у галузі геології океанів і морів чл.-кор. АН УРСР А.Є. Бабінець.

Вивчення геологічного середовища на сучасному етапі розвитку геологічної науки потребує комплексного підходу, що включає в себе інтегровані методики, які поєднують в собі геологічні, геофізичні й літологічні методи та географічні інформаційні системи (ГІС).

Таким чином, незважаючи на інтенсивний та результативний розвиток напряму спільних геолого-геофізичних досліджень геоморфологічних та літологічних особливостей дна і досить високий рівень напрацювань, спостерігається недостатність їх розвитку в Україні останнім десятиліттям.

## **1.2 Порівняльний аналіз існуючих методів і систем дистанційного дослідження морських та річкових донних відкладів**

Рішення задач, пов'язаних з вивченням тонкої шаруватої структури морських та річкових донних відкладів, вимагає від систем розрізнявальну здатність за дальністю десятки та одиниці сантиметрів, при цьому основний інтерес представляє вивчення товщі донних відкладів потужністю до ста метрів.

В даний час існує два методи вивчення структури дна із застосуванням гідроакустичної техніки, що базуються на використанні акустичної неоднорідності

порід донних відкладів:

1) метод відбитих хвиль (МВХ) для випадку, коли необхідно детально і точно визначити структуру дна і виміряти товщину донних відкладів;

2) метод заломлених хвиль (МЗХ), що дозволяє проникати в глибину залягання кожного шару [6].

У кожному методі використовується своя техніка.

За принципом дії апаратурою для МВХ найчастіше є спеціалізовані ехолоти, так звані профілографи. В якості випромінювачів в профілографах використовуються електродинамічні перетворювачі, іскрові розрядники, гідравлічні, поршневі та інші електромеханічні пристрої, пневмопушки і перетворювачі, засновані на використанні гідравлічного удару. Випромінюючі та приймальні антени встановлюються безпосередньо на корпусі судна або в герметичному корпусі, що буксирується на глибині до 300 м [7].

Апаратура для сейсмоакустичних досліджень МЗХ вимагає прийому сигналів в декількох точках, що знаходяться на різних відстанях від джерела. Для цього випромінюючу апаратуру розміщують на судні, на якому ведеться дослідження, а приймальну - на іншому судні, на радіогідроакустичних буюх або в спеціальній антені, що буксирується, протяжність якої може досягати кількох сотень метрів. У деяких випадках для прийому сигналів застосовують притоплені або донні станції з консервацією інформації, що надходить в запам'ятовуючі пристрої для подальшої видачі на обробку.

В даний час в якості джерел випромінювання і отримання високої розрізняльної здатності використовуються спаркери, бумери і пінджери, що представляють собою пристрої для перетворення електричної енергії в акустичну. Дані системи використовують більш високочастотний діапазон (від декількох сотень герц до декількох десятків кілогерц), характеризуються істотно меншою енергією випромінюваних сигналів (в таких системах акустичний тиск при випромінюванні становить тисячі - десятки тисяч Паскалей [8]) і, як вказувалося вище, меншою глибиною проникнення акустичних хвиль в донні відклади. Основним чинником, що

обмежує досягнення в даних системах необхідної глибини проникнення при високій розрізняльній здатності, є поглинання акустичної енергії в морських донних відкладах, яке залежить від частоти зондувальних сигналів. Збільшення глибини зондування (дальності виявлення) вимагає зниження частоти і збільшення енергії випромінюваних сигналів.

Розвиток систем акустичного профілювання спрямована на використання сигналів з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) і отримання результатів у цифровому форматі. Використання різних методів обробки та аналізу даних дають можливості класифікації дна.

В даний час за кордоном створенням систем профілювання дна займається велика кількість відомих фірм, таких як Applied Acoustics, Edge Tech, Geo-Resources, GeoAcoustics, INNOMAR Techn.GmbH, SyQwest, Inc та ін. Якщо Applied Acoustics, Geo-Resources, SIG спеціалізуються на системах профілювання, що використовують бумери і спаркери та забезпечують загальні зйомки морського дна і геологічні дослідження, де необхідно глибоке проникнення сигналів в донні відклади або поєднання проникнення і розрізняльній здатності, то Edge Tech, GeoAcoustics, SyQwest, Ixsea, Knudsen випускають системи профілювання з використанням п'єзоелектричних антен і антенних решіток, складних сигналів та параметричних режимів (INNOMAR Techn.GmbH) [9].

За даними опитування розробників, наведеними в [10], найбільшу глибину проникнення в щільні донні відклади забезпечує система профілювання із спаркером 2 mille фірми S.I.G: - 1000 м на центральній частоті 1 кГц при максимальній вихідній потужності 2 кДж; 500 м в піску з максимальною розрізняльній здатністю 20 см забезпечує система CSP 2200 фірми Applied Acoustics при максимальній вихідній потужності 2,2 кДж в частотному діапазоні 0,2 кГц - 3,0 кГц.

Максимальну розрізняльній здатність 5 см забезпечують параметричні профілографи SES-2000 (стандарт) і SES-2000 (компакт) випуску 2001-2002 рр. відповідно компанії INNOMAR Techn.GmbH при максимальній глибині проникнення в глину 50 м і 40 м, шириною променю перетворювача 3,6°, максимальної вихідної

потужності 20 кВт і 12 кВт; розрізнявальну здатність 6 см при глибині проникнення в донні відклади до 100 м при максимальній вихідній потужності 10 кВт забезпечує профілограф з ЛЧМ-сигналом і тривимірним зображенням компанії GeoAcoustics розробки 2015 року.

Розробкою і використанням геоакустичних засобів вертикального зондування в Росії займаються фахівці НДПІ «Океангеофізика», Таганрозького державного радіотехнічного університету, Інституту океанології ім. П.П. Ширшова РАН та інших науково-дослідних організацій [11].

У Кіровській філії ФГУП ЦНДІ «Морфізприлад» (м. Санкт-Петербург) розроблений для ГНІНГІ МО РФ гідрографічний профілограф ПГ-400, призначений для вирішення гідрографічних задач в акваторіях морів і внутрішніх водойм. Він поєднує високу розрізнявальну здатність за шарами з функцією класифікації типу донних відкладів. Профілограф ПГ-400 забезпечує стратифікацію осадових шарів дна з розрізнявальною здатністю до 15 см при глибині зондування донних відкладів до 100 м і глибиною місця до 400 м.

У Державній установі «Науковий гідрофізичний центр НАН України» в рамках комплексної цільової наукової програми «Мінеральні ресурси України та їх видобування» створено експериментальний зразок гідроакустичного параметричного профілографу, який забезпечує стратифікацію осадових шарів дна при глибині зондування до 100 м, автоматичне вимірювання глибини місця, виділення в розрізі донних відкладів меж шарів, безперервне простежування визначених меж за профілем, архівацію і можливість відновлення первинної інформації робочих галсів на моніторі, створення електронного планшета для відображення траєкторії руху судна-носія, в тому числі з прив'язкою до карти місцевості.

Профілограф має три робочі (різницеві) частоти на вибір 3; 5 або 10 кГц, при робочих частотах накачування 108,5 кГц і 111,5 кГц, 107,5 кГц і 112,5 кГц, 105,5 кГц і 115,5 кГц відповідно, тривалість зондуючих імпульсів 0,1 мс; 0,3 мс; 0,5 мс; 1,0 мс, електричну потужність в навантаженні не менше 1 кВт при потужності споживання не більше 150 Вт.

До складу профілографу входять: випромінююча та приймальні антени, електронний блок і ПЕОМ (ноутбук). Габаритні розміри антен: випромінюючої – 460 мм × 140 мм, приймальної - 180 мм × 70 мм, маса 70 кг і 2,5 кг відповідно. Габаритні розміри електронного блоку 580 мм × 490 мм × 250 мм, маса 20 кг. Розроблений профілограф працює у складі гідрогеоакустичного комплексу разом з гідролокаторами бокового огляду, які також здатні знімати велику кількість форм рельєфу дна та виходи корінних порід на дні.

### **1.3 Геоморфологічні та літологічні характеристики дна, фізико-механічні та акустичні властивості донних відкладів**

#### **1.3.1 Геоморфологічні характеристики дна**

Геоморфологічні умови, в яких відбувається седиментація донних відкладів, а також умови їх залягання, характеризуються значною різноманітністю через істотні відмінності будови рельєфу різних частин Світового Океану.

Батиметричні карти є основним видом представлення результатів морських геоморфологічних досліджень. Вони будуються переважно із застосуванням методів геоморфологічної інтерполяції та екстраполяції. Сутність цих методів полягає у використанні тих закономірностей в будові поверхонь дна, які виявляються за ехограмами та побудованими за ними профілями дна [12].

Батиметричні карти - це спеціальні карти підводного рельєфу, які дають зменшене та узагальнене зображення підводного рельєфу на площині. Ці карти можуть бути використані при наукових дослідженнях в галузі морської геології та геоморфології, тектоніки, динаміки водних мас, гідробіології. Батиметричні карти можуть слугувати додатковим навігаційним посібником, що дає як загальне уявлення про підводний рельєф, так і характеристику його окремих форм. На батиметричних картах, метою яких є наочне зображення рельєфу, застосовується метод ізобат. Ці карти створюються на основі матеріалів ехометричної зйомки із залученням існуючих



картографічних матеріалів у вигляді морських навігаційних та батиметричних карт. Методи та технологія складання батиметричних карт значною мірою залежать від забезпечення та характеру вихідних матеріалів, а також від масштабу карти [13].

Батиметричні карти великих масштабів складають, як правило, за матеріалами (ехограмами, профілями) детального ехолотного промірювання, при цьому також враховуються всі існуючі картографічні матеріали. Дрібномасштабні батиметричні карти для районів, забезпечених матеріалами ехолотного промірювання, складають головним чином на основі батиметричних карт більшого масштабу, хоч прийнятним є і метод складання таких карт безпосередньо за матеріалами ехолотного промірювання [14].

У наш час геоморфологічний аналіз більшою мірою базується на дослідженні морфології океанічного дна, що є найбільш оптимальним для деталізації відомостей щодо рельєфу, чіткого окреслення меж геоморфологічних елементів, визначення взаємозв'язку рельєфу і розподілу донних осадків.

Особливо перспективною для цих робіт є методика виділення та аналізу відмітних ліній, за якою проводяться картометричні побудови на основі різноманітних трансформацій навігаційних та батиметричних карт з подальшим встановленням геоморфологічних меж та виділенням морфологічно-однорідних поверхонь (МОП). «Морфологічна однорідність поверхонь, які картографуються, визначається їхньою генетичною, або (і) віковою, або (і) літологічною однорідністю, тобто тим, що кожна з них формується під дією якогось одного головного процесу в певний проміжок часу і за певних літологічних умов за участю в її утворенні другорядних (підпорядкованих головному) або наступних процесів» [2].

Межі МОП утворюють "структурний каркас" рельєфу дна, що несе в собі інформацію про тектонічні рухи, генезис сучасного рельєфу, історію розвитку та контролює як розвиток природних процесів, так і умови осадконакопичення.

За даними обробки отриманих профілів і побудови геоморфологічних карт [15], в українській частині Чорного моря виділяється наступний основний морфогенетичний тип рельєфу: полога нахилена ерозійно-аккумулятивна рівнина

зовнішнього шельфу, слабконахилена денудаційно-акумулятивна рівнина підніжжя континентального схилу. У будові алювіальної рівнини беруть участь піщано-глинисті відклади накладених терас і дельт палео-річкових систем Дунаю й Дністра.

Добре виражені в рельєфі поховані долини, що сформувалися під час останньої новоевксинської регресії. Значну роль у формуванні рельєфу зіграли ерозійні й акумулятивні процеси. У трансгресивну фазу вони постійно згладжували рельєф алювіальної рівнини, про що свідчать потужності морських відкладів [16]. Так потужності сучасних морських відкладів коливаються від 0,1 м на “вододільних” ділянках і до 3 м – 5 м у днищах долин. Всі ці долини входять до найбільш розвинених каньйонів. Ширина долин коливається від 1 км – 2 км до 5 км – 6 км.

В результаті останньої (голоценової) трансгресії відбулося остаточне формування рельєфу шельфу. Брівка шельфу є границею, що відокремлює шельф від континентального схилу й розташована на глибині 160 м.

*Нахилена ерозійно-акумулятивна рівнина континентального схилу.* Досліджена частина континентального схилу випробовує різку зміну свого простягання від субмеридіонального на північно-східне, повторюючи, загалом, вигини західного узбережжя Чорноморської западини.

У морфоструктурному відношенні схил є підводним продовженням затопленої в результаті трансгресій алювіальної рівнини, розріз якої складається з корінних порід, які глибоко залягають й перекриті континентальними й морськими осадками. Схил обумовлений моноклінальним заляганням корінних порід, а також континентальних відкладів, які перекриті морськими осадками й становить значення в  $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ . В будові континентального схилу беруть участь великі ерозійні врізи – каньйони. Вони розчленовують всю поверхню схилу від верхньої брівки до його підніжжя.

*Слабконахилена денудаційно-акумулятивна рівнина підніжжя континентального схилу.* Особливі форми рельєфу пов'язані з акумуляцією зміщених осадків у підніжжя схилу. Це своєрідні вали, бугри випирання, височини, накладені конуси виносу. У накладенні конусів виносу особливу роль зіграли процеси

трансгресивно-регресивної циклічності коливань рівня Чорного моря. Сформовані мутними потоками конуса виносу в окремих випадках являють собою грандіозні за розмірами і потужностями осадків утворення.

Найбільш чітке вираження в рельєфі границі підніжжя схилу характерно до глибин 1500 м – 1700 м, а плавний перехід від підніжжя схилу до глибоководного ложа закінчується на глибинах 2000 м – 2100 м.

Таким чином, морські (річкові) батиметричні карти відображають усереднені риси розчленованості підводного рельєфу, деталі якого частково не фіксуються, що робить неможливий аналіз геоморфологічних особливостей дна. Тому основним джерелом при детальному вивченні дна є його профілі, складені за ехолотним проміром. Тільки безперервне поповнення новими даними профілювання надасть можливість вивчення нових геоморфологічних особливостей акваторій України.

### 1.3.2 Літологічні характеристики дна

*Новоевксинські відклади.* У новоевксинських відкладах можна виділити п'ять літофацій, які у певній послідовності замінюють одна одну від зовнішнього шельфу до глибоководної западини.

*Літофація пісків* виділяється тільки в північно-західній частині Дністровсько-Дунайського району зовнішнього шельфу. Піски дрібні зі значною кількістю глинистого матеріалу. У гранулометричному складі пісків фіксується великий розкид значень змісту карбонатного черепашкового матеріалу й звичайно незначна домішка алевритового матеріалу. Потужність піщаних відкладів не перевищує 0,10 м - 0,15 м [17, 18].

*Літофація черепашиників* поширена в межах усього зовнішнього шельфу на глибинах моря в діапазоні від 73 м до 140 м. Черепашники світло-сірі, рідко із зеленуватим відтінком у покрівлі, дрібні, складені цілими раковинами й детритом, кількість якого становить 90 % - 95 % обсягу породи. Як домішки присутній пісок (5 % - 10 %), алеврит (5 % - 10 %) і глинистий матеріал (5 % - 10 %). Кількість

домішок в окремих випадках збільшується: піску до 30 % - 40 %, алевриту до 25 %, пеліту до 25 %. Потужність черепашників коливається від 0,05 м до 0,3 м.

*Літофація алеврито-пелітових мулів* виділена на глибинах моря від 81 м до 162 м, заміщаючи черепашники у вузькій смузі перегину континентального шельфу. Мули сірі, дуже пластичні, з домішкою алевриту (до 25 %). Детритовий матеріал в мулах присутній у кількості 5 % - 10 %, іноді досягає 30 %. Фракція < 0,001 мулів складена гідрослюдою, хлоритом і кальцитом. Мінерали фракції складають тонкодисперсну масу з неупорядкованим чергуванням шарів. Потужність мулів не перевищує 0,5 м (звичайно 0,2 м - 0,3 м) і збільшується в напрямку від перегину шельфу до берега.

*Літофація алевритових глин*, неширокою переривчастою смугою розповсюджена у верхній частині континентального схилу, містить частину фракції менше 0,1 мм близько 95 %, при цьому зміст тонкодисперсійної пелітової фракції – до 60 %. Алеврити у вигляді пластів залягають по всій глинистій товщі, їхня потужність коливається від декількох міліметрів до 0,3 м. Потужність розрізу алевритових глин становить 0,1 м - 2,5 м. Мінералогічний склад глин не відрізняється особливою строкатістю, у складі фракції < 0,001 переважає монтморилоніт і гідрослюда в суміші із кварцом, хлоритом і кальцитом.

*Літофація глин* характеризується послідовними змінами при збільшенні глибини моря. На континентальному схилі до глибини 500 м – 1000 м поширені сірі, темно-сірі, світло-зелені глини. Їх потужність коливається від 0,1 м до 2,7 м.

На глибинах моря від 500 м – 1000 м до 1500 м – 2000 м у розрізі новоевксинських відкладів зверху залягають світло-сірі, сірі глини потужністю до 1,5 м - 2,0 м, далі йде прошарок темно-сірої, часто чорної гідротроїлітової глини потужністю від 0,1 м до 0,5 м і більше. Нижче гідротроїлітового горизонту йде знову шар сірої, світло-сірої глини потужністю до 1,0 м, у якому гідротроїліт присутній у незначній кількості. Глини містять домішки алевриту до 20 %, зустрічається домішка піску до 5 % - 10 % [17, 18].

Глибше 1500 м – 2000 м глинистий розріз новоевксинських відкладів,

ускладнюється. Характерним для цього типу розрізу є поява в розрізі шарів гідротроїліта й коричневих, сірувато-коричневих глин, які своїм забарвленням підкреслюють окисне середовище, у якому вони утворилися. Коричневі глини утворюють прошарок потужністю від 0,2 м до 1,9 м, у якому зберігаються шари світло-сірої, сірої й зеленувато-сірої глини потужністю 1 см – 2 см. Також зустрічаються прошарки дрібнозернистого піску, алевриту у кількості 10 % - 20 %.

*Нижньочорноморські відклади. Літофація сапропелів* розвинена на материковому схилі, а також “вистилає” глибоководну частину западини. Колір сапропелю темно-бурий, рідко до чорного, зеленувато-бурий, темно-бурий із зеленуватим відтінком. Рідко сапропелі містять домішки глинистого матеріалу в кількості 15 % - 30 %. Як правило, сапропель містить залишки кісток риб, рідше рибної луски, бабок. Рідко в підшві сапропелевого горизонту є вміст дрібного детриту раковин молюсків. Потужність сапропелевого шару змінюється від 0,05 м до 1 м, причому максимальні величини приурочені до верхньої частини схилу [17, 18].

При мікроскопічному вивченні в сапропелі спостерігається чергування тонких прошарків, що складаються із глинистого матеріалу, і хвилястих, мінливих за потужністю прошарків, збагачених буруватою органічною речовиною, яка представлена в основному безструктурними пластівчастими частками – залишками фітопланктону, обривками тканин водоростей, ювенільних стулок пеліціпод, пилок й спор, глобул і кристалів піриту, рідких коколитофорід, уламками рослин, кількість яких зростає на континентальному схилі аж до утворення тонких прошарків. Походження органічної речовини полігенне – за рахунок планктонів, рослинного детриту, бактеріальних залишків і хемогенезу [18].

*Літофація сапропелевих мулів* покриває плащем континентальний схил і глибоководні ділянки. Мули сапропелеві містять глинистий матеріал у кількості 20 % - 40 % та алевритовий матеріал у кількості від 7 % до 34,3 %. Пісок у сапропелевих мулах зустрічається рідко і тільки на континентальному схилі в районах каньйонів, його зміст досягає 5,9 % - 17 %. Колір сапропелевих мулів бурувато-зелений, зеленувато-сірий, бурувато-сірий. Сапропелеві мули містять

рослинні залишки (гілки, стебла, деревину), луску риб, залишки кісток риб і ракоподібних, які зустрічаються в 80 % - 90 % проб від загальної кількості вивчених зразків.

Сапропелеві мули тонкошарові, частіше неоднорідні, розвинені на схилі, як правило, у верхній частині схилу. Нижче по схилу та у глибоководній западині відзначені лише однорідні сапропелеві мули. У районі Дунайського каньйону мули текучі, текучопластичні.

Мінеральний склад сапропелевих мулів неоднорідний. У межах континентального схилу в складі фракції  $< 0,001$  домінують гідрослюда, монтморилоніт, каолініт, хлорит. У вигляді домішок присутній кальцит, кварц. Біля підніжжя схилу на перше місце в мінеральному складі фракції  $< 0,001$  виходить кальцит. У помітній кількості ще присутні гідрослюда, хлорид, ймовірно, є монтморилоніт. У межах глибоководної частини основу агрегатної маси фракції  $< 0,001$  мулів сапропелевих становить кальцит, кварц, у суміші з польовими шпатами, гідрослюдою, хлоритом.

*Сапропелеві мули* містять прошарки мулу глинистого, прошарки сапропелю, карбонатного матеріалу. Потужність прошарків від перших міліметрів до 1 см – 2 см. Прошарки карбонатного матеріалу в основному розвинені в межах глибоководної частини району, а прошарки органіки – у районах каньйонів. Потужність сапропелевих мулів коливається в широких межах – від 0,5 м до 3,1 м і більше. Як правило, підвищені потужності приурочені до верхньої частини схилу. У підніжжі схилу й у глибоководних частинах потужність становить 0,2 м - 0,5 м.

*Верхньочорноморські відклади.* У верхньочорноморських відкладах виділені п'ять літофацій, з яких мідієві мули розповсюджені тільки на зовнішньому шельфі й алевроито-пелітові фазеолінові мули – на зовнішньому шельфі, брівці схилу й на самому схилі.

*Літофація мідієвих мулів* представлена перешаруванням глинистого мулу з черепашниками переважно мідій і мулистих мідієвих черепашників. У межах материкової мілини й брівці схилу (глибини моря 81 м – 180 м) глинисті мули мають

зеленувато-сірий, бурувато-сірий колір, текучі. У половині колонок мули містять домішки сапропелю в підшві або тонкі прошарки сапропелевого мулу. Детритовий матеріал міститься в кількості від 5 % до 22 % і в його складі до 95 % *Mytilus galloprovincialis*.

Потужність мулів становить 0,15 м - 0,3 м. Вниз по континентальному схилу в мулах і черепашниках спостерігається збіднення видового складу фауністичного комплексу молюсків. Мідієві мули залягають на новоевксинських мулах і черепашниках, а перекриваються верхньочорноморськими фазеоліновими мулами.

*Літофація алеврито-пелітових фазеолінових мулів.* Фазеолінові мули розвинені на материковій мілині, брівці схилу й на самому схилі на глибинах моря від 73 м до 260 м на півночі й північно-західному між палеодолинами річок Дунаю й Дністра. Мули глинисті світло-сірі, у меншій мірі – зеленувато-сірі, сірувато-зелені, текучі, тонкошарові, з домішкою детритового матеріалу.

Зміст детритового матеріалу змінюється в широких межах від 1,1 % до 43,0 %, піску – у кількості від 1,1 % до 12,5 %, алевриту – у кількості від 7,4 % до 30,0 %. Середній вміст пелітового матеріалу становить порядку 60 %. В мулах на схилі зменшується кількість детритового матеріалу й збільшується кількість пелітового матеріалу [19].

Відклади новочорноморського віку в межах континентального схилу й глибоководної западини істотно відрізняються наявністю великої кількості кістяків коколітофорід і органічного вуглецю і тут виділяються наступні літофації.

*Літофація коколітових мулів.* Коколітові мули практично повсюдно розвинені на континентальному схилі й у глибоководній западині. Коколітові мули сірі, сірувато-зелені. Зміст пелітового матеріалу досягає до 90 %. Як домішки в мулах присутній алевритовий матеріал, пісок, дрібний детрит. У межах глибоководної частини фракція  $< 0,001$  складена винятково кальцитом, у незначній кількості присутні інші карбонати й кварц. Агрегатний стан фракції  $< 0,001$  тонкодисперсна суміш. У коколітових мулах відзначається присутність діатомових водоростей і органіки.

*Літофація алевритових коколітових мулів.* Розповсюдження цих мулів приурочене до верхньої частини континентального схилу. Звичайний вміст піщаного матеріалу в мулах, який зустрічається в районах, що прилягають до каньйонів, становить 2 % - 5 %, але в одиничних випадках він зростає до 7 % - 12 %. Вміст алевриту в коколітових мулах на континентальному схилі до глибин моря порядку 1200 м вище, ніж у нижніх частинах схилу й у глибоководних частинах [20]. Потужність коколітових мулів коливається від 0,05 м до 2,4 м. У цілому на схилі потужність коколітових мулів вища, ніж у глибоководній частині.

У межах континентального схилу і його підніжжя в мінеральному складі фракції  $< 0,001$  переважає кальцит, але в помітній кількості присутня глиниста складова – гідрослюда, монтморилоніт, хлорит. У вигляді домішок тут установлені каолінит, кварц. Присутній пірит. У межах глибоководної частини фракція  $< 0,001$  мулів коколітових складена винятково кальцитом, у незначній кількості присутні інші карбонати й кварц. Агрегатний стан фракції  $< 0,001$  мулів коколітових – тонкодисперсна суміш.

*Літофація пелітових мулів.* У верхній частині верхньочорноморського підгоризонту разом з коколітовими мулами в глибоководній частині розвинені світло-сірі, зеленувато-сірі глинисті мули, для яких повсюдно характерна відсутність фауни молюсків, але зустрічаються остракоди, з більшим різноманітним видовим складом в порівнянні з коколітовими мулами. Мули за складом пелітові, іноді містять домішки алевритового матеріалу 5 % - 30 %. Піщаний матеріал зустрічається в мулах рідко, його вміст не перевищує 5 % - 10 %.

У мінералогічному складі фракція  $< 0,001$  мулів складена кальцитом. У нижній частині схилу до зазначених мінералів додаються монтморилоніт, гідрослюда й хлорит. Мінеральний агрегат фракції  $< 0,001$  являє собою тонкодисперсну неупорядковану суміш.

У розподілі літофацій *верхньоплейстоцен-голоценових відкладів* від північно-західного шельфу до глибоководної западини Чорного моря відмічаються різні їхні варіації за латералю й вертикалю, які значною мірою визначаються морфоструктурою



розглянутого району. Склад відкладів, поширення й просторово-часова суперпозиція літофацій, а також розподіл потужностей осадків відображають мінливість умов седиментації й надають достатні можливості для реконструкції обстановок осадконакопичення й історії геологічного розвитку.

Використання апріорної інформації про умови утворення відкладів на дні морів (річок) дозволяє істотно підвищити надійність дистанційних оцінок фізико-механічних, геоакустичних властивостей донних відкладів.

### 1.3.3 Фізико-механічні властивості донних відкладів

Розсипчасті донні відклади можна представити як пористу масу, що складається з твердого скелету (твердих частинок), пори між якими заповнені водою чи газом. Останнє найчастіше пояснюється результатом розкладання біологічних залишків, які опинилися в товщі осаду.

Середні щільність  $\rho_{\Gamma}$  та стисливість  $k_{\Gamma}$  донних відкладів в цьому випадку дорівнюють [21]:

$$\rho_{\Gamma} = \sum_{i=1}^3 n_i \rho_i, \tag{1.1}$$

$$k_{\Gamma} = \sum_{i=1}^3 n_i k_i,$$

де  $\rho_i$  – щільність кожної  $i$ -ої компоненти донних відкладів (тверді частинки, вода, газ);

$k_i$  – стисливість  $i$ -ої компоненти;

$n_i = v_i / v$  – відносний об'єм  $i$ -ої компоненти донних відкладів;

$n_1 + n_2 + n_3 = 1$ ;

$v_i$  – об'єм  $i$ -ої компоненти.

Середня щільність донних відкладів з урахуванням цих співвідношень

визначається за допомогою формул:

$$\rho_{\Gamma} = \sum_{i=1}^3 \left[ \frac{(\rho_i v_i)}{v} \right], \quad (1.2)$$

$$\rho_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^3 m_i}{\sum_{i=1}^3 v_i}, \quad (1.3)$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -ої компоненти, що відповідає об'єму  $v_i$ .

При пружній деформації трикомпонентного середовища є справедливою рівність:

$$\Delta v = \sum_{i=1}^3 \Delta v_i, \quad (1.4)$$

де  $\Delta v_i$  – зміна об'єму  $i$ -ої компоненти.

Якщо

$$v = \sum_{i=1}^3 v_i, \quad (1.5)$$

то

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta v_i}{v} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta v_i}{\sum_{i=1}^3 v_i}. \quad (1.6)$$

Сила, що викликає загальну пружну деформацію  $Q$ , пов'язана з величиною

відносної деформації об'єму осаду наступним чином:

$$Q = \frac{\zeta \Delta v}{v}, \quad (1.7)$$

де  $\zeta$  – модуль об'ємної пружності трикомпонентного донного осаду, або

$$\frac{Q}{\zeta} = F \left\{ \frac{n_1}{\zeta_1} + \frac{n_2}{\zeta_2} + \frac{n_3}{\zeta_3} \right\}, \quad (1.8)$$

де  $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  – модулі об'ємної пружності компонент, що складають донний осад.

Стисливість  $k_\Gamma$  пов'язана з модулем об'ємної пружності наступним чином [22]:

$$k_\Gamma = \frac{1}{\zeta}. \quad (1.9)$$

Стисливість осаду істотно залежить від статичного тиску, що визначається глибиною моря  $h$ :

$$k_\Gamma = \left\{ 5,78^3 \sqrt[3]{\frac{100h \left[ \rho_2 - \rho_3 - \frac{(\rho_1 + \rho_3)n_1}{(n_1 + n_3)} \right] E^2}{(1 - \mu^2)^2}} \right\}^{-1}, \quad (1.10)$$

де  $E$  – модуль Юнга для твердих частинок скелету;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона для твердих частинок скелету.

Речовинний і гранулометричний склад разом із середніми значеннями пористості та щільності різних типів осадів наведено в табл. 1.1 [23, 24].

Табл. 1.1 зв'язує найважливіші характеристики донних відкладів: середній діаметр частинок, середню щільність та пористість з їх літологічними типами.

Таблиця 1.1

### Фізико-механічні властивості донних відкладів

Тип осадів	Середній діаметр частинок, мм	Процентний склад			Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	Середня пористість, %
		пісок	алеврит	глина		
1	2	3	4	5	6	7
Пісок:						
Крупний	0,530	100,0	—	—	2,03	38,6
Середній	0,376	99,8	0,2	—	2,01	39,7
Дрібний	0,153	88,1	6,3	7,1	1,98	43,9
Дуже дрібний	0,090	83,9	13,0	2,9	1,91	47,4
Алевритовий пісок	0,073	65,0	21,6	13,4	1,83	52,8
Пісковий алеврит	0,036	34,5	51,2	14,3	1,56	68,3
Пісково-алевритова глина	0,018	32,6	41,2	26,1	1,58	67,5
Глинистий алеврит	0,006	6,1	59,2	31,8	1,43	75,0
Алевритова глина	0,003	5,3	41,5	53,6	1,42	76,0

### 1.3.4 Геоакустичні властивості дна

Параметри ехо-сигналів, що виникають в результаті взаємодії зондуючого акустичного сигналу з дном, істотно залежать від характеру рельєфу дна, стратифікації та акустичних властивостей донних відкладів.

Частіше за інші геоакустичні властивості донних відкладів описуються такими акустичними характеристиками, як швидкість поширення пружних коливань

(швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, розсіювання на межах шарів осаду, поглинання акустичних сигналів в осаді, донна реверберація, які тісно пов'язані з типом донних відкладів і донного осаду і його фізико-механічними властивостями.

Найважливішою характеристикою типу донного відкладу є значення швидкості поздовжніх акустичних хвиль в осаді. У разі трикомпонентного середовища це значення можна визначити з виразу [23]:

$$c = \left[ 1/\rho_{\text{гр}} k_{\text{гр}} \right]^{0,5} \quad (1.11)$$

На основі вищевикладеного можна зробити висновок, що в трикомпонентній моделі донного осаду швидкість звуку в осаді може бути менше, ніж в матеріалі твердого скелету. Це пояснюється тим, що середня щільність осаду (при невеликій пористості) може змінитися в десятки разів при зміні вмісту кисню або газу в порах твердого скелету. Розглянемо наступне співвідношення [23]:

$$k_{\text{гр}} = n_1 / (\rho_1 c_1^2) + n_2 / (\rho_{21} c_2^2) + n_3 / (\rho_3 c_3^2) \quad (1.12)$$

Відомо [25], що швидкість звуку в газі  $c_3$  у багато разів менше швидкості звуку в матеріалі твердого скелету осаду, тому навіть незначна зміна вмісту в осаді газу  $n_3$ , відповідно до виразу (1.11), призводить до значної зміни стисливості і швидкості газу в осаді. Тому для донних відкладів з вмістом газу використання швидкості звуку в якості акустичної характеристики типу осаду стає не коректним. Так, якщо швидкість звуку для донних відкладів типу пісок і мул лежить в інтервалі значень 1450 м/с – 1800 м/с, то вже при вмісті газів близько 1 % швидкість звуку може зменшуватися до 100 м/с – 150 м/с.

У разі двокомпонентного середовища  $n_3$  виникає можливість виявити наступні залежності швидкості звуку від фізико-механічних характеристик пухких водонасичених донних відкладів [25]:

$$c = \left\{ \sqrt{[n_2(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1][n_2/(\rho_2 c_2^2) + 1/(\rho_1 c_1^2)]} \right\}^{-1}, \quad (1.13)$$

при цьому  $n_1 \neq n_2 = 1$ ,  $\rho_1 c_1 > \rho_2 c_2$ ,  $c_1$  та  $c_2$  - швидкості звуку відповідно в матеріалі твердого скелету і води. Аналіз виразу (1.11) дозволяє зробити висновок, що швидкість звуку в водонасичених донних відкладах приблизно обернено пропорційна пористості. Якщо пористість перевищує 10 %, то склад і властивості твердого скелету осаду незначно впливають на величину швидкості звуку. Твердий скелет в мулі й пісках найчастіше складається з мінералів і агрегатних зерен кристалічних порід з щільністю  $\rho_1 = [2,6 \dots 3,2]$  г/см<sup>3</sup> та швидкістю звуку 3000 м/с – 6000 м/с.

У межах одного типу донного відкладу (наприклад, пісків) значення швидкості звуку повинно залежати від гранулометричного складу, оскільки можна вважати, що щільність упаковки природних зерен різних розмірів буде приблизно однаковою [26].

В результатах досліджень деяких авторів [27, 28] зроблена спроба обліку при оцінці швидкості звуку в пухких донних відкладах пористості як функції щільності упаковки зерен твердого скелету.

Залежність швидкості звуку від фізико-механічних характеристик двох типів донних відкладів наведена у табл. 1.2 [24].

Частина енергії зонduючого сигналу проникає через  $i$ -ту границю в  $i$ -й шар. У разі якщо коефіцієнти поглинання акустичних сигналів в  $i$ -му та  $(i-1)$ -му шарах донного відкладу дорівнюють нулю, коефіцієнт проходження зонduючого сигналу визначається виразом:

$$W_i = 1 - V_i = \frac{2\rho_{(i-1)}c_{(i-1)}}{\rho_i c_i + \rho_{(i-1)}c_{(i-1)}}. \quad (1.15)$$

Таблиця 1.2

**Залежність швидкості звуку від фізико-механічних характеристик двох типів донних відкладів**

Вологість, %	c, м/с	$\rho_1$ , г/см <sup>3</sup>	E, кН/см <sup>2</sup>	$\mu$
Тонкозернисті піски				
34,6	1570	2,12	49,8	0,12
29,0	1570	2,22	52,1	0,13
19,6	1680	2,37	62,5	0,23
17,1	1740	2,41	65,9	0,36
15,2	1800	2,44	75,4	0,18
13,8	1800	2,46	75,1	0,23
Алеврит				
22,0	1580	2,36	57,1	0,09
14,3	1600	2,45	59,0	0,19
11,3	1700	2,55	59,7	0,28
7,0	1700	2,62	60,7	0,32
7,2	1700	2,62	59,4	0,38
5,7	1700	2,64	60,7	

Наведені вирази (1.14), (1.15) відповідають умовам горизонтальних відбиттів границь шарів, приймальної та випромінюючої антен геолокатора, розташованими приблизно в одній точці. Згідно з розрахунками [29], якщо кут нахилу границі не перевищує 10°, похибка обчислень не перевищує 5 %.

Коефіцієнти відбиття на границях пухких донних відкладів і корінних порід наведені в табл. 1.3.

При поширенні в пухких донних відкладах акустичних сигналів виникають незворотні втрати енергії, які описуються наступним рівнянням [30]:

$$B = e^{-\beta h}, \quad (1.16)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт поглинання;

$h$  – довжина шляху акустичного сигналу в донному відкладі.

На всіх частотах меншими коефіцієнтами поглинання  $\beta$  характеризуються донні відклади типу мулу (звичайно, за відсутності газонасичених). Коефіцієнт поглинання  $\beta$  для мулів в 3-7 разів менше, ніж для пісків.

Таблиця 1.3

**Коефіцієнти відбиття на границях  
пухких донних відкладів і корінних порід**

Породи	Донні відклади		
	Газомісткі мули	Піски	Галечники
Галечники	0,11–0,72	0,02–0,63	0,09–0,45
Вапняки	0,31–0,83	0,21–0,77	0,02–0,64
Сланці кристалічні	0,63–0,83	0,49–0,78	0,29–0,65
Граніти	0,63–0,81	0,49–0,77	0,29–0,60
Базальти	0,70–0,83	0,57–0,78	0,40–0,65

У геофізиці для оцінки залежності коефіцієнту поглинання від частоти зазвичай використовують вираз:

$$\beta = \beta_0 f^n, \quad (1.17)$$

де  $\beta_0$  – коефіцієнт поглинання на вихідній частоті  $f_0$ ;

$n$  – показник, який визначається орієнтовно в табл. 1.4.

Дослідження показують [30, 31], що залежність параметру  $n$  від частоти на різних ділянках частотного діапазону лежить в інтервалі 0,5 - 2,5 (табл. 1.4).

Великі значення величини  $\beta$  характерні не тільки для газонасичених донних



відкладів, але і для галечникових відкладів [30].

Таблиця 1.4

**Залежність параметру  $n$  від частоти  
на різних ділянках частотного діапазону**

Тип донних відкладів	Частотний діапазон, кГц	$n$
Пісок, мул, глина	20,0 – 38,0	1,8
Пісок, мул	4,0 – 100,0	0,5
Пісок, мул, глина	0,2 – 100,0	1,0
Мул	0,2 – 0,4	2,5
Мул	4,5 – 40,0	1,0

Поглинання в монолітних корінних породах приблизно на порядок менше, ніж в пухких водонасичених відкладах [32].

Акустичні властивості морських відкладів наведені в табл. 1.5 [24].

Сила зворотного розсіювання дна практично в значній мірі визначається типом донних відкладів дна [33]. При однакових умовах вимірювань (ідентичних кутах падіння і частоти) сила зворотного розсіювання, як правило, для донних відкладів типу крупний пісок і скелясті породи більше, ніж для мулистих донних відкладів.

Як зазначається в роботі [34], коефіцієнт розсіювання для пухких донних відкладів типу мул, пісок - мул, дрібний пісок майже не залежить від частоти акустичного сигналу в діапазоні частот 1 кГц – 14 кГц.

Однак на більш високих частотах відзначається лінійне збільшення коефіцієнта розсіювання зі збільшенням частоти. У той же час для ряду донних відкладів, наприклад, піщано-скельного, коефіцієнт розсіювання не залежить від частоти. Такі відмінності в частотних властивостях коефіцієнта розсіювання пояснюються різницею характерних величин нерівностей для цих типів донних відкладів. У тому випадку, коли характерна величина нерівностей менше довжини акустичної хвилі, спостерігається зростання коефіцієнта розсіювання з частотою.

Таблиця 1.5

**Геоакустичні властивості морських відкладів [24]**

Осад	Глибина води, м	Середній діаметр фракції, мм	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Пористість, %	Швидкість, м/с	Загасання, м <sup>-1</sup>	Частота, кГц
1	2	3	4	5	6	7	8
Пісок:							
Грубий	32	0,5704	2,060	38,0	1817	3,4	7,0
	20	0,5783	2,090	38,3	1752	53,1	100,0
	20	0,4931	2,008	39,2	1798	1,5	3,5
	19	0,2517	2,000	40,9	1630	47,3	100,0
		0,3686	2,004	39,1	1737	9,4	26,6
		0,3510	2,000	40,1	1714		
		0,3660	2,000	39,2	1740		
		0,4010	1,990	40,8	1815		
Тонкий	8	0,1708	1,967	45,6	1686	1,7	3,5
	9	0,2365	1,973	44,0	1645	9,4	25,0
	10	0,8817	1,926	46,7	1684	52,1	100,0
		0,1780	1,960	43,9	1693	9,6	26,0
		0,1770	1,990	41,0	1742		
		0,1900	1,940	46,4	1680		
		0,1870	1,930	46,5	1703		
Дуже тонкий	13	0,1015	1,933	47,0	1708	1,5	3,5
	16	0,1119	1,938	47,4	1667	55,9	100,0
		0,1210	1,950	43,3	1716		
		0,1070	1,970	47,3	1725		
Піщано- мулиста глина	4	0,0130	1,512	72,3	1483	0,7	14,0
	17	0,0120	1,750	59,3	1527		
		0,0302	1,721	58,0	1490	59,7	100,0

Продовж. табл. 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8
Глинистий мул	1300	0,0055	1,270	83,8	1453	1,0	14,0
	1110	0,0050	1,300	82,5	1457	0,6	14,0
	1087	0,0058	1,374	77,8	1450	1,2	7,0
	20	0,0286	1,702	60,9	1572	8,0	25,0
		0,4210	1,737	57,4	1541	11,8	23,6
Муловий пісок	17	0,0298	1,680	61,3	1537	60,9	100,0
		0,1259	1,796	53,2	1551	20,6	23,9
			1,320	82,2	1540		
Мул	15	0,0216	1,690	60,9	1465	15,9	100,0
		0,0259	1,653	61,5	1548	7,8	24,2
		0,0250	1,900	46,6	1622		
Мулиста глина			1,130	93,3	1525		
Суспензія ("грязь")		0,0060	1,320	76,0	1480		
Глина		0,0010	1,450	74,5		31,9	368,0

### Висновки до розділу 1

Огляд літературних джерел показав, що дослідження розподілу різноманітних літологічних типів сучасних морських (річкових) донних відкладів, що мають певні геоакустичні параметри, дає можливість охарактеризувати процеси осадконакопичення на досліджуваній акваторії. Незважаючи на інтенсивний та результативний розвиток напряму спільних геолого-геофізичних досліджень геоморфологічних та літологічних особливостей дна і досить високий рівень напрацювань, спостерігається недостатність їх розвитку в Україні останніми десятиліттями.

Існуючі морські (річкові) батиметричні карти відображають усереднені риси розчленованості підводного рельєфу, деталі якого частково не фіксуються, що робить неможливий аналіз геоморфологічних особливостей дна. Тому основним джерелом

при детальному вивченні дна є його профілі, складені за ехолотним проміром. Тільки безперервне поповнення новими даними профілювання дасть можливість вивчення нових геоморфологічних особливостей акваторій України.

Використання апріорної інформації про умови утворення відкладів на дні морів (річок) дозволяє істотно підвищити надійність дистанційних оцінок фізико-механічних, геоакустичних властивостей донних відкладів.

Зміна характеру акустичних ехо-сигналів в залежності від рельєфу дна і властивостей донних відкладів відзначається багатьма дослідниками. Ця мінливість ехо-сигналів обумовила зацікавленість до виділення типу закономірностей, що пов'язують геоакустичні властивості донних відкладів з їх фізико-механічними характеристиками, а потім, в свою чергу, з літологічними класами донних відкладів. Все це сприяло інтенсифікації розробок методів дистанційного визначення геоакустичних властивостей донних відкладів за інформацією гідрогеоакустичного комплексу ДУ «Гідрофізичний центр НАН України».

### **Список використаних джерел у розділі 1**

1. Митропольський О.Ю., Іванік О.М. Основи морської геології. Підручник. К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2004. 219 с.
2. Ластовенко О.Р., Лисютин В.А., Ярошенко А.А. О влиянии частотной зависимости скорости звука и затухания в водонасыщенных морских осадках на дисперсионные свойства волноводов мелкого моря. Акустичний симпозіум "Консонанс-2009". 2009. С. 223-229.
3. Бабинец А.Е., Емельянов В.А., Митропольский А.Ю. Физико-механические свойства донных осадков Черного моря. Киев: Наукова думка. 1981. 160 с.
4. Ємельянов В.О., Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Кузнецов А.С. Проблема сапропелей Черного моря. Киев: ГНУ ОМГОР, 2010
5. Ємельянов В.О., Наседкін Є.І., Іванова Г.М. Актуальність та передумови створення системи спостережень за станом природного середовища в зоні взаємодії суходолу та моря. Київ - Збірник наукових праць Інституту геологічних наук. 2010

6. Mourad P.D., Jackson D.R. High-frequency sonar equation models for bottom backscatter and forward loss. *IEEE Oceans*. 1989. Vol. 4. P. 1168-1175.

7. Papadakis P.J., Taroudakis M.I., Papadakis J. Recovery of the properties of an elastic bottom using reflection coefficient measurements. Proc. the Second European Conference on Underwater Acoustics. 1994. Vol. 2. P. 943-948.

8. Canepa G., Pouliquen E. Inversion of geo-acoustic properties from high frequency multibeam data. *Boundary Influences in High Frequency, Shallow Water Acoustics*. 2005. P. 233-240.

9. New Tools for Water Column Feature Detection, Extraction and Analysis / Gee Lindsay et al. *Sea Technology*. 2014. P. 27-30.

10. 73-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" - геолого-геохимические, гидроакустические и гидробиологические исследования в Черном море / Шнюков Е.Ф. и др. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. № 3. С. 118-127.

11. Ананов О.А., Войтов А.А. Прецизионный мониторинг акваторий с использованием многоцелевого мобильного комплекса обследования донной обстановки. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики (ГА-2014)*: тр. XII межд. конф. СПб., 2014. С. 11-15.

12. Іванік О.М., Гожик П.Ф. Геолого- геоморфологічні дослідження східноантарктичних морів Південного океану. К., 2002. 144 с.

13. Игнатов Е.И, Чистов С.В. Эколого-геоморфологическая оценка побережья и дна Керченского пролива в связи с решением транспортных проблем. *Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь, 2003. Вып. 8. С. 163-174.

14. Сысоев Н.Н. К изучению придонной зоны в океане. *Доклады Академии наук СССР*. 1961. № 3, т. 137. С. 698-700.

15. 73-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" - геолого-геохимические, гидроакустические и гидробиологические исследования в Черном море / Шнюков Е.Ф. и др. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. № 3. С. 118-127.

16. Евсюков Ю.Д. Геоморфологическая характеристика и история развития

притаманской материковой окраины. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2007. № 2. С. 86-97.

17. Евсюков Ю.Д. Детальное строение рельефа дна на Геленджикском полигоне (Черное море). *Доклады Академии наук*. 2003. № 1, т. 389. С. 111-114.

18. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией / Каевицер В.И. и др. *Радиотехника*. 2008. № 8. С. 35-42.

19. Геоморфология Форосского выступа черноморской континентальной окраины Крыма / Шнюков Е.Ф. и др. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 4. С. 15-29.

19. Формы рельефа дна Черного моря как возможные проявления современной геодинамической активности / Шнюков Е.Ф. и др. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2012. № 2 (28). С. 99-103.

20. Какаранза С.Д., Ларченков Е.П. Литофации верхнеплейстоцен-голоценовых осадков переходной зоны от северо-западного шельфа к глубоководной впадине Черного моря. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2007. № 1. С. 88-98.

21. Столл Р.Д. Акустические волны в водонасыщенных осадках. *Акустика морских осадков*. / под ред. Л. Хемптона. Москва, 1977. С. 28-46.

22. Агеева Н.С., Крупин В.Д., Перельгин В.П., Студеничник Н.В. Построение геоакустической модели дна в мелком море. *Акустический журнал*. 1994. № 2, Т. 40. С. 181-188.

23. Хемптон Л. Акустика морских осадков. / пер. с англ. А.В. Бунчик, Е.А. Копыла, Москва. 1977. 533 с.

24. Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового океана / Гончар А.И. и др. Запорожье, 2002. 218 с.

25. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. Москва: Наука, 1989. 412 с.

26. Бреховских Л.М. Подводная акустика. Москва: Мир, 1970. 495с.

27. Ивакин А.Н., Лысанов Ю.П. Определение некоторых параметров морских осадков по данным акустического зондирования. *Акустический журнал*. 1985. №6, т.31. С. 807-809.

28. Зарайский В.А., Тюрин А.М. Теория гидролокации. Ленинград, 1975. 605 с.

29. Житковский Ю.Ю. Рассеяние звука неоднородностями грунта дна океана. *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1968. № 5, т. 4. С. 567-571.

30. Ивакин А.Н., Лысанов Ю.П. Определение некоторых параметров морских осадков по данным акустического зондирования. *Акустический журнал*. 1985. № 6, т. 31. С. 807-809.

31. Ефимов А.В., Ивакин А.Н., Лысанов Ю.П. Спектральные характеристики неоднородностей морских осадков по данным глубоководного бурения. *ДАН СССР*. 1988. № 3, т. 301. С. 710-712.

32. Свечников А.И. Обобщенная модель донного грунта при решении гидрографических задач. *Навигация и гидрография*, 1998. № 6. С. 65-68

33. Тарасов С.П., Куценко А.Н., Белоус Ю.В. Коэффициент отражения как информативный параметр для экологических исследований. *Известия ТРТУ. Экология 2002 – море и человек*. 2002. С. 87-91.

34. Воловов В.И., Житковский Ю.Ю. Рассеяние и отражение звука дном океана (обзор). *Вопр. судостроения. Сер. Акустика*. 1977. № 8. С. 126-142.

## РОЗДІЛ 2

### ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Гідрогеоакустичний комплекс як засіб дослідження рельєфу дна та донних відкладів акваторій

Одним з найбільш ефективних засобів дистанційного дослідження геоморфології дна акваторій та дистанційного визначення літологічних типів поверхневих шарів донних відкладів є системи гідролокації.

В Науково-технічному центрі панорамних акустичних систем Національної академії наук України (нині - Державна установа «Науковий гідрофізичний центр НАН України») створено автоматизований модульно-блочний інформаційно-вимірювальний гідрогеоакустичний комплекс (рис. 2.1) [1].

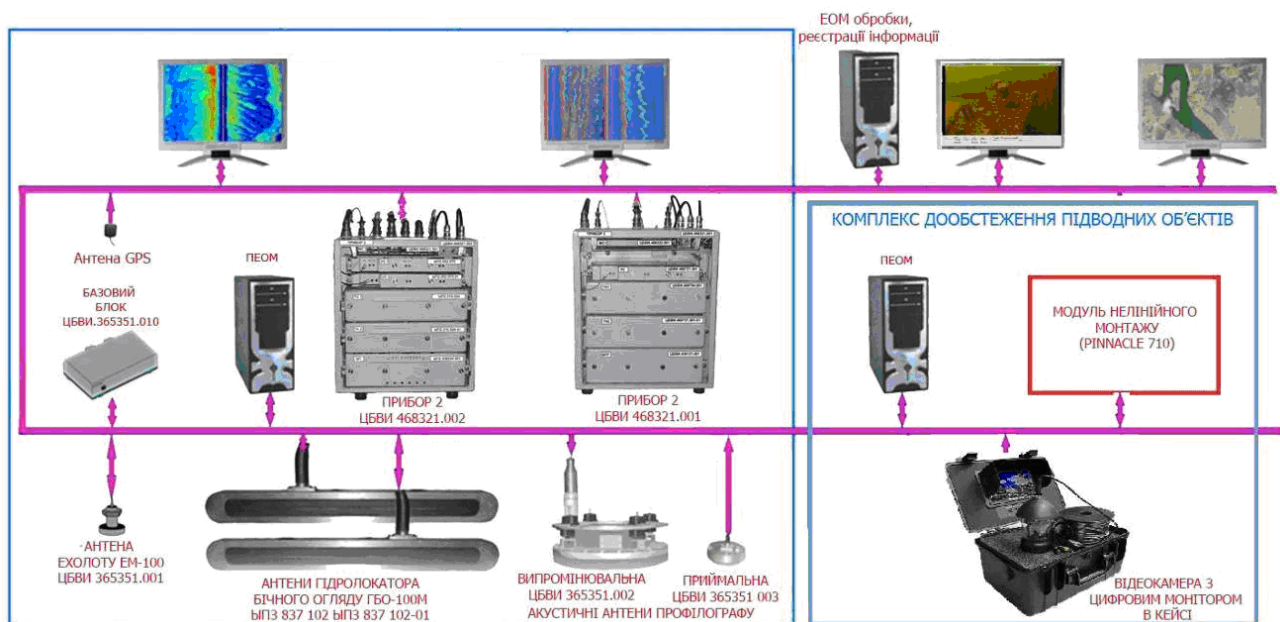


Рис. 2.1 Структура гідрогеоакустичного автоматизованого модульно-блочного інформаційно-вимірювального комплексу

Представлений гідрогеоакустичний комплекс з прив'язкою до координат і часу здійснює [1]:



- детальне дослідження рельєфу дна акваторій (за площею) з використанням гідролокатора бокового огляду (ГБО) з частотами від 29 кГц до 470 кГц на глибинах до 500 м;
- стратифікацію шарів донних відкладів за допомогою гідроакустичного профілографу з частотами від 3 кГц до 29 кГц на глибинах до 800 м;
- дообстеження дна та знайдених об'єктів підводною камерою.

На рис. 2.2 показано фрагменти інформації гідрогеоакустичного комплексу (профілограф, ГБО, ехолот).



Рис. 2.2 Фрагменти інформації гідрогеоакустичного комплексу

## 2.2 Методика дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна

Для отримання геоакустичних параметрів морського та річкового дна було розроблено математичний апарат та програмне забезпечення для обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу. Розроблена методика дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна передбачає отримання інформації щодо безперервних

профілів шарів донних відкладів, а на основі аналізу акустичних трас - визначення геоакустичних властивостей шарів донних відкладів.

### **2.2.1 Проблема кратних хвиль та шумів. Визначення фактичних границь профілограми**

Кратними називаються хвилі, які на своєму шляху поширення зазнали більше одного відбиття [2]. Кратні хвилі розглядаються як когерентні перешкоди, оскільки вони взаємодіють з первинними хвилями або можуть бути помилково інтерпретовані як первинні. Вони так само негативно впливають на процеси відображення, що припускають відсутність кратних хвиль в даних профілограмах.

Ослаблення кратних хвиль представляє собою одну з проблем обробки профілограм. Кратні хвилі, сформовані за рахунок морського дна чи поверхні води, називаються хвилями - супутниками.

Класифікація і природа виникнення допомагають розпізнати кратні хвилі в процесі обробки профілограми. В літературі [2] наводяться такі характеристики цих хвиль як періодичність, геометрія (особливості), положення на розрізі, швидкість. На геометрію впливають кути нахилу шару та характеристики шарів (товщина, імпеданс).

Є дві великі категорії методик ослаблення кратних хвиль: методики, засновані на деяких відмінностях властивостей кратних хвиль і первинних хвиль (методики фільтрації), а також методики, які прогнозують положення кратних хвиль і віднімають їх із даних.

Для аналізу кратних і первинних хвиль необхідно виділити всі хвилі повністю в профілограмі, тобто прив'язати необхідні пікселі до кривих ліній, чітко знати координати групи пікселів. Після цього необхідно визначити первинні хвилі. Таку задачу можна розв'язати за допомогою перетворення Радона, яке є стандартним інструментом аналізу зображень і дозволяє розпізнати глобальні лінії на зображенні.

Класичне перетворення Радона (рис. 2.3) для двомірного випадку відображає

функцію, визначену на площині  $R^2$  у множині її лінійних інтегралів і записується так [3]:

$$F(x, y, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x + t \cos \theta, y + t \sin \theta) dt, \quad (2.1)$$

де  $f$  – функції по прямій, що проходить через піксель  $x, y$  у напрямку  $\theta$ .

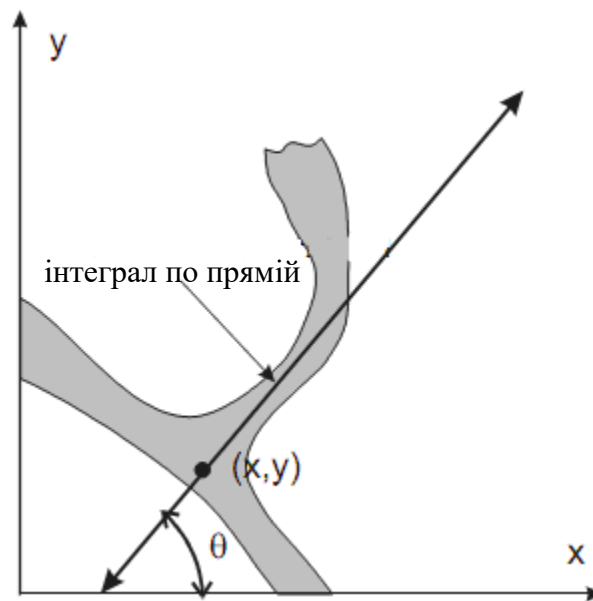


Рис. 2.3 Графічна інтерпретація перетворення Радона

Проводячи дискретизацію за даними профілограми, після застосування перетворення Радона отримаємо рис. 2.4.

Запропонований у роботі [2] алгоритм використовує формулу (2.2):

$$p = d + d * d + d * d * d + \dots, \quad (2.2)$$

де  $p$  – первинні відбиття;

$d$  – дані профілограми;

[\*] – операція згортки.

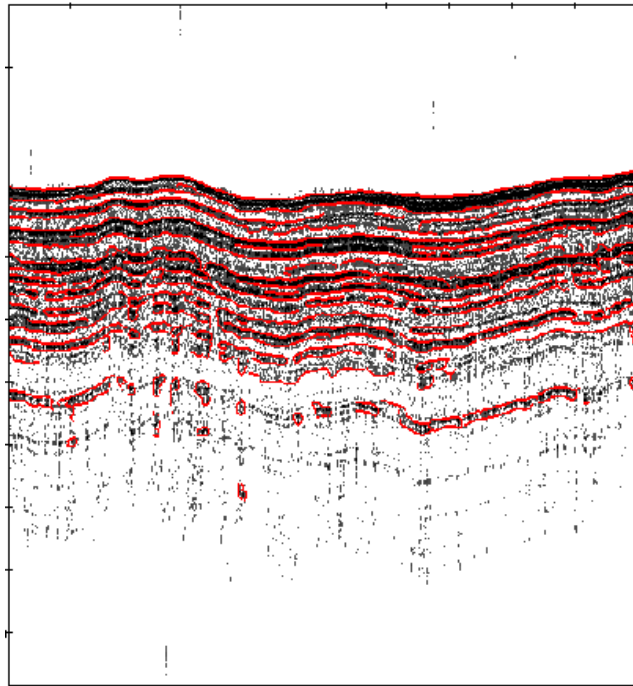


Рис. 2.4 Виявлення ліній на профілограмі за допомогою перетворення Радона

Співвідношення (2.2) є нескінченним рядом Тейлора, який виражає  $p$  як функцію від  $d$ . Отже, можна виділити первинне поле із необроблених даних, повторюючи згортки.

Приклад роботи алгоритму наведено на рис. 2.5.

Цифрова реєстрація повного сигналу розкриває можливість використовувати для дослідження структури морського дна додатково до потужності інші характеристики відбитих сигналів. В роботі [4] при частотній залежності загасання в донних відкладах пропонується використовувати в якості характеристики спектр відбитого сигналу.

Аналіз даних полягає в дослідженні зміни спектру відбитого сигналу в залежності від глибини  $H$  проникнення зондуючого сигналу в донні відклади. Спектральний аналіз проводиться на фіксованих за довжиною послідовних інтервалах часу (збільшення часу затримки) з перекриттям. При цьому дані якісно показують трансформацію змінного спектру відбитого сигналу. В околі відбиття від поверхні розділу вода - дно починає переважати високочастотна частина спектру, з

проникненням сигналу в донні відклади високочастотна частина спектру загасає, починає переважати низькочастотна частина спектру.

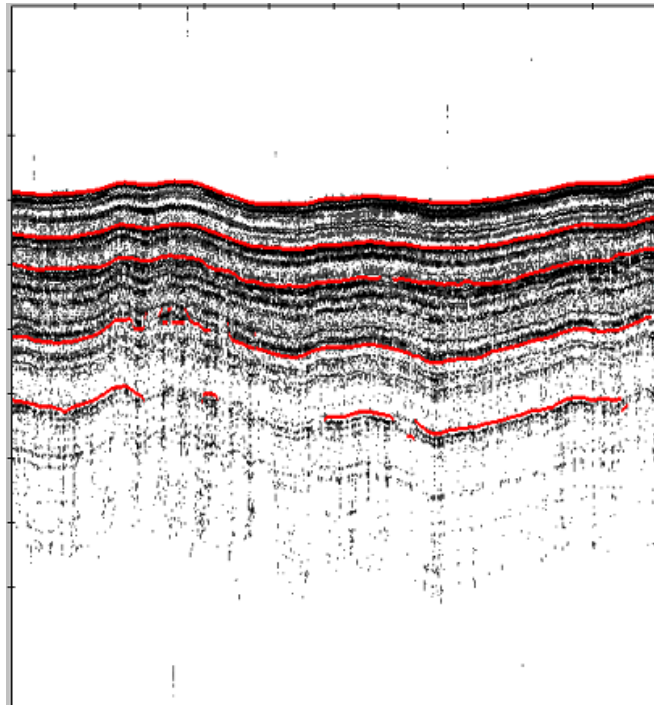


Рис. 2.5 Первинні хвилі, що розпізнані алгоритмом

При лінійній залежності коефіцієнту загасання від частоти за ступенем асиметрії спектру відбитого сигналу можна визначити коефіцієнт частотної залежності загасання в межах полоси сигналу. Зміна форми спектру сигналу з глибиною призводить до частотного загасання, тому можна використовувати інтегральні характеристики форми, прийняті в статистиці [3].

Для характеристики форми функції розподілу в статистиці використовується декілька інтегральних характеристик. Ці величини можна використовувати і для опису форми спектру  $G(f)$ . Такими характеристиками є середня частота і моменти спектру.

Середня частота  $f_0$ , центр тяжіння спектру, дає можливість за вибіркою визначити потужність піків, тобто дати інформацію про можливу наявність границь шарів за профілем на вибраній ділянці профілограми [5]:

$$f_0 = \int f \cdot G(f)df . \quad (2.3)$$

Моменти спектру [6]:

$$\begin{aligned} M_n &= \int (f - f_0)^n G(f)df , \\ \delta^2 &= M_2 = \int (f - f_0)^2 G(f)df , \end{aligned} \quad (2.4)$$

де  $M_n$  –  $n$ -й момент спектру;

$\delta^2$  – другий момент, він же – дисперсія спектру.

Величину  $\delta$  можна розглядати як один із варіантів визначення «ширини» спектру.

Коефіцієнт асиметрії  $k$  характеризує симетрію спектру відносно центральної частоти [3]:

$$k = \frac{M_3}{\sqrt{M_2^3}} . \quad (2.5)$$

Коефіцієнт ексцесу  $\nu$ , характеризує згладженість спектру в околі центральної частоти [3]:

$$\nu = \frac{M_4}{M_2^2} - 3 . \quad (2.6)$$

Алгоритм розрахунку окремих характеристик форми можна розглядати як варіант перетворення даних профілювання, орієнтований на частотне загасання – зміну амплітуди за частотою в залежності від глибини. Обробка даних відбувається наступним чином: вибирається інтервал спектрального аналізу, на інтервалі за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) обчислюється спектр і для нього обчислюються коефіцієнти статистичного аналізу, далі інтервал зміщується на один

відлік. Таким чином, відбувається перетворення даних за всім рядком. Потім будується двомірне зображення (інтерпретація) отриманих результатів та проводиться відповідний аналіз.

Приклад виявлення границь шарів за профілем, з використанням інтегральних характеристик спектру відбитого сигналу, показано на рис. 2.6.

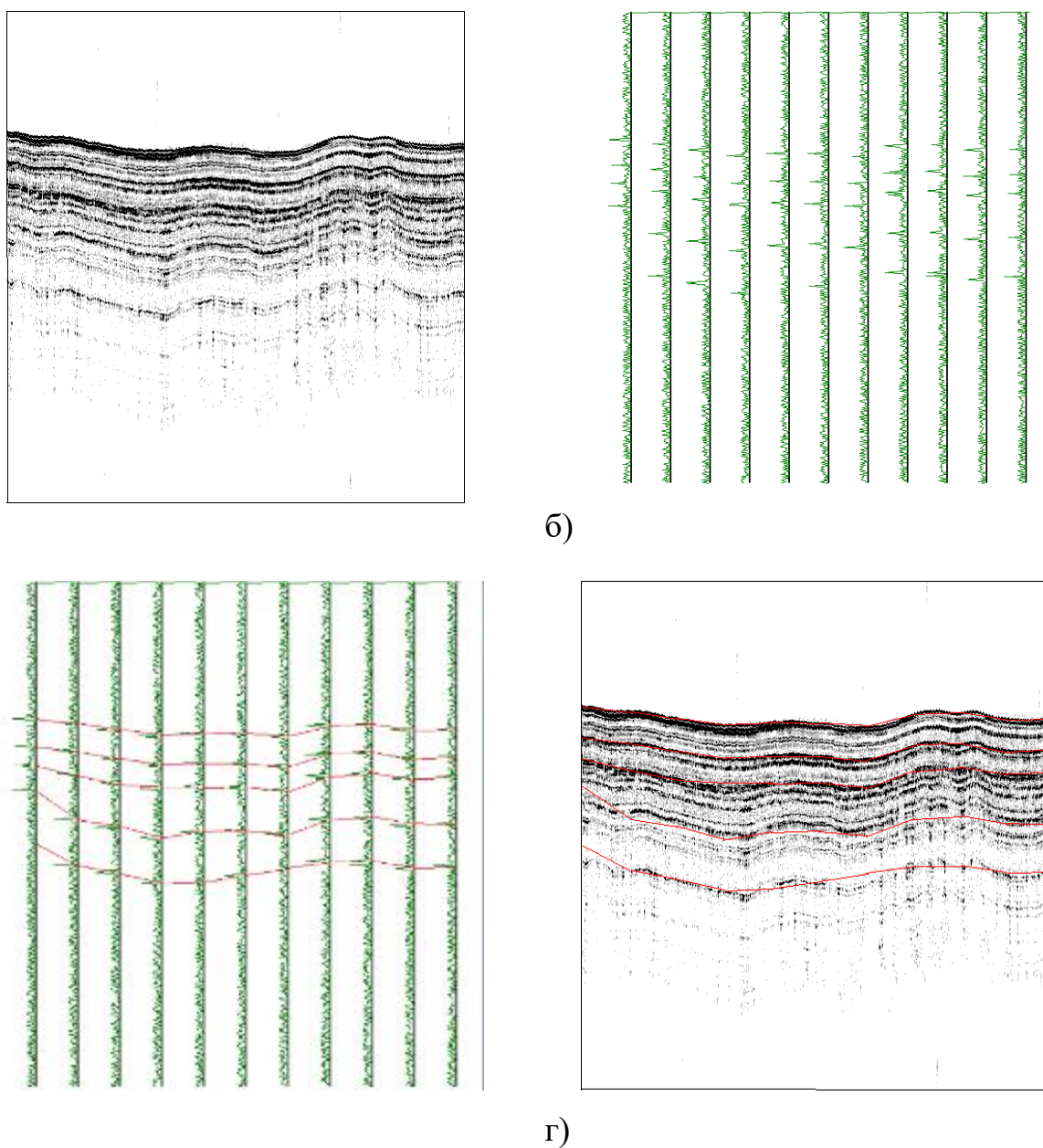


Рис. 2.6 Аналіз інтегральних характеристик форми спектра відбитого сигналу:

- а) вихідна профілограма; б) розподіл коефіцієнтів ексцесу за вибірками;  
в) виділення піків розподілу коефіцієнтів ексцесу; г) визначені границі шарів за профілем

Для наочності роботи алгоритму із вихідної профілограми (рис. 2.6 а) взято кожну п'ятдесяту вибірку і для неї побудовано залежність розподілу коефіцієнта ексцесу, як оцінку згладженості спектру в околі центральної частоти. З'єднанням максимумів (рис. 2.6 б) отримано криві (рис. 2.6 в), які є апроксимацією фактичних границь розподілу шарів (рис. 2.6 г). При застосуванні цього алгоритму до всіх вибірок отримано гладкі криві фактичних границь розподілу шарів.

### 2.2.2 Коефіцієнт відбиття, щільність, швидкість звуку у шарі донних відкладів

Акустична траса  $y_j(t)$  може бути отримана як результат згортки зондуючого імпульсу  $s(t)$  з імпульсом відклику середовища [7]:

$$y_j(t) = r_{nj} \cdot s_j(t), \quad (2.7)$$

де  $s_j(t)$  – значення цифрових вибірок зондуючого імпульсу, приведеного до границі розділу вода - донні осади;

$r_{nj}$  – відносні значення амплітудних коефіцієнтів відбиття для  $n$ -го шару.

Імпульсний відклик середовища  $r_{nj}$  в нормованій акустичній трасі представляє собою послідовність відносних коефіцієнтів відбиття в шаруватому середовищі.

Отримання значень  $r_{nj}$  є основою для обчислення значень відносної щільності  $p_{nj}$  за розрізом донних відкладів. При обчисленні значень  $p_{nj}$  використовується геоакустична модель середовища, розроблена стосовно до розсіпчастих водонасичених донних відкладів [8]:

$$p_{nj} = p_{n-1j} (1 + r_{nj}) / (1 - r_{nj}), \quad (2.8)$$



де  $\rho_{n-1j}$  – значення відносної щільності для шару з номером  $n-1$ .

В роботі [9] введено поняття абсолютного коефіцієнту відбиття шару, що визначається формулою:

$$R_{nj} = (\rho_{nj}c_{nj} - \rho_0c_0) / (\rho_{nj}c_{nj} + \rho_0c_0),$$

де  $c_{nj}$  – швидкість звуку в  $n$ -му шарі;

$\rho_0, c_0$  – щільність і швидкість звуку у воді відповідно.

Значення  $R_{nj}$  на етапі аналізу та прийняття рішення про тип донних відкладів слугують для формування границь розділу в товщі донних відкладів між різнорідними літологічними класами. При цьому використовуються дані, отримані в результаті експериментальних досліджень (табл. 1.2) [10].

Для уточнення типу донних відкладів в шарах, виділених за результатами аналізу розподілів за розрізом значень  $R_{nj}$ , використовуються значення коефіцієнтів загасання  $\beta_{nj}$ .

Оцінку граничної відносної похибки формули (1.8) можна вивести, виходячи із оцінки запропонованої геоакустичної моделі донних відкладів в припущенні, що швидкість звуку в шарі дорівнює 1500 м/с. Якщо дійсні швидкості приймають значення в інтервалі 1400 м/с - 1550 м/с, то гранична похибка [10]:

$$\varepsilon = \frac{|c_0 - c_n|}{c_0} \cdot 100\% = [3 \dots 6]\%,$$

де  $c_n \in [1400 - 1550] \text{ м/с}$ .

### 2.2.3 Коефіцієнт загасання акустичної енергії в шарі

Акустичний сигнал швидко загасає та розсіюється на границях розділу, тому з

кожним наступним шаром все складніше визначити його товщину та акустичні параметри.

Запропонований метод дозволить збільшити точність класифікації донних відкладів.

Відомо, що коефіцієнт загасання акустичних коливань в донних відкладах залежить від частоти. Це означає, що при випроміненні в донні відклади широкополосного сигналу, його ослаблення буде нерівномірним на різних частотних складових. Таким чином, шляхом відновлення закону загасання акустичного сигналу в донних відкладах, можна визначити коефіцієнт загасання звуку в донних відкладах. Якщо відомо коефіцієнт загасання та щільність, можна оцінити акустичний імпеданс, що дозволить провести класифікацію досліджуваного шару донних осадів.

Для порівняння випроміненого та прийнятого сигналу, доцільно застосовувати кореляційні виявники, оскільки це дозволяє визначити ступінь їх відмінності за допомогою визначення взаємної кореляційної функції.

Задача відновлення закону загасання досягається тим, що для розрахунку взаємної кореляційної функції використовується сигнал із заздалегідь відомим законом загасання. Шляхом підбору закону загасання для різних матеріалів осадових порід досягається максимум автокореляційної функції. Отриманий максимум дозволяє визначити тип донних відкладів в даному шарі.

Для перевірки цієї теорії було проведено розрахунок взаємної автокореляційної функції моделі сигналу з невідомим законом загасання та моделі сигналу з відновлюваним законом загасання. В якості широкополосного сигналу, що випромінюється, взяли ЛЧМ-сигнал. Модель сигналу із законом загасання в шарі донних осадів, що досліджується, можна представити у вигляді:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta(\omega)x(t)} \cos(\omega(t) \cdot t), \quad (2.9)$$

де  $A_0$  – максимальна амплітуда сигналу;

$\cos \omega(t) = \omega t + \frac{\omega(\tau)}{\tau} t^2$  – закон зміни частоти сигналу;

$\Delta \omega$  – девіація частоти;

$\tau$  – тривалість імпульсу;

$\beta(\omega)$  – коефіцієнт загасання, що знаходиться.

Для відновлення закону загасання доцільно використовувати методи поліноміальної інтерполяції залежності коефіцієнта загасання від частоти. Існує декілька методів поліноміальної інтерполяції – інтерполяція поліномами Лагранжа, Ньютона та методом найменших квадратів [3].

Інтерполяція поліномами Лагранжа та Ньютона застосовується для відновлення функції за декількома її значеннями. При обробці реальних гідроакустичних сигналів необхідно враховувати вплив перешкод, які випадковим чином спотворюють амплітуду і фазу прийнятого сигналу, внаслідок чого складно з достатньою точністю відновити закон загасання за допомогою інтерполяції поліномами Лагранжа та Ньютона, оскільки неможливо визначити зміну амплітуди прийнятого сигналу в порівнянні з випроміненим сигналом, викликаним загасанням акустичних хвиль в донних відкладах при накладенні на сигнал перешкод і випадковим чином спотворюючих закон його загасання.

У випадках, коли невідомі точні значення амплітуди сигналу в конкретні моменти часу, найбільш точний результат можна отримати за допомогою інтерполяції закону загасання методом найменших квадратів. Суть методу полягає в наступному: у випадку, якщо функція  $y = f(x)$  задана таблицею своїх значень:  $y_i = f(x_i)$   $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , то можна знайти багаточлен фіксованого ступеню  $m$ , для якого середньоквадратичне відхилення (СКВ) є мінімальним [3]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n (P_m(x_i) - y_i)^2}.$$

Такий багаточлен  $P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$  визначається коефіцієнтами

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ . Підбором набору коефіцієнтів  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ , можна мінімізувати функцію:

$$\Phi(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m) = \sum_{i=0}^n (P_m(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=0}^n \left( \sum_{j=0}^m a_j x_i^j - y_i \right)^2.$$

Підбір здійснюється за допомогою необхідної умови екстремуму,  $\frac{\partial \Phi}{\partial a_k} = 0$ ,

$k = 0, 1, \dots, m$ . Виходячи з цього, можна отримати нормальну систему методу найменших квадратів:

$$\sum_{j=0}^m \left( \sum_{i=0}^n x_i^{j+k} \right) a_j = \sum_{i=0}^n x_i^k y_i,$$

відносно невідомих  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ .

При високих ступенях  $m$  система складновизначеною. Тому метод найменших квадратів застосовують для знаходження багаточленів, ступінь яких не вище 5. Вказана умова справедлива для більшості відомих законів загасання акустичних хвиль в донних осадах.

В якості відомої функції, що відновлюється шуканим поліномом, розглянемо залежність коефіцієнта загасання від частоти, емпірична формула якої має вигляд  $\beta = k \cdot f^n$  [11], де частота виражена в кГц, а  $k$  та  $n$  – сталі, які залежать від типу донних відкладів, причому значення  $n$  може змінюватися від 0,5 до 2. На частотах від одиниць до сотень кГц коефіцієнт загасання лінійно залежить від частоти -  $n \approx 1$ . Для інтерполяції такої функції достатньо багаточлена другого порядку.

Виходячи із цього, отримуємо вираз, що описує сигнал із відновлюваним законом згасання:

$$S(t) = A e^{-(a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2)x(t)} \cos(\omega(t) \cdot t). \quad (2.10)$$

Нормований кореляційний інтеграл сигналів (2.9) та (2.10) розраховується за формулою:

$$K = \frac{\int_0^{\tau} A(t) \cdot S(t) dt}{D_A \cdot D_S}, \quad (2.11)$$

де  $D_A$  і  $D_S$  – дисперсії сигналів  $A(t)$  и  $S(t)$ .

Таким чином, необхідно шляхом підбору коефіцієнтів інтерполуючого поліному  $a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2$  визначити максимум значення кореляційного інтегралу. Наявність максимуму дозволяє стверджувати про співпадання функцій  $\beta(\omega)$  та  $a_0 + a_1\omega + a_2\omega^2$ , тобто про відновлення закону загасання сигналу в шарі осадових порід, що розглядається. Шляхом порівняння отриманої функції з відомими значеннями коефіцієнтів загасання для різних матеріалів, можна класифікувати осадові породи.

Аналіз даних про коефіцієнти загасання акустичного сигналу в донних відкладах [12] дозволив виявити середню залежність коефіцієнта загасання від частоти для різних типів донних відкладів. На рис. 2.7 наведено усереднені залежності коефіцієнта загасання від частоти для піщаних донних відкладів (крива 1), алевритових глинистих порід (крива 2) та змішаного типу донних відкладів (крива 3).

Таким чином, обчислюючи по черзі параметри першого шару донних відкладів, можна здійснити аналогічну обробку інформації для другого, третього і т.д. шарів. Тобто шляхом обробки відбитих гідроакустичних сигналів визначаються такі геоакустичні параметри донних відкладів як щільність, швидкість поширення пружних коливань (швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, поглинання акустичних сигналів у відкладах, донна реверберація.

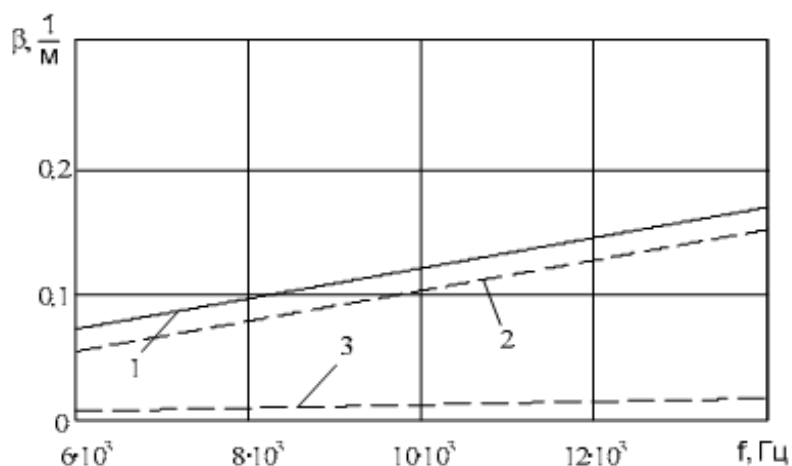


Рис. 2.7 Усереднена залежність коефіцієнта загасання від частоти для піщаних донних відкладів (крива 1), алевритових глинистих порід (крива 2) та змішаного типу донних відкладів (крива 3) [12]

### 2.3 Апробація методів дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна

Для перевірки розробленої методики дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна при початкових натурних випробуваннях проводилася реєстрація та аналіз сигналів гідроакустичного профілографу від задалегідь відомих типів донних відкладів (каністри з піском, гравієм, мулом) та від штучних об'єктів. При виконанні натурних досліджень було отримано відбиті сигнали від різних типів донних відкладів.

Наведено приклад сигналу, що випромінюється в режимі лінійно-частотної модуляції (ЛЧМ) тривалістю 2 мс записаний за допомогою гідрофону (рис. 2.8).

Проведено вимірювання відбитого сигналу від каністри з піском. Відстань до цілі 9 м. Вісь випромінення/прийому уздовж пірсу на експериментально-вимірювальній базі ДУ «Гідрофізичний центр НАН України». Приклади відбитого та обробленого сигналу (виконано згортку з зондуєчим імпульсом) показано на рис. 2.9.

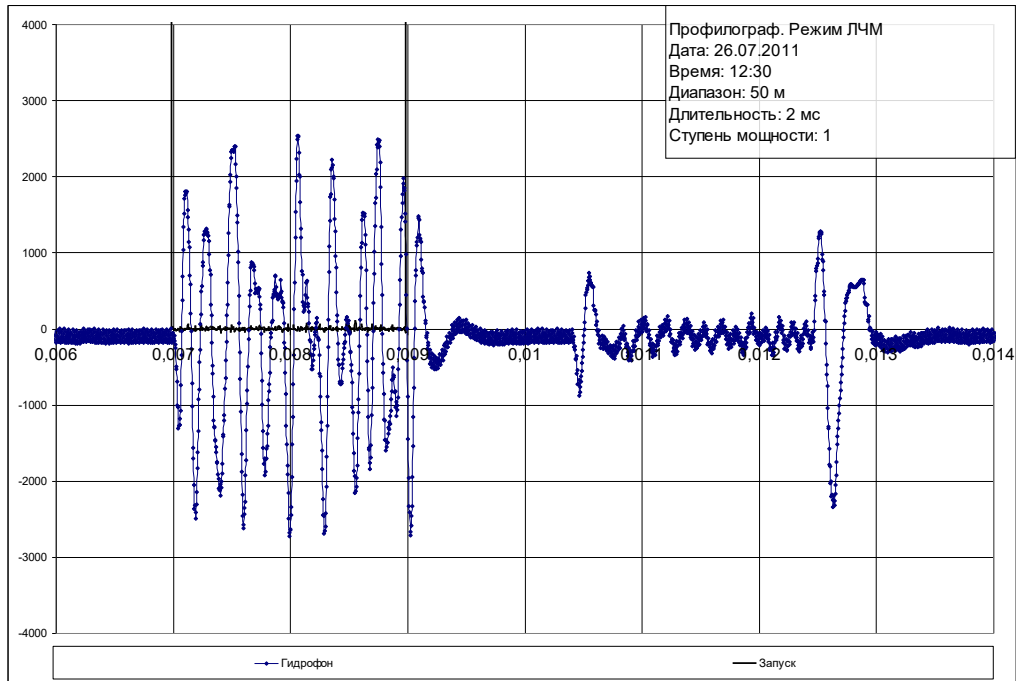


Рис. 2.8 Зондуючий сигнал

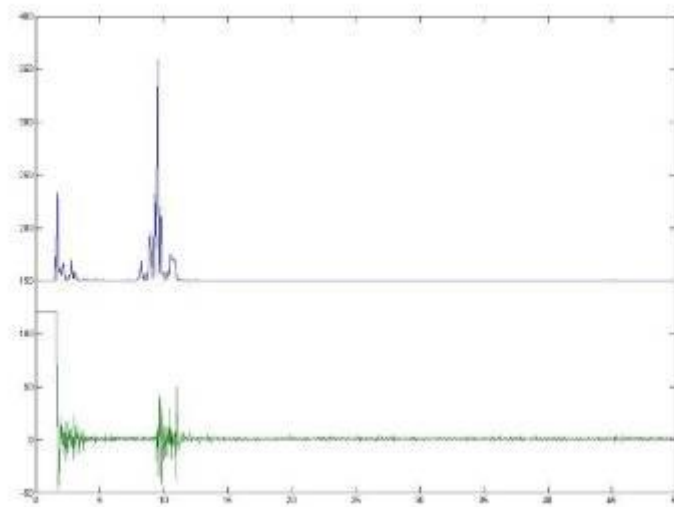


Рис. 2.9 Відбитий та оброблений ехо-сигнал від каністри з гравієм

На рис. 2.10 показано аналогічний відбитий та оброблений сигнал від каністри з піском

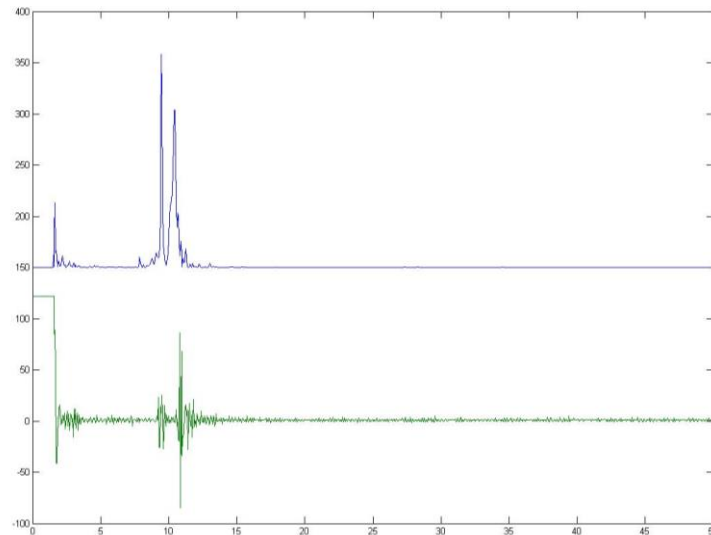


Рис. 2.10 Відбитий та оброблений ехо-сигнал від каністри з піском

## Висновки до розділу 2

Розроблено гідроакустичний комплекс у складі гідролокатору бокового огляду (інтерферометру), профілографу та ехолоту, який здатен з високою продуктивністю та деталізацією вирішувати обидві задачі, а саме: отримувати геоакустичні параметри донних відкладів та досліджувати геоморфологічні особливості дна.

Також було розроблено методику визначення геоакустичних параметрів поверхневих шарів донних відкладів та виділення їх літологічних типів за допомогою обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу.

Обчислюючи по черзі параметри першого шару донних відкладів, можна здійснити аналогічну обробку інформації для другого, третього і т.д. шарів. Тобто шляхом обробки відбитих гідроакустичних сигналів визначаються такі геоакустичні параметри донних відкладів як щільність, швидкість поширення пружних коливань (швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, поглинання акустичних сигналів у відкладах, донна реверберація.

Зміна форми огинаючих відбитих сигналів по відношенню до зондувальних сигналів викликана інтерференцією різних типів хвиль, що беруть участь у формуванні відбитого сигналу. Було побудовано спектри відбитих сигналів та створено еталонну таблицю кореляційних залежностей геоакустичних параметрів донних відкладів за характеристикою спектру, що дало змогу вирішувати зворотні



задачі – визначати літологічні типи донних відкладів за відбитим сигналом.

Розроблену в розділі 2 методику перевірено при натурних дослідженнях геоморфології дна та поверхневих шарів донних відкладів Чорного моря та акваторій р. Дніпро шляхом порівняння отриманих результатів з результатами пробовідбору.

### **Список використаних джерел в розділі 2**

1. Гончар А.И., Худоконь В.В., Шлычек Л.И. Обработка данных в многоканальной системе сбора и обработки информации комплекса средств экологического мониторинга акваторий. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*, 2010. № 7. С. 123-128.
2. Bates C.R., Whitehead E.J. ECHOplus measurements in Hordavagen bay. *Sea Technol.* 2001. № 6, vol. 42. P. 34-43.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва, 1970. 832 с.
4. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией / Каевицер В.И. и др. *Радиотехника.* 2008. № 8. С. 35-42.
5. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией / Каевицер В.И. и др. *Радиотехника.* 2008. № 8. С. 35-42.
6. Ефимов А.В., Ивакин А.Н., Лысанов Ю.П. Спектральные характеристики неоднородностей морских осадков по данным глубоководного бурения. *ДАН СССР.* 1988. № 3, т. 301. С. 710-712.
7. Ивакин А.Н., Лысанов Ю.П. Рассеяние звука объемными неоднородностями подводного грунта, ограниченного неровной поверхностью. *Акустический журнал.* 1981. Т. 27, вып. 3. С. 384-390.
8. Свечников А.И. Обобщенная модель донного грунта при решении гидрографических задач. *Навигация и гидрография.* 1998. № 6. С. 65-68

9. Тарасов С.П., Куценко А.Н., Белоус Ю.В. Коэффициент отражения как информативный параметр для экологических исследований. *Известия ТРТУ. Экология 2002 – море и человек*. 2002, С. 87-91.

10. Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового океана / Гончар А.И. и др. Запорожье, 2002. 218 с.

11. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. Москва: Издат. Акад. Наук СССР, 1957. 502 с.

12. Хемптон Л. Акустика морских осадков. / пер. с англ. А.В. Бунчик, Е.А. Копыла, Москва. 1977. 533 с.

*Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:*

1. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И., Худоконь В.В., Сафонов А.В. Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2011. Вип. 25. т. 1. С. 117-121.

2. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Методы подавления кратных волн при обработке информации профилограмм. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 7-12.

3. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.** Сучасні комп'ютерні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації. *Геоінформатика*. № 1 (61). 2017. С. 19-25.

4. Гончар А.И., Шундель А.И., **Федосеенков С.Г.** Некоторые аспекты создания структурных моделей неоднородного слоистого дна. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 151-155.

5. Honchar A.I., **Fedoseienkov S.H.** Geo- and hydro-acoustic complex as study of interconnection between processes in waters and bottom sediments. *Геодинаміка*. 2016. № 2 (21). С. 101-108.

6. **Федосеенков С.Г.** Методика дистанционной профильной грунтовой съемки

для определения типов донных отложений. *Modern Science – Moderní Věda*. 2016. №3. С. 179-186.

7. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель О.І. Аспекти технології автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2011. № 8. С. 63–68.

8. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шличек Л.І., Шундель О.І., Неверова С.І. Спектральний метод оцінки параметрів донних відкладень: коефіцієнтів відбиття і поглинання. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2011. № 8. С. 69-76.

9. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акваторий. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2012. № 9. С. 97-102.

9. Гончар А.И., Неверова С.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Энергетические характеристики параметрического профилографа донных осадочных структур. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2012. № 9. С. 103-107.

10. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Реконструкция характеристик упругого дна по коэффициенту отражения. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2013. № 10. С. 80-79.

11. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.** Технология дистанционной профильной ґрунтовой съёмки морского дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2014. № 11. С. 32-37.

12. Гончар А.И., Клочан Ю.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обработка и визуализация информации гидроакустического модуля. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2014. № 11. С. 38-43.

13. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И. Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акватории. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології*: матеріали XVII Міжнародного наук.-техн. симпозіуму, 10-15 вересня 2012 р. Алушта: Національний університет "Львівська політехніка", Державна установа «Держгідрографія», 2012.

14. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Гидроакустический модуль мониторинга дна акваторий. *Системи контролю навколишнього середовища – 2012*: Міжнародний науково-технічний семінар, 24-28 вересня 2012 р. Севастополь: МГІ НАН України, 2012.

15. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Технология автоматизированной дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна. *Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій*: зб. матеріалів міжнар. наук. конф., 8-13 жовтня 2012 р. Київ, 2012. С. 29

16. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.** Оценка погрешности построения планшетов панорамной гидроакустической съемки на мелководье. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*: сб. научн. тр. Севастополь: МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Вып. 27. С. 18-22.

17. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Цифровое моделирование параметрического профилографа. *Проблеми, методи і средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 65-78.

18. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Математическое моделирование спектрального метода определения коэффициентов затухания и

отражения для многослойных водонасыщенных донных отложений. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 193-204.

19. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Геоакустические методы исследования дна. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 299-309.

20. Гончар А.И., Гончар Ю.А., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.** Методология дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды XII Всероссийской конф. ГА – 2014, 27-29 мая 2014 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2014. С. 483-486.

21. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И. Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України*: тези доповідей V науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2014р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. С. 217-218.

22. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Нестеренко Л.В., Клочан Ю.А. Сучасні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації як джерело нових потенційних можливостей гідроакустичних засобів. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України*: тези доповідей науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2015 р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2015.

### РОЗДІЛ 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ДНА

### 3.1 Визначення геоакустичних параметрів морського дна

Морські експериментальні дослідження проводилися на Чорному морі в 75-му рейсі науково-дослідного судна (НДС) «Професор Водяницький» в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень «Комплексна оцінка стану і прогнозування динаміки морського середовища та ресурсів Азово-Чорноморського басейну» спільно з фахівцями Інституту геологічних наук НАН України. Полігон досліджень № 1 було розташовано у північно-східній частині акваторії Чорного моря в межах нафтогазоперспективних структур Південно-Керченська, Моряна, Глибока. Полігон № 2 було розташовано в межах структури Палласа. Основною метою геологічних досліджень було вивчення товщі верхньоплейстоценових-голоценових донних відкладів для геологічного картографування газоперспективних і пелюдоперспективних районів шельфу та континентального схилу, а також уточнення умов формування, розвитку та функціонування геолого-екологічної системи донних відкладів Керченсько-Таманської морфоструктурної області. Мета проведених гідроакустичних досліджень – гідроакустичне профілювання приповерхневих донних відкладів, визначення їх геоакустичних параметрів, стратифікація та порівняння результатів визначення літологічних типів донних відкладів за допомогою методів дистанційної геоакустичної зйомки та взяття проб донних відкладів.

Геоакустичні параметри були отримані при обробці гідроакустичної інформації при профілюванні на галсах (більше 120 км) НДС «Професор Водяницький» (рис. 3.1).

Зазначена інформація у вигляді таблиць про геоакустичні параметри донних відкладів та значень глибини за об'ємом становила більш ніж 20 ГБ.

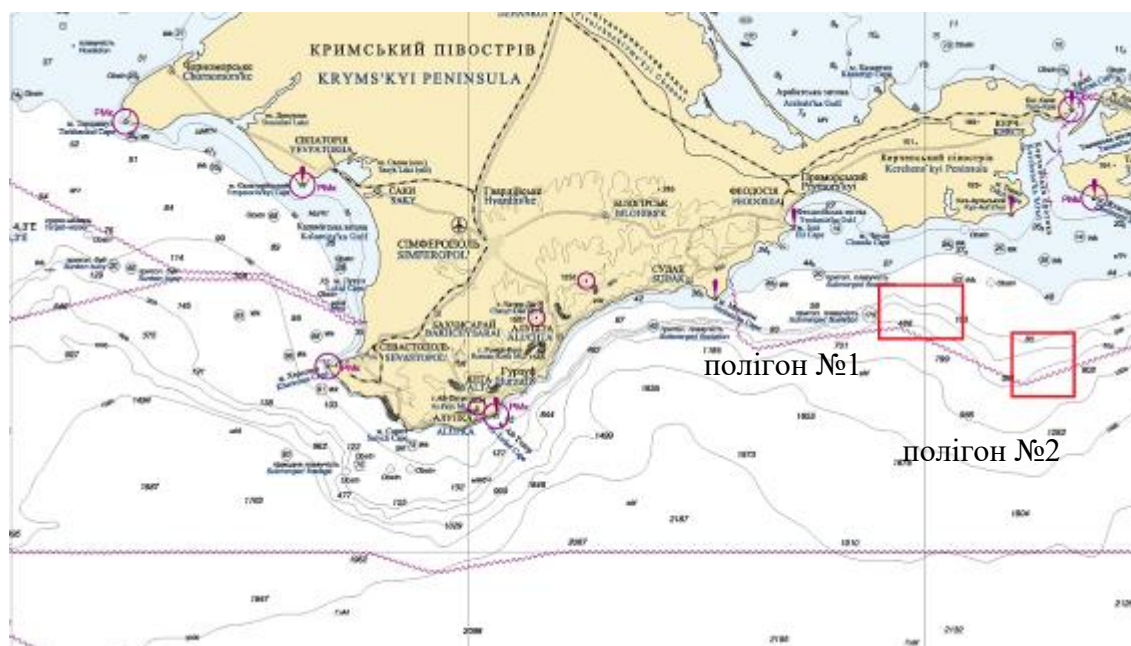


Рис. 3.1 Карта з відміченими полігонами дослідження

На рис. 3.2 приведено схему руху НДС «Професор Водяницький» на полігоні №1, 2 в 75-му рейсі при виконанні комплексних геологічних, гідроакустичних та термогазогео-хімічних досліджень.

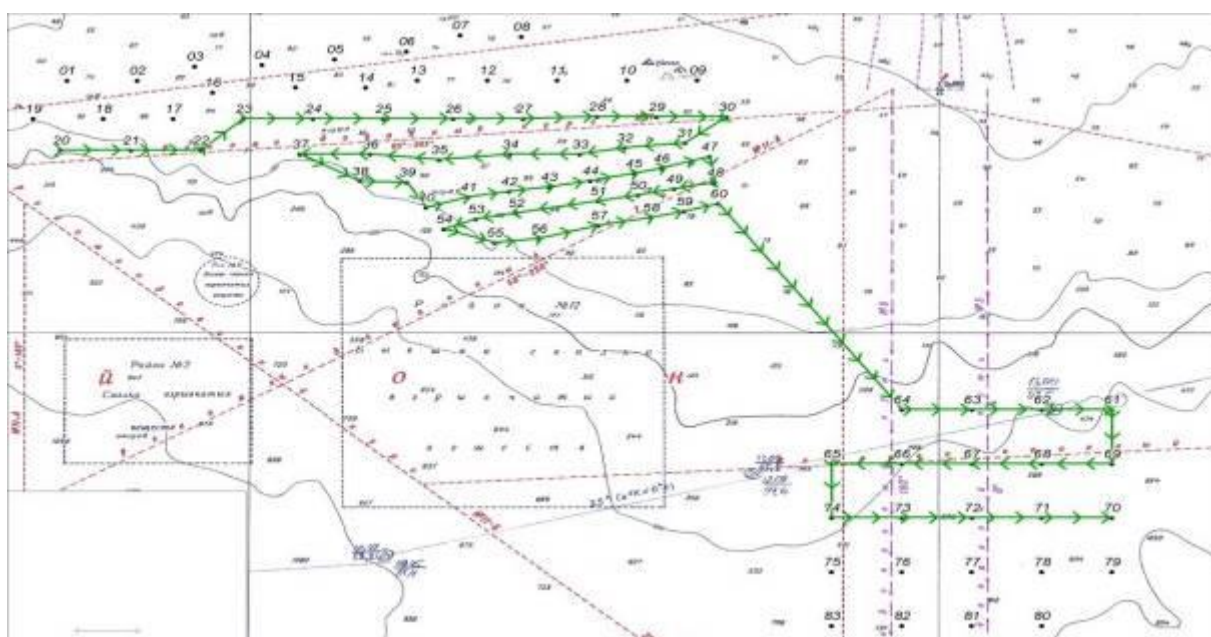


Рис. 3.2 Схема руху НДС «Професор Водяницький» на полігоні №1, 2 в 75-му рейсі при виконанні комплексних досліджень

Геоакустичний комплекс працював у складі гідролокатору бокового огляду ГБО-500М (рис. 3.3) та експериментального зразку параметричного гідроакустичного профілографу, основні технічні характеристики яких зазначені у табл. 3.1 та табл. 3.2 відповідно

Таблиця 3.1

**Основні технічні характеристики ГБО-500М  
(в рейсі використовувалася апаратура лише з одного борту)**

Робоча частота, кГц	29,5
Діапазони дальності, м	200; 400; 800; 1600; 3200
Тривалість імпульсів зондування, мс	0,5; 1,0; 2,0;
Максимальна електрична потужність імпульсу, що підводиться до антени, Вт	4000
Центральна частота підсилювача, кГц	29,5
Коефіцієнт підсилення	5500
Рівень власних шумів підсилювального тракту, приведені до входу підсилювача, мкВ	1,54
Смуга пропускання частот, кГц	2,85

За допомогою цих гідроакустичних засобів виконано:

- детальне дослідження рельєфу дна акваторій (за площею) на глибинах до 500 м;
- вимірювання глибин та вертикальне профілювання водної товщі, виявлення звукорозсіюючих шарів, у тому числі підводних газових факелів,
- профілювання приповерхневих шарів донних відкладів з метою перевірки розробленої методики дистанційної профільної геоакустичної зйомки дна на глибинах до 800 м.





Рис. 3.3 Гідролокатор бокового огляду ГБО-500М

Таблиця 3.2

**Основні технічні характеристики  
експериментального зразка профілографу ПГ-100**

Робочі частоти накачки передавальної антени, кГц: $f_{\text{в}}$	112,5
$f_{\text{н}}$	107,5
Тривалість імпульсів зондування, мс	0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0
Діапазони дальності, м	50; 100; 200; 400; 800;
Максимальна електрична потужність імпульсу, що підводиться до антени, Вт: на частоті $f_{\text{в}}$	1045
на частоті $f_{\text{н}}$	1012
Центральна частота приймального тракту, кГц	5,1
Смуга пропускання частот, кГц	7
Рівень власних шумів підсилювального тракту, приведених до входу підсилювача, мкВ	7,7
Чутливість підсилювача, мкВ	13
Коефіцієнт підсилення	5000

Матеріали морських експериментальних гідроакустичних досліджень були отримані у вигляді цифрових гідроакустичних ехо-сигналів, записаних у бінарні файли, які формують ехограми вертикальних профілів об'ємної та донної реверберації, а також ехограми донної поверхні з координатною прив'язкою. При цьому гідрогеоакустична зйомка проходила як безперервно на галсах при швидкості судна 4 вузла, так і при зупинці на станціях відбору проб донних відкладів.

На рис. 3.4 представлений фрагмент однієї з профілограм поверхневого шару, вертикальною лінією вказаний рядок, для якого взята огинаюча сигналу, відбитого від шарів донних відкладів.

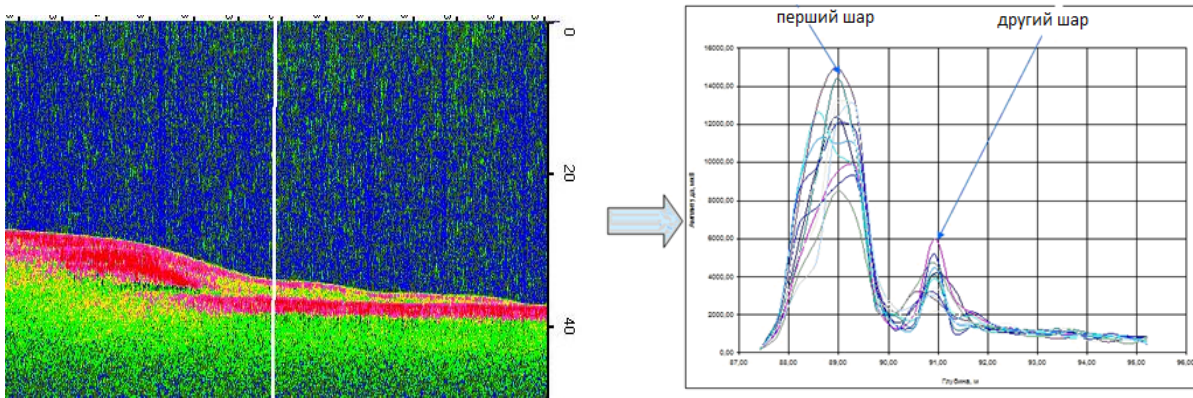


Рис. 3.4 Первинні дані (профілографу) гідроакустичного профілювання та приклад відбитого сигналу

На наступному етапі досліджень було отримано геоакустичні параметри поверхневих шарів донних відкладів шляхом обробки отриманих сигналів гідроакустичного профілографу за розробленою методикою. Далі, використовуючи статистичні алгоритми, проведено стратифікацію донних відкладів. В табл. 3.3 приведено результати обробки профілограм поверхневого шару донних відкладів на станціях пробовідбору.

Таблиця 3.3

**Результати обробки профілограм поверхневого шару  
донних відкладів на станціях пробовідбору**

№ ст.	Ширина	Довгота	Глибина	Значення коефіцієнту відбиття	Значення щільності, кг/м <sup>3</sup>	Значення коефіцієнту загасання, 1/м	Тип донного відкладу
1	2	3	4	5	6	7	8
21	44,7829	35,9123	110	0,198225406	1546	6,582685541	мул м'яко-пластичний
22	44,7841	35,9629	100	0,208652071	1580	6,59373117	мул м'яко-пластичний
23	44,8061	35,9923	96	0,19259339	1528	6,577550417	мул м'яко-пластичний
24	44,8024	36,0457	95	0,178813385	1485	5,303718469	мул рідкий
25	44,8058	36,0988	86	0,182383081	1496	5,304693005	мул рідкий
26	44,8044	36,1462	84	0,191331069	1524	6,586854076	мул м'яко-пластичний
27	44,8064	36,1996	80	0,201936634	1558	6,606182541	мул м'яко-пластичний
28	44,8079	36,2549	76	0,208652071	1580	6,617163374	мул м'яко-пластичний
29	44,8070	36,2970	69	0,214957673	1601	6,615814176	мул м'яко-пластичний
30	44,8082	36,3452	61	0,224956404	1635	6,613999208	мул м'яко-пластичний
31	44,7886	36,3161	72	0,205918554	1571	6,61416872	мул м'яко-пластичний
32	44,7897	36,2700	77	0,204085693	1565	6,585448668	мул м'яко-пластичний
33	44,7844	36,2373	81	0,197603509	1544	6,592645327	мул м'яко-пластичний
34	44,7838	36,1866	85	0,189430169	1518	6,577023795	мул м'яко-пластичний
35	44,7799	36,1353	88	0,191962723	1526	6,584222722	мул м'яко-пластичний
36	44,7838	36,0869	89	0,190064795	1520	6,591948336	мул м'яко-пластичний
37	44,7849	36,0341	92	0,219694901	1617	6,620289426	мул м'яко-пластичний
38	44,7666	36,0764	101	0,192908355	1529	6,570773399	мул м'яко-пластичний
39	44,7635	36,1151	95	0,187839246	1513	6,593679982	мул м'яко-пластичний
40	44,7455	36,1240	107	0,173895085	1470	5,283630181	мул рідкий
41	44,7543	36,1582	92	0,191014872	1523	6,597828912	мул м'яко-пластичний
42	44,7587	36,1874	87	0,182383081	1496	5,285368647	мул рідкий
43	44,7608	36,2199	85	0,190064795	1520	6,571546603	мул м'яко-пластичний
44	44,7670	36,2476	83	0,19416576	1533	6,580167511	мул м'яко-пластичний
45	44,7719	36,2807	79	0,196044539	1539	6,587631376	мул м'яко-пластичний
46	44,7751	36,2992	77	0,198225406	1546	6,579256745	мул м'яко-пластичний
47	44,7811	36,3338	72	0,209860936	1584	6,618664058	мул м'яко-пластичний
48	44,7649	36,3386	74	0,205918554	1571	6,606860764	мул м'яко-пластичний
49	44,7587	36,3075	78	0,203472858	1563	6,590383981	мул м'яко-пластичний
50	44,7573	36,2790	81	0,194792995	1535	6,596103164	мул м'яко-пластичний
51	44,7529	36,2482	84	0,191962723	1526	6,597175552	мул м'яко-пластичний
52	44,7529	36,1901	90	0,187201127	1511	6,574187829	мул м'яко-пластичний
53	44,7415	36,1608	96	0,187520312	1512	6,585266344	мул м'яко-пластичний

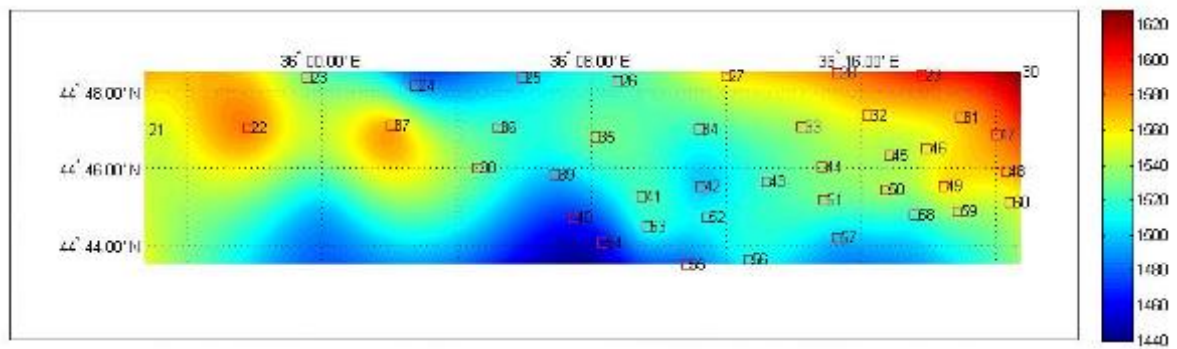
<i>Продовж. табл. 3.3</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
54	44,7343	36,1387	119	0,170583356	1460	5,28723548	мул рідкий
55	44,7248	36,1801	110	0,176525487	1478	5,293978683	мул рідкий
56	44,7271	36,2113	92	0,186881691	1510	6,568860736	мул м'яко-пластичний
57	44,7365	36,2551	85	0,184638591	1503	6,577144284	мул м'яко-пластичний
58	44,7463	36,2934	81	0,190381735	1521	6,586741407	мул м'яко-пластичний
59	44,7479	36,3147	79	0,197292199	1543	6,588970486	мул м'яко-пластичний
60	45,7516	36,3404	75	0,199466311	1550	6,594076254	мул м'яко-пластичний
61	44,6127	36,6251	470	0,204085693	1565	6,610432649	мул м'яко-пластичний
62	44,6139	36,5723	795	0,161167655	1432	5,278683811	мул рідкий
63	44,6127	36,5137	475	0,199466311	1550	6,590564262	мул м'яко-пластичний
64	44,6134	36,4723	336	0,218515962	1613	6,601101886	мул м'яко-пластичний
65	44,5777	36,4130	380	0,217333455	1609	6,608663551	мул м'яко-пластичний
66	44,5784	36,4730	491	0,20804625	1578	6,613185232	мул м'яко-пластичний
67	44,5785	36,5234	582	0,195106246	1536	6,574133769	мул м'яко-пластичний
68	44,5780	36,5733	616	0,184959791	1504	6,58962867	мул м'яко-пластичний
69	44,5777	36,6275	595	0,200703381	1554	6,585966591	мул м'яко-пластичний
70	44,5438	36,6243	765	0,173234856	1468	5,278797486	мул рідкий
71	44,5428	36,5758	683	0,179464737	1487	5,280216379	мул рідкий
72	44,5393	36,4920	605	0,190698427	1522	6,598483238	мул м'яко-пластичний
73	44,5413	36,4748	564	0,192908355	1529	6,592905355	мул м'яко-пластичний
74	44,5416	36,4251	467	0,208954634	1581	6,588856209	мул м'яко-пластичний

Приклад візуалізації такої інформації (один з параметрів - щільність) представлено на рис. 3.5 а й 3.5 б - планшети відповідно обстежених районів № 1 і № 2 з нанесеною інтерполяцією інтенсивності щільності поверхневого шару донних відкладів і відміченими станціями взяття проб.

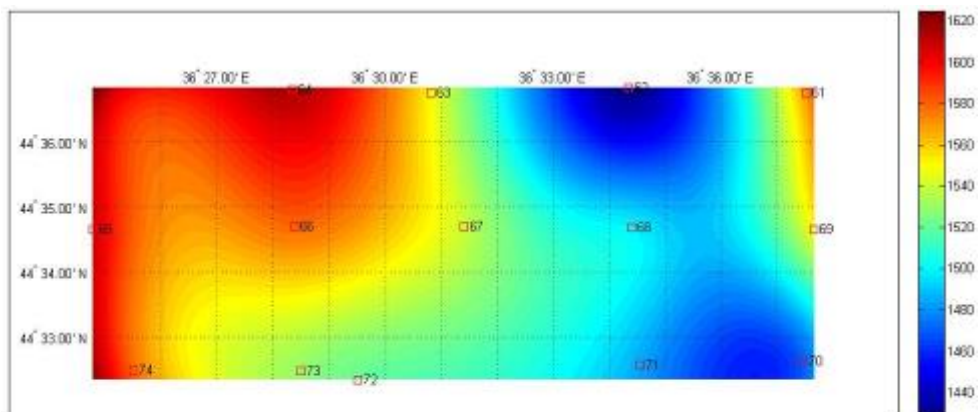
Фахівцями Інституту геологічних наук НАН України було взято проби донних відкладів на станціях та проведено детальну стратифікацію відкладів (максимальна довжина колонки 1,8 м) за літологічними характеристиками.

Різноманітність і багатоплановість завдань геологічного вивчення Чорноморського басейну обумовили складність і різноманіття методик робіт, особливо в шельфовій зоні. Однак при переважному комплексному попередньому вивченні окремих районів, отримати цілісну картину, особливо для континентального схилу й глибоководної частини, було важко й матеріали досліджень носили

фрагментарний характер. Обмеженість вихідних даних і обсяги проведених попередніх робіт, особливо в глибоководній частині, не дозволяли дати повну, рівномірну літолого-фаціальну характеристику донних відкладів північно-східної частини Чорного моря.



а)

 $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>

б)

 $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>

Рис. 3.5 Планшет району обстеження з нанесеною інтерполяцією інтенсивності щільності ґрунту та номерами станцій:

- а) полігон № 1 (шельф Прикерченського району Чорного моря);
- б) полігон № 2 (глибоководна частина в межах структури Палласа)

Матеріали, що були отримані в 75-му рейсі НДС «Професор Водяницький», значно доповнили та поглибили цю інформацію.

Таким чином, гідрогеоакустичне обстеження дало змогу вивчити рельєф досліджуваних нафтогазоперспективних полігонів Прикерченського району Чорного

моря та дати інформацію щодо типів донних відкладів та їх геоакустичних параметрів. Матеріали комплексних дистанційних та контактних досліджень донних відкладів докладно викладено у науковому виданні «Геологічні, геоекологічні, гідроакустичні, гідроекологічні дослідження шельфу та континентального схилу українського сектора Чорного моря» [під ред. Митропольського А.Ю., 2013].

### **3.2 Визначення геоакустичних параметрів річкового дна**

Аналогічні річкові експериментальні дослідження проводилися спільними зусиллями фахівців Інституту геологічних наук НАН України та ДУ «Гідрофізичний центр НАН України» в рамках проекту «Створення системи спостережень за впливом господарської діяльності на природні комплекси та оперативного контролю негативних змін у їх складі». Зазначений напрям робіт поєднував в собі геофізичні та геохімічні методи досліджень акваторії р. Дніпро, контактну та дистанційну зйомку верхнього шару донних відкладів. При цьому контактна зйомка забезпечувала, як аналіз розподілу і депонування важких металів в донних відкладах, так і контроль та підтвердження результатів дистанційної зйомки.

Було впроваджено систему спостережень за надходженням важких металів в седиментаційні потоки акваторії р. Дніпро та за закономірностями депонування їх в верхньому шарі донних відкладів. В рамках проекту створено пункти моніторингу осадоутворюючої речовини, атмосферних еолових потоків та водної завісі.

Для сезонних комплексних гідрогеоакустичних досліджень окремих акваторій р. Дніпро та ділянок експериментально-вимірювальної бази (ЕВБ) ДУ «Гідрофізичний центр НАН України» з метою визначення змін рельєфу дна та складових його верхнього шару було обрано полігон й координати точок пробовідбору верхнього шару донних відкладів (рис. 3.6).

Одним з основних завдань досліджень, що виконуються на експериментальному полігоні в межах ділянки акваторії, прилеглої до території ДУ «Гідрофізичний центр НАН України», є визначення сезонних змін в розподілі літологічних типів верхнього шару донних відкладів.

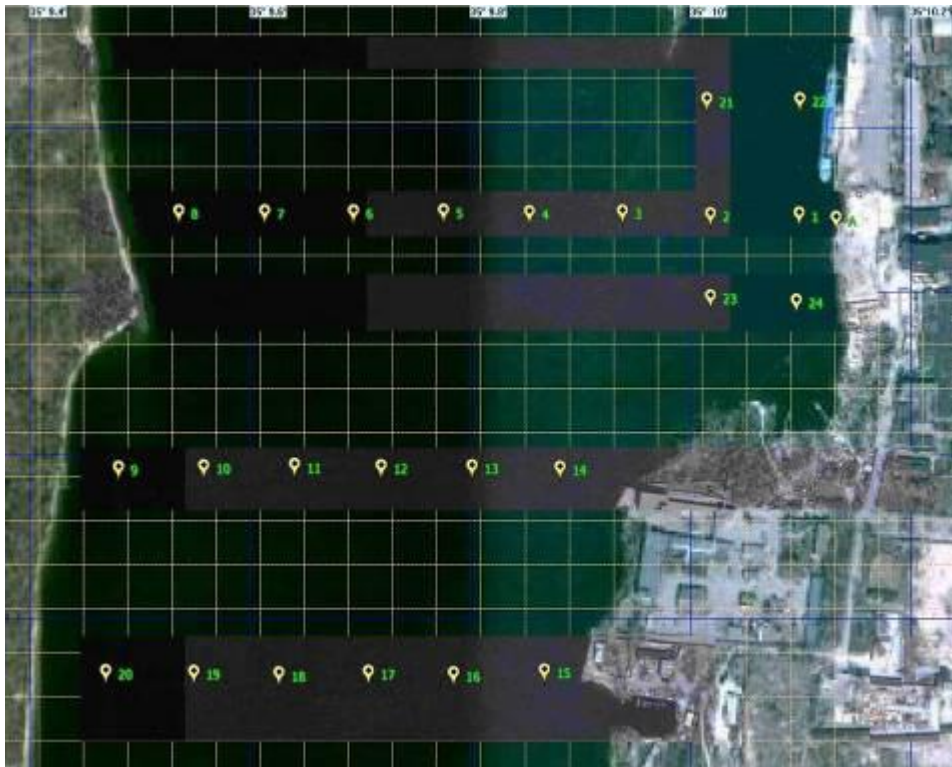


Рис. 3.6 Полігон дослідження на акваторії р. Дніпро з відмітками точок пробовідбору верхнього шару донного ґрунту

Розроблений гідрогеоакустичний комплекс (до складу якого входили ГБО-100М, експериментальний зразок гідроакустичного профілографу та ехолот ЕМ-100) забезпечив оптимальне виконання комплексного обстеження полігону улітку 2015 р., в процесі якого проводилася одночасно гідрогеоакустична зйомка дна та взяття проб донних відкладів. Відбір геологічних проб осадових порід дна виконувався за допомогою тросового ковшового дночерпака Петерсена з площею захоплення 0,025 м<sup>2</sup>.

На рис. 3.7 представлено траєкторію галсів носія гідрогеоакустичного комплексу при дослідженні полігону улітку 2015 р. з відмітками номерів файлів отриманих даних.

За даними гідроакустичного профілювання (рис. 3.8) було визначено дистанційним методом геоакустичні параметри поверхневих донних відкладів обраного полігону та класифіковано поверхневі донні відкладення як неоднорідні

шари з відсотковими показниками поєднання декількох літологічних класів.

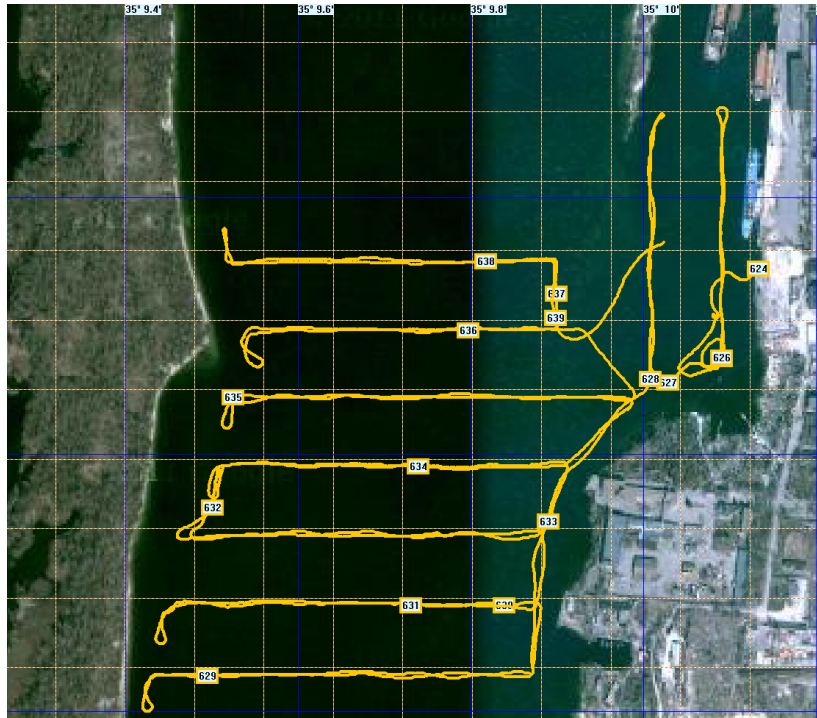


Рис. 3.7 Траєкторія галсів носія гідрогеоакустичного комплексу при дослідженні полігону улітку 2015 р. з відмітками номерів файлів отриманих даних

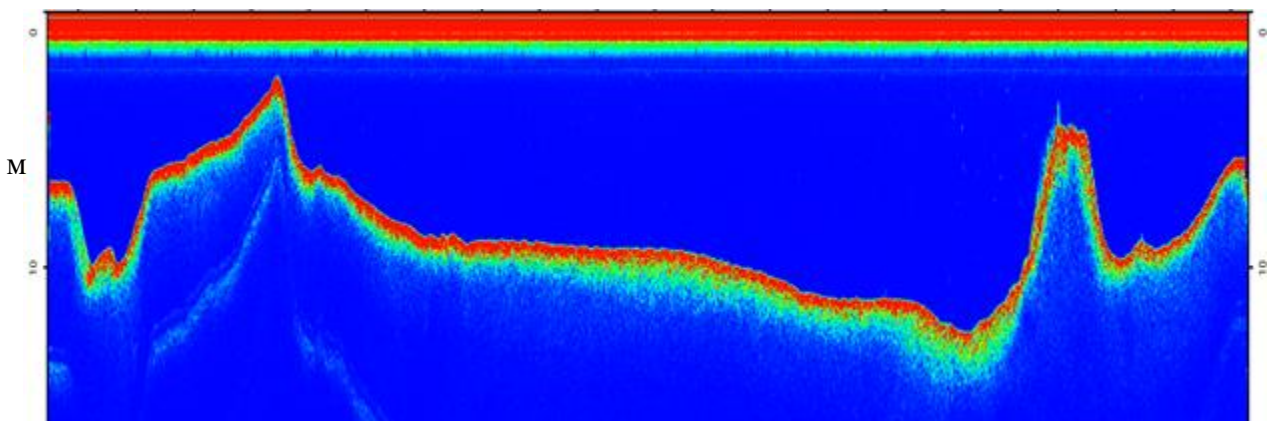


Рис. 3.8 Профілограма – геоакустичний профіль русла р. Дніпро

В табл. 3.4 приведено результати обробки профілограм в точках пробовідбору верхнього шару донних відкладів.



Таблиця 3.4

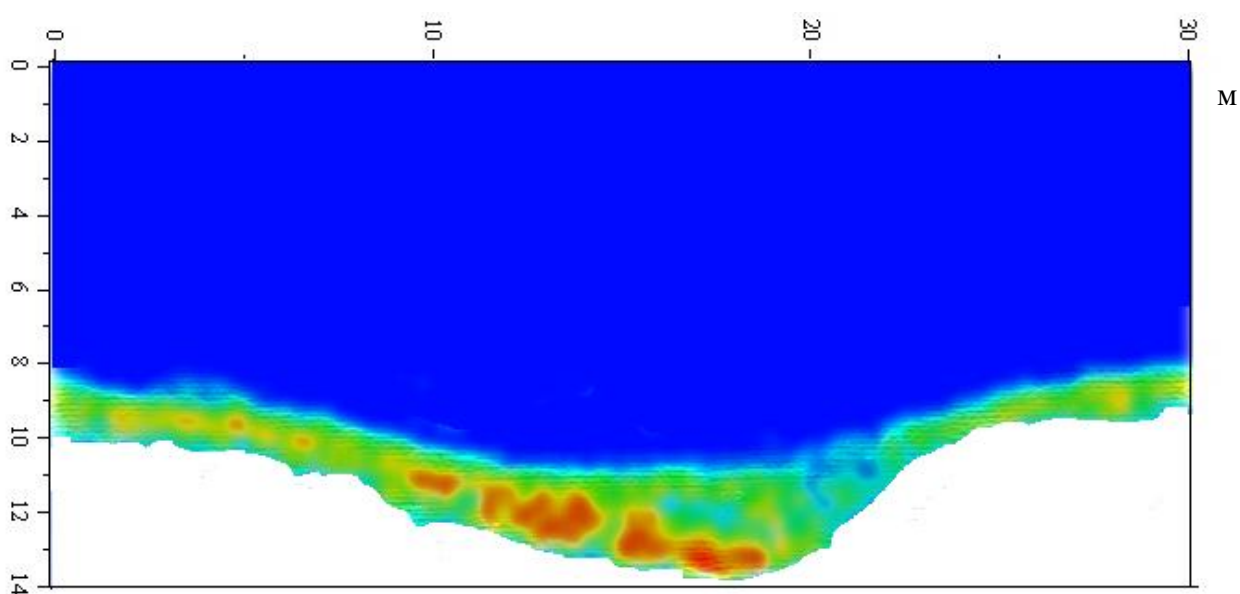
**Визначені геоакустичні параметри донних відкладів у точках  
пробовідбору та їх стратифікація з відсотковими показниками  
поєднання в шарі декількох літологічних класів**

Номер точки	Широта	Довгота	Коеф. відбиття	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с	Пісок, %	Мул, %
1	47°47,5408	35°10,0967'	0,3	1712	1638	68	32
2	47°47,5404'	35°10,0162'	0,33	1770	1669	60	40
3	47°47,5422'	35°09,9364'	0,31	1736	1645	65	35
4	47°47,5419'	35°09,8523'	0,35	1845	1675	90	10
5	47°47,5426'	35°09,7748'	0,32	1740	1670	91	9
6	47°47,5423'	35°09,6927'	0,33	1840	1605	98	2
7	47°47,5422'	35°09,6123'	0,33	1820	1622	94	6
8	47°47,5422'	35°09,5344'	0,33	1836	1628	96	4
9	47°47,3869'	35°09,4797'	0,33	1835	1640	93	7
10	47°47,3878'	35°09,5569'	0,33	1825	1625	93	7
11	47°47,3886'	35°09,6393'	0,34	1870	1622	98	2
12	47°47,3878'	35°09,7179'	0,34	1862	1620	98	2
13	47°47,3878'	35°09,8003'	0,34	1875	1628	96	4
14	47°47,3869'	35°09,8801'	0,33	1820	1635	92	8
15	47°47,2641'	35°09,8659'	0,31	1790	1595	86	14
16	47°47,2623'	35°09,7835'	0,35	1878	1650	99	1
17	47°47,2632'	35°09,7063'	0,35	1880	1665	99	1
18	47°47,2623'	35°09,6252'	0,34	1840	1645	93	7
19	47°47,2632'	35°09,5479'	0,33	1815	1625	92	8
20	47°47,2636'	35°09,4681'	0,34	1860	1622	95	5
21	47°47,6099'	35°10,0130'	0,3	1710	1636	62	33
22	47°47,6101'	35°10,0976'	0,29	1696	1612	62	38
23	47°47,4908'	35°10,0165'	0,26	1620	1590	55	45
24	47°47,4882'	35°10,0944'	0,28	1650	1600	57	43

Аналогічні геоакустичні параметри були отримані в результаті обробки гідроакустичної інформації при профілюванні на галсах обстеженого полігону.

Дистанційно визначено, що щільність верхнього шару донних відкладів улітку становила  $1442 \text{ кг/м}^3 - 1892 \text{ кг/м}^3$ , середнє значення –  $1752 \text{ кг/м}^3$ . Стандартне відхилення щільності від середніх значень дорівнювало  $91 \text{ кг/м}^3$  при коефіцієнті варіації 4,97 %. Щільність верхнього шару донних відкладів восени склала  $1396 \text{ кг/м}^3 - 1738 \text{ кг/м}^3$ , середнє значення –  $1660 \text{ кг/м}^3$ . Стандартне відхилення щільності від середніх значень дорівнювало  $88 \text{ кг/м}^3$  при коефіцієнті варіації 5,04 %.

За отриманими геоакустичними параметрами шаруватої структури донних відкладів було проведено стратифікацію, графічна інтерпретація якої наведена на рис. 3.9.



а)



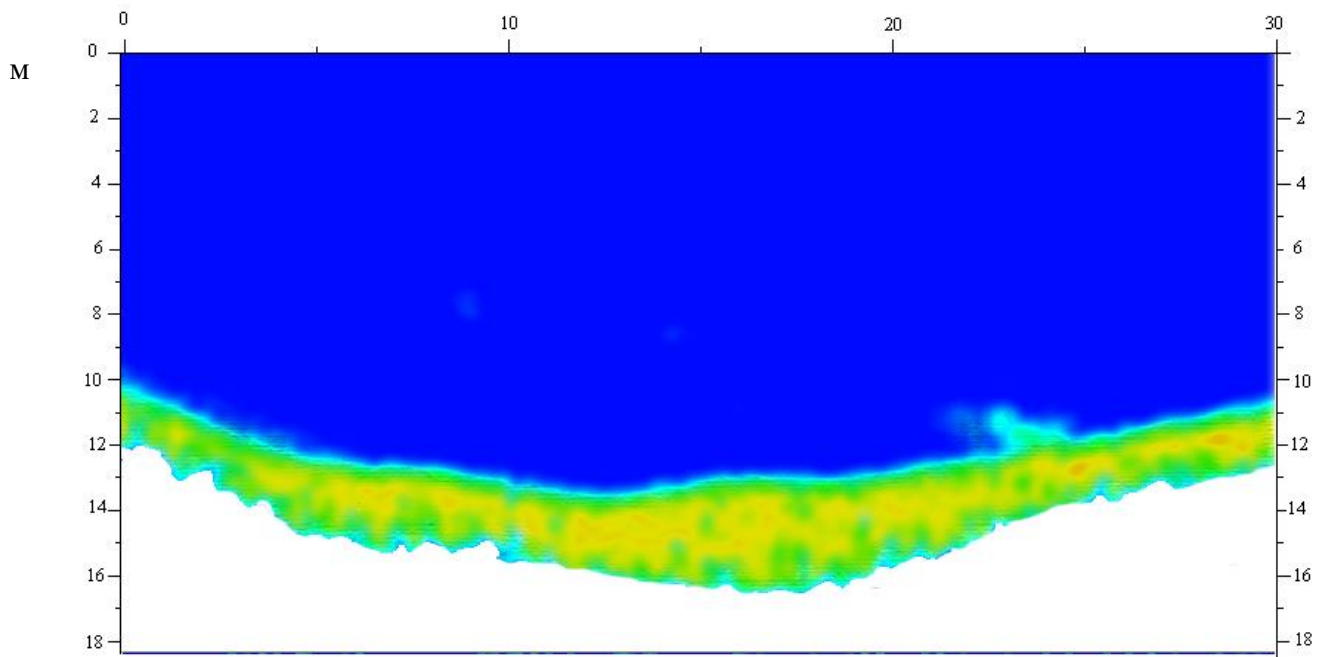
б)

Рис. 3.9 Стратифікація донних відкладів обстеженого полігону р. Дніпро (профіль району з великою гідродинамічною активністю):

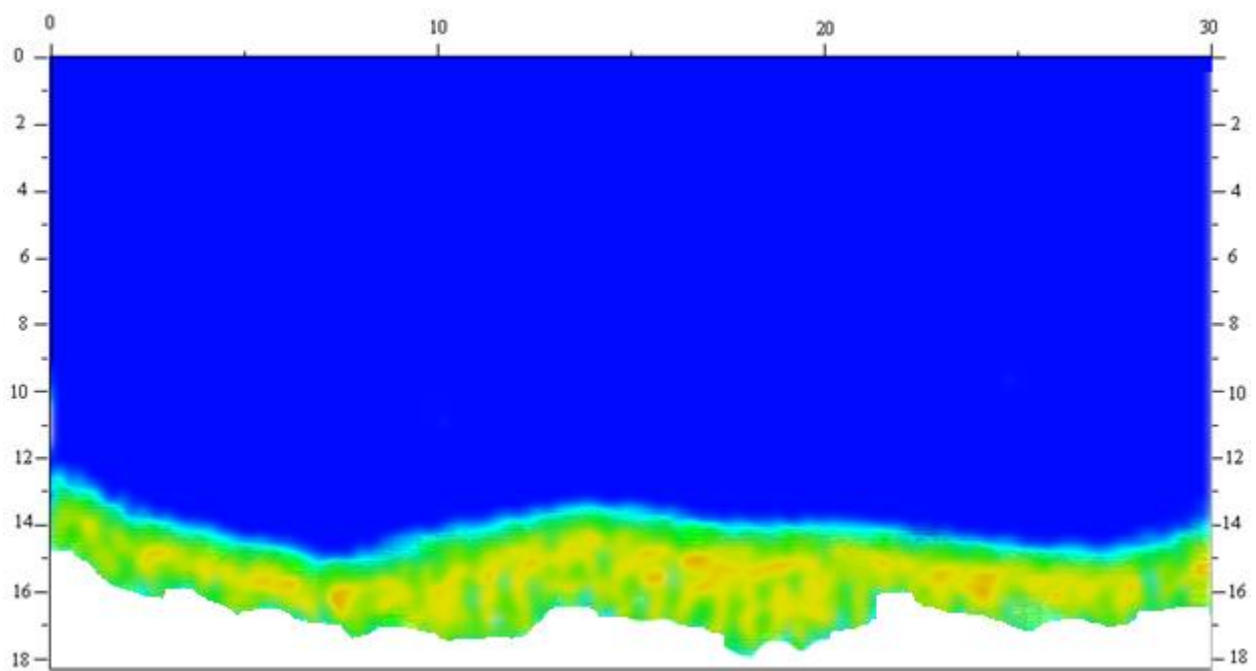
а) розріз донних осадів;

б) літологічні класи донних відкладів

На рис. 3.10 а та 3.10 б представлено результати оброки профілограм районів р. Дніпро з пасивними гідродинамічними умовами.



а)



б)

Рис. 3.10 Стратифікація донних відкладів обстеженого полігону р. Дніпро (профіль районів з пасивними гідродинамічними умовами):

а) розріз донних осадів плавнів о. Хортиця;

б) розріз донних осадів території судноремонтного заводу

Розріз донних осадів району з великою гідродинамічною активністю (рис. 3.9) має включення шарів крупнозернистих пісків, місцями гальки, а у розрізах донних осадів району з пасивними гідродинамічними умовами (рис. 3.10) седиментація реалізується в стабільній обстановці при інтегрованому впливі водного середовища, що сприяє накопиченню безперервних осадових розрізів, з плавними переходами глин та мулу.

На «Новому Дніпрі» (лівий, більший рукав Дніпра, що відділяє острів Хортицю від лівого берега Дніпра), в цілому, розрізи осадів відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення. У них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку. А на «Старому Дніпрі» (правий рукав), внаслідок динамічного стану гідросистеми та також завдяки активному впливу техногенних чинників, розріз осадів характеризується великою мінливістю та розмивом частини шарів.

Повторне дослідження полігону з використанням геоакустичного комплексу відбулося восени 2015 р. Результати обробки гідроакустичної інформації представлено у табл. 3.5.

Тепер можна порівняти результати обробки профілограм обстеження за 21.08.2015 р. та 12.11.2015 р. На рис. 3.11 представлено графіки порівняння визначених коефіцієнтів відбиття та щільності в 24-х точках пробовідбору обстеження.

Графіки на рис. 3.11 та 3.12 демонструють незначну зміну фізико-механічних параметрів верхнього шару донних відкладів обстеженого полігону у різні сезони за рахунок зміни концентрації мулів у піску.

Таблиця 3.5

**Геоакустичні параметри донних відкладів у точках пробовідбору та їх стратифікація з відсотковими показниками поєднання в шарі декількох літологічних класів (за результатами дослідження полігону восени 2015 р.)**

Номер точки	Широта	Довгота	Коеф. Відбиття	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с	Пісок, %	Мул, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	47°47,5408	35°10,0967'	0,3	1709	1639	70	30
2	47°47,5404'	35°10,0162'	0,33	1772	1668	58	42
3	47°47,5422'	35°09,9364'	0,31	1738	1650	65	35
4	47°47,5419'	35°09,8523'	0,35	1840	1668	91	9
5	47°47,5426'	35°09,7748'	0,32	1735	1679	91	9
6	47°47,5423'	35°09,6927'	0,33	1840	1611	97	3
7	47°47,5422'	35°09,6123'	0,33	1818	1614	95	5
8	47°47,5422'	35°09,5344'	0,33	1834	1627	94	6
9	47°47,3869'	35°09,4797'	0,33	1835	1635	91	9
10	47°47,3878'	35°09,5569'	0,33	1825	1625	94	6
11	47°47,3886'	35°09,6393'	0,34	1872	1624	100	0
12	47°47,3878'	35°09,7179'	0,33	1866	1613	99	1
13	47°47,3878'	35°09,8003'	0,34	1872	1631	97	3
14	47°47,3869'	35°09,8801'	0,33	1823	1639	92	8
15	47°47,2641'	35°09,8659'	0,31	1786	1591	85	15
16	47°47,2623'	35°09,7835'	0,35	1882	1650	99	1
17	47°47,2632'	35°09,7063'	0,35	1875	1663	100	0
18	47°47,2623'	35°09,6252'	0,34	1846	1647	93	7
19	47°47,2632'	35°09,5479'	0,33	1815	1630	92	8
20	47°47,2636'	35°09,4681'	0,33	1868	1617	97	3
21	47°47,6099'	35°10,0130'	0,3	1711	1635	61	39
22	47°47,6101'	35°10,0976'	0,29	1691	1613	62	38
23	47°47,4908'	35°10,0165'	0,26	1620	1586	54	46
24	47°47,4882'	35°10,0944'	0,28	1649	1597	57	43

Можна порівняти обчислені точкові оцінки [1] визначеної щільності в 24-х точках пробовідбору за даними двох обстежень (нижні індекси показують приналежність значення):

- математичні сподівання:  $M_{21/08} = 1796,875$ ,  $M_{12/11} = 1798$ ;

- дисперсії:  $D_{21/08} = 5411,27$ ,  $D_{12/11} = 5564,4$ ;

- середньоквадратичні відхилення:  $\sigma_{21/08} = 73,5$ ,  $\sigma_{12/11} = 74,29$ .

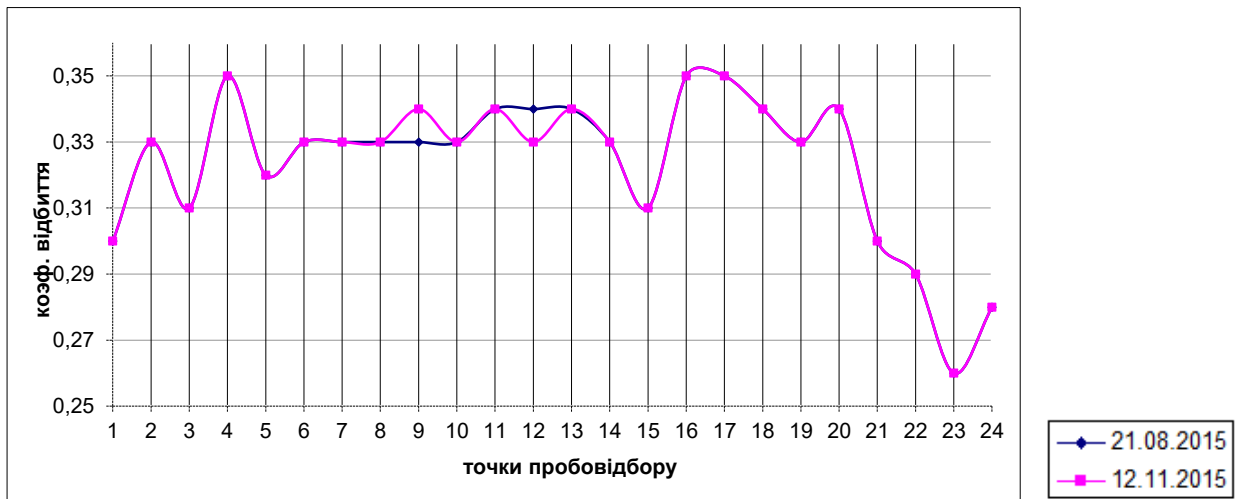


Рис. 3.11 Порівняння визначених коефіцієнтів відбиття в 24-х точках пробовідбору обстеження за 21.08.2015 р. та 12.11.2015 р.

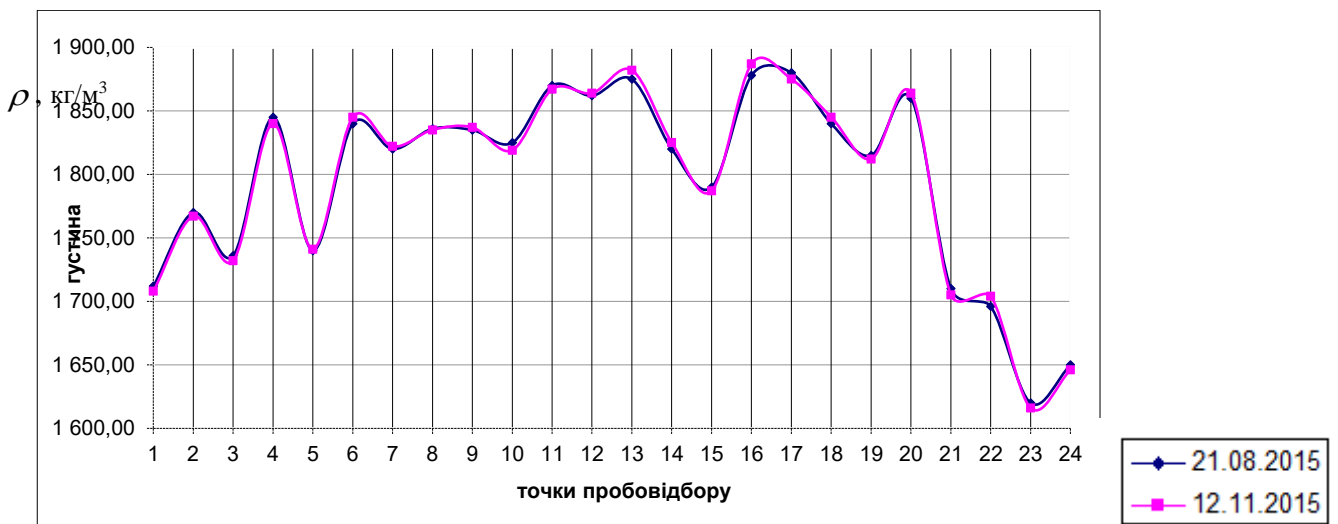


Рис. 3.12 Порівняння визначеної щільності в 24-х точках пробовідбору обстеження за 21.08.2015 р. та 12.11.2015 р.

Використаємо для перевірки відмінностей між двома вибірками парних вимірів непараметричний статистичний Т-критерій Вілкоксона [2]. Він призначений для зіставлення показників, виміряних в двох різних умовах на одній тій самій вибірці (визначеної щільності в 24-х точках пробовідбору) та дозволяє встановити не тільки напрямок змін, але й їх вираженість, тобто здатний визначити, чи є зрушення

показників в одному напрямку більш інтенсивним, ніж в іншому.

Визначивши критичні значення параметра  $T_e$  для даного  $n = 24$  менше або дорівнює  $T_{kp}$ , (тобто табличному) означає, що зрушення в "типову" сторону за інтенсивністю достовірно переважає.

Між пробовідбором за 21.08.2015 р. і пробовідбором за 12.11.2015 р. виявлено достовірні відмінності за критерієм Вілкоксона. Показники пробовідбору 12.11.2015 р. достовірно вище, ніж в пробовідборі за 21.08.2015 р.

Дослідження дали змогу простежити незначну зміну геоакустичних параметрів верхнього шару донних відкладів обстеженого полігону у різні сезони за рахунок зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів. Для більш конкретних висновків необхідно продовжити дослідження в цьому напрямі. Отримані результати можуть заснувати досконаліші адаптивні гідроакустичні методи дистанційного екологічного моніторингу акваторій. Великою перевагою гідроакустики для екологічного моніторингу гідросфери є широкий діапазон частот акустичних сигналів, що реєструють характеристики водного середовища, дна та донних відкладів. Використання технологій гідроакустичних досліджень дозволяє отримати відомості про геоморфологічні та літологічні особливості дна на досить великих площах і значно скоротити час проведення моніторингу.

### **3.3 Геологічні, літологічні, мінералогічні та геохімічні методи дослідження**

Геологічні методи дослідження проходили за двома напрямками:

- перевірка та контроль розробленої методики дистанційного визначення геоакустичних параметрів та класифікації за літологічними класами донних відкладів;
- доповнення та уточнення отриманої дистанційно інформації, з метою комплексного аналізу.

Відбір зразків донних відкладів в геологічних колонках та дночерпальних пробах за площею в 75-му рейсі НДС «Професор Водяницький» проводився

фахівцями Інституту геологічних наук НАН України з метою комплексного вивчення складу твердої, рідкої та газоподібної складової [3].

Було оброблено 37 ґрунтових станцій та взято 4 дночерпальні проби в зоні зовнішнього, внутрішнього шельфу та континентального схилу на глибинах від 60 м до 916 м: 17 станцій та 3 дночерпальні проби на Полігоні № 1 (рис. 3.5 а) з глибинами 60-191 м; 13 станцій на Полігоні № 2 (рис. 3.5 б) з глибинами 395-916 м; 2 станції на континентальному схилі північно-західної частини та 2 дночерпальні проби на шельфі західної частини Кримського півострова [4]. На рис. 3.13 - 3.16 приводяться деякі фотокартки кернів в заданих точках полігонів.



Рис. 3.13 Станція 61 глибина 470 м [4]



Рис. 3.14 Станція 70 глибина 798 м [4]





Рис. 3.15 Станція 83 (верх) глибина 678 м [4]



Рис. 3.16 Станція 83 (низ) глибина 678 м [4]

Фахівцями Інституту геологічних наук НАН України проведено детальний літолого-фаціальний, пошаровий опис (табл. 3.6 [4]) з фіксацією в вертикальному зрізі колонки потужностей різних літологічних типів відкладів, їх текстурних особливостей, наявності включень та палеонтологічних домішок.

Вихідним матеріалом для доповнення та контролю дистанційних досліджень річкових донних відкладів р. Дніпро були відібрані проби (рис. 3.17) поверхневого шару донних відкладів в заданих точках полігону, показаного на рис. 3.6.

Фахівцями Інституту геологічних наук НАН України паралельно проводились дослідження літолого-геохімічних особливостей формування геохімічного та мінералогічного складу річкових відкладів. Відібрані проби аналізували на вміст мікроелементів, для детального аналізу гранулометричного складу зразків було використано лазерний седиментограф Mastersizer 2000.

Таблиця 3.6

**Літолого-фаціальний, пошаровий опис колонки станції 61 [4]**

Станція 61			
Глибина 470 м Довжина колонки 1,50 м			
Координати: $\varphi$ 44° 36.81' N; $\lambda$ 36° 37.29' E			
№	Інтервал, м	Вік	Літолого-стратифікований опис
1	0,10-0,20	H ch 2	Мул пелітовий, сірий, в інт. 0,0-0,10 м рідкий, 0,10-0,20 м – напіврідкий, з запахом H <sub>2</sub> S
2	0,2-1,50	H ch 2	Мул сірий, м'який, пластичний, в інт. 0,20-0,75 м з незначними включеннями гідротроїліту, однорідний за складом, кольором, щільністю; в інт. 0,6-1,5 м з включеннями грязьовулканічної брекчії, з запахом H <sub>2</sub> S

Мінеральний, макро- та мікрокомпонентний хімічний склад зразків натурної речовини визначено за допомогою електронної мікроскопії, а також енерго- та хвиледисперсійних аналізів (сканувальний електронний мікроскоп (сем) JEOL6490 LV (JEOL Ltd., Японія).

Геологічні дослідження показали, що проби у межах берегової смуги - це алеврито-піщаний матеріал, який характеризується відносно незмінним хімічним складом для різних точок опробування та відсутністю підвищеної концентрації важких металів у порівнянні з регіональним фоновим вмістом (рис. 3.18) [5].

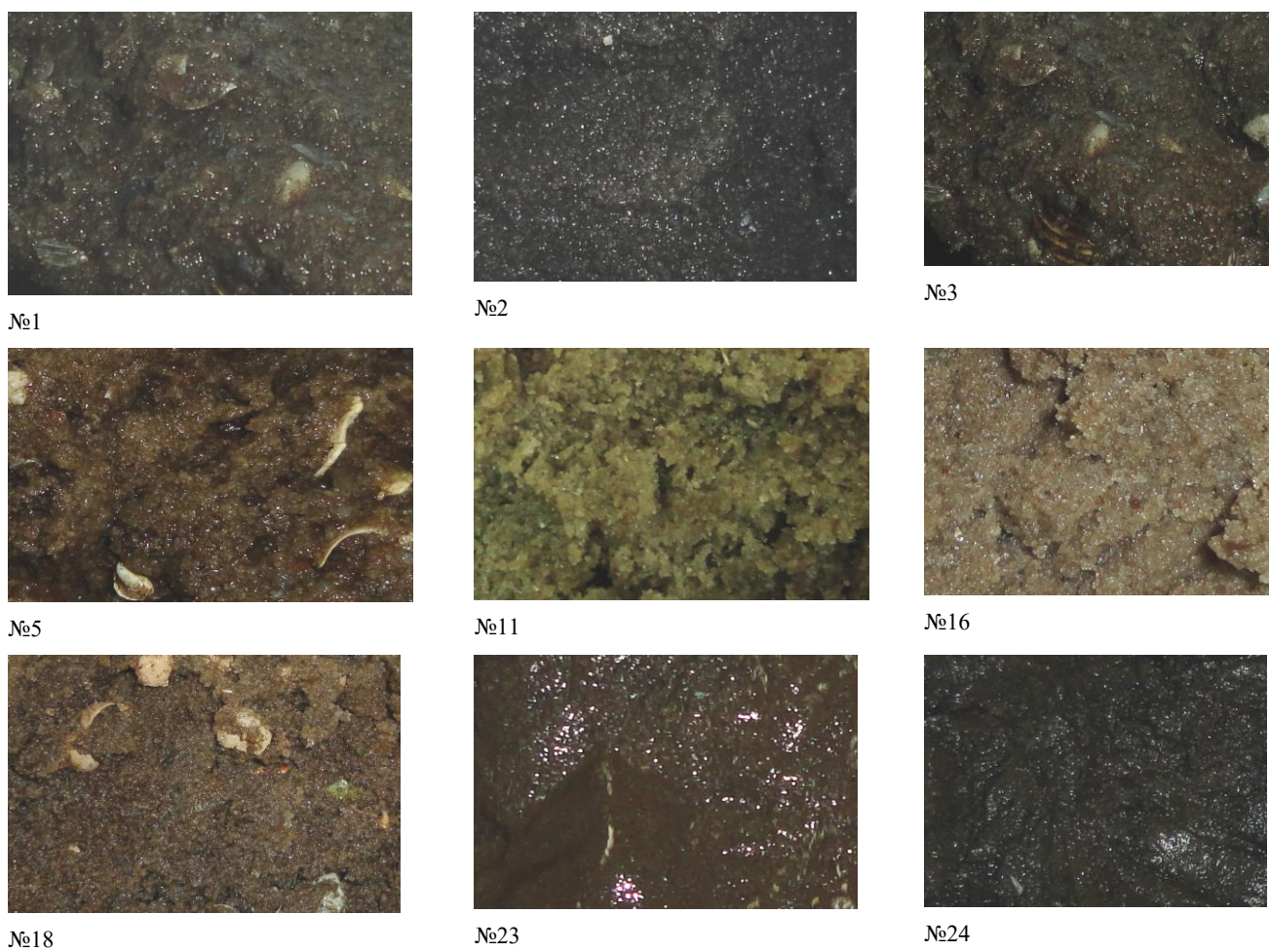


Рис. 3.17 Вибрані характерні фотографії проб відбору поверхневого шару донних відкладів в заданих точках полігону р. Дніпро (вказано номери точок)

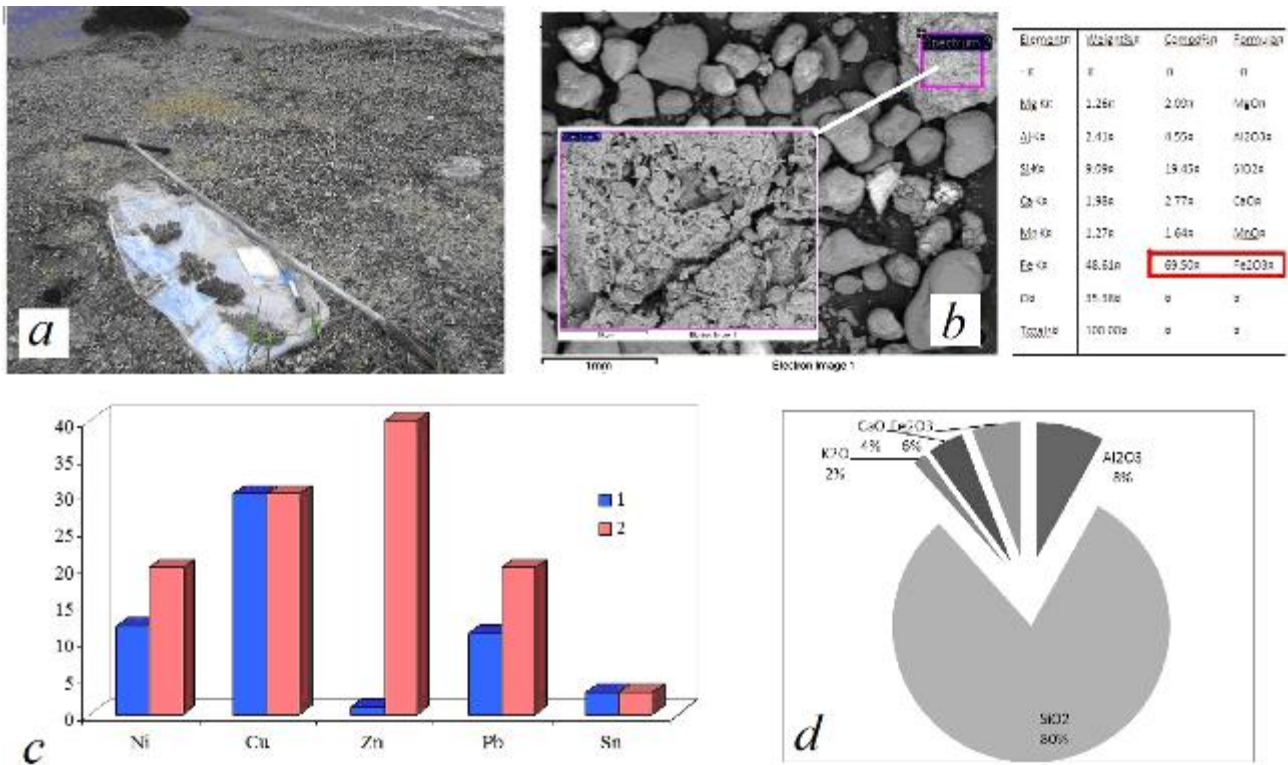


Рис. 3.18 Геологічні дослідження у межах берегової смуги в заданих точках полігону р. Дніпро

- процес відбору вертикальної колонки проб в межах берегової смуги Дніпра;
- електронно-мікроскопічний знімок відібраної проби та хімічний склад фрагменту зразка - агрегату з дрібнодисперсних уламкових і глинистих частинок;
- вміст важких металів у складі проби, відібраної в межах прибіжної зони узбережжя Дніпра та регіональне фонове значення, мг/кг;
- розподіл основних компонентів хімічного складу в пробі, відібраної в межах прибіжної зони узбережжя Дніпра [6]

Було також досліджено мінеральний склад фракцій  $<0,01$  мм та  $<0,001$  мм донних відкладів. Рентгенофазові дослідження дали змогу виявити мінеральний склад фракцій донних відкладів (рис. 3.19, 3.20). Мінерали глинистої фракції представлені гідрослюдою, хлоритом, каолінітом, а також вони містять польовий шпат і кварц [5].

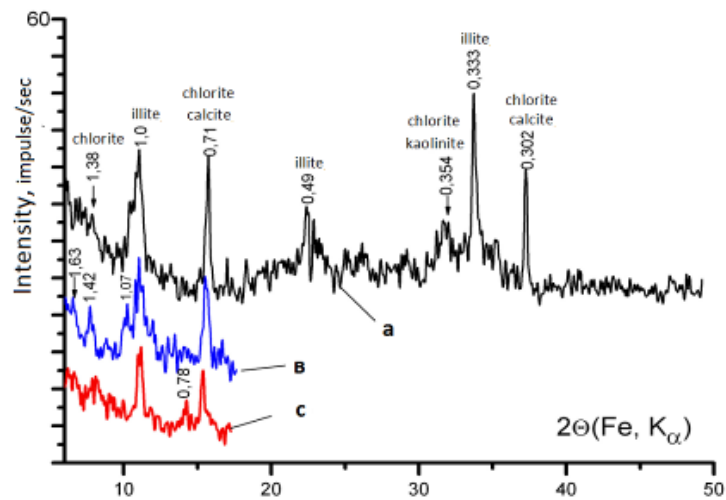


Рис. 3.20 Фракція  $< 0,001$  мм: склад: гідрослюда, хлорит, каолініт, кальцит, змішано-шарувате утворення гідрослюда-монтморилоніт (домішка). а – вихідний, b – насичений етиленгліколем, c – відпалений за  $T=550$  град [5]

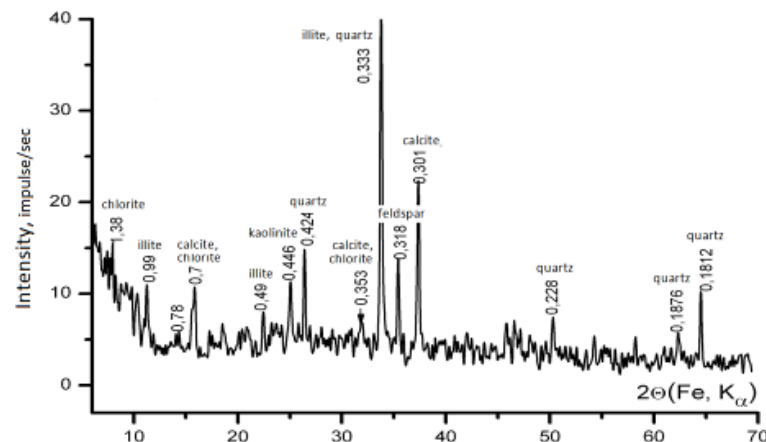


Рис. 3.21 Фракція  $< 0,01$  мм: склад: гідрослюда, хлорит, каолініт, кварц, кальцит, польовий шпат [5]

Дослідження показали, що асоціації глинистих мінералів є результатом перетворення осадового матеріалу за певних фізико-хімічних умов. Мінеральний склад донних відкладів визначає їхню потенційну можливість сорбувати і утримувати забруднювачі. Такі властивості мають мінерали групи монтморилоніту, змішано-шаруваті утворення, дещо менше - деградовані гідрослюди. Катіони важких металів

здатні входити в міжшаровий простір глинистих мінералів і в такому вигляді не визначено довго зберігатися в донних відкладеннях.

Привертала увагу наявність у мінеральному складі берегових наносів уламкових частинок (зерен), представлених гематитом. Роботи з відбору проб верхнього шару донних відкладів виконано на експериментальному полігоні у межах репрезентативної ділянки акваторії Дніпра. Аналіз проб донних відкладів за допомогою електронного мікроскопу засвідчив наявність мінеральних фаз алевритової та пелітової розмірності з підвищеним вмістом оксиду заліза та низки важких металів (мідь, нікель, хром). Також значна кількість сферичних утворень у складі проб вказує на те, що генетично певна частка речовинного складу донних відкладів має атмосферне надходження. Варто зазначити залежність між мінеральним і гранулометричним складом донних відкладів, і розподілом у них важких металів, що обумовлено геоморфологією дна та особливостями гідродинаміки певних ділянок акваторії.

Суттєвою особливістю виконаних досліджень - зміна речовинного складу алеврито-піщаної фракції натурної речовини - уламкова складова, представлена в донних відкладах кварцом (рис. 3.22). Дослідження мінерального складу зразків засвідчили неоднорідність його компонентів у пробах різних часових періодів. Зокрема, наприкінці літа - початку осені (серпень-вересень) у складі натурної речовини домінують хемогенні утворення, наявні черепашки та детрит планктонних організмів, і, в значно меншій кількості, атмосферна речовина і теригенна складова.

Для проб другої половини осені (жовтень-листопад) більш характерні фрагменти планктонних організмів, детрит і теригенні мінерали.

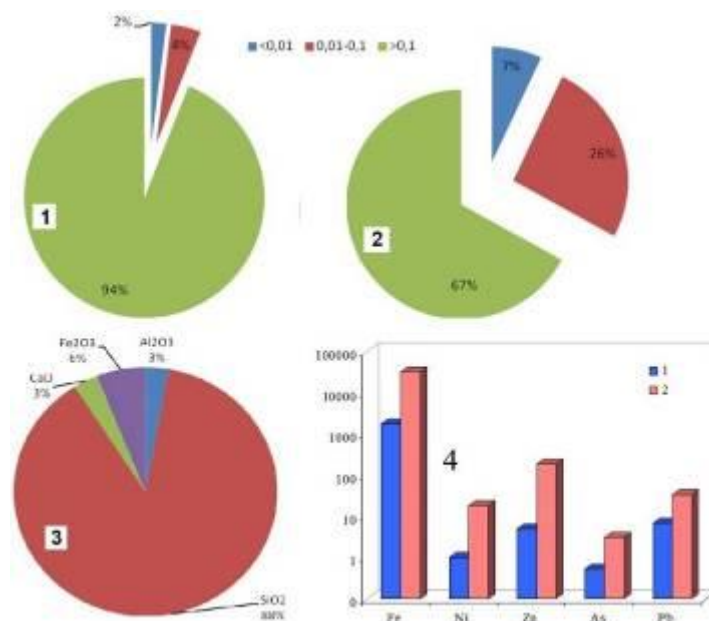


Рис. 3.22 Розподіл основних компонентів гранулометричного складу проб верхнього шару донних відкладів Дніпра

- 1) на застійних ділянках акваторії;
- 2) гідродинамічно активних ділянках акваторії;
- 3) розподіл основних компонентів хімічного складу (середнє для різних точок пробовідбору) проб верхнього шару донних відкладів;
- 4) порівняльна діаграма вмісту важких металів в пробах верхнього шару донних відкладів в межах гідродинамічно активних (перший стовпчик) та застійних (другий стовпчик) ділянок досліджуваної акваторії [5]

### Висновки до розділу 3

Дослідження розподілу різноманітних літологічних типів сучасних морських (річкових) донних відкладів, що мають певні геоакустичні параметри, дає можливість охарактеризувати процеси осадконакопичення на досліджуваній акваторії.

Детальна інформація про рельєф дна і його морфометричні характеристики представляють суттєвий інтерес як для практичних цілей (навігація, гідротехнічне будівництво, видобуток корисних копалин), так і для наукових досліджень в області океанології, морської геології і геофізики.

Обґрунтованість і достовірність дистанційних методів базується на

використанні аналітичних (математичних) методів обробки та даних лабораторних аналізів предмету дослідження. Комплексний підхід на основі аналізу геоакустичних і контактних методів відкриває нові можливості ефективного дистанційного моніторингу обраного полігону, найбільш повно використовує всю корисну інформацію, отриману геоакустичним комплексом.

### Список використаних джерел у розділі 3

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва, 1970. 832 с.

2. Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*. Vol. 1, №. 6. (Dec., 1945), P. 80-83.

3. Формы рельефа дна Черного моря как возможные проявления современной геодинамической активности / Шнюков Е.Ф. и др. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 2 (28). С. 99-103.

4. Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря / Емельянов В.А. и др.; под ред. А.Ю. Митропольского. Киев: ИГН НАН Украины, 2013. 141 с.

5. Наседкин Е.И. Характеристики эоловых потоков твердого вещества в зоне взаимодействия суши и моря. Геологічний журнал, 2014. С. 65-73

*Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:*

1. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Іванова Г.М., Довбиш С.М., Нікітіна А.О., **Федосєнков С.Г.** Закономірності формування вмісту нікелю в складі седиментаційних потоків. Зб. наук. пр. Інституту геологічних наук НАН України. 2015. Т. 8. С. 139-144.

2. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., **Федосєнков С.Г.**, Іванова Г.М., Довбиш С.М. Відновлення та адаптація проекту моніторингу седиментаційних



процесів на шельфі Чорного моря на полігоні "Запоріжжя". *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2016. № 3. С. 89-94.

3. Гончар А.И., Шундель А.И., **Федосеенков С.Г.** Некоторые аспекты создания структурных моделей неоднородного слоистого дна. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 151-155.

4. **Федосеенков С.Г.** Методика дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Modern Science – Moderní Věda*. 2016. №3. С. 179-186.

5. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Спектральные методы послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2013. № 10. С. 68-79.

6. Гончар А.И., Мартыновская Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Оценка типов донного грунта по отраженным сигналам однолучевого эхолота. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2014. № 11. С. 44-51.

7. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Прогнозирование цифровой модели рельефа по модельным данным гидрогеоакустических средств. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2014. № 11. С. 9-16.

8. Гончар А.И., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Вероятностная оценка послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды XI Всероссийской конф. ГА-2012. 22–24 мая 2012 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2012. С. 265-268.

9. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И.

Геоакустические методы исследования дна. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 299-309.

10. Гончар А.И., Гончар Ю.А., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.** Методология дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды XII Всероссийской конф. ГА-2014, 27-29 мая 2014 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2014. С. 483-486.

## РОЗДІЛ 4

### ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ ТА ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ДНА ЗА ДАНИМИ ГІДРОАКУСТИЧНОЇ ЗЙОМКИ

Крім вже досліджених районів нижньої течії р. Дніпро та окремих акваторій північно-східних районів Чорного моря у 2018 році Державна установа «Держгідрографія» Міністерства інфраструктури України спільно з ДУ «Гідрофізичний центр НАН України» розробили проект науково-дослідницької програми з відновлення океанографічної бази даних України. 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) Національної академії наук України, Міністерства інфраструктури України та Морської адміністрації.

Відповідно до положень Угоди про науково-технічне співробітництво між зазначеними установами у 2018 році проведено три спільні комплексні науково-дослідні експедиції, а саме:

з 8 по 14 вересня - річкова експедиція «Дніпро-2018» в акваторії Канівського водосховища річки Дніпро з використанням судна «Дельфін» (судновласник – ДУ «Держгідрографія»);

з 9 по 11 жовтня - морська експедиція «Чорне море-2018». Під час експедиції було досліджено акваторію північно-західної частини Чорного моря з використанням великого гідрографічного катера «О. Солодунов» (судновласник – ДУ «Держгідрографія»). Загальна протяжність маршруту експедиції – понад 160 морських миль.

з 6 по 8 листопада - річкова експедиція «Дунай-2018», яка завершила цикл досліджень морського і річкового середовища, запланованих у поточному році. Під час експедиції було вивчено акваторії гирла Бистре, Очаківського гирла та Соломонова рукава дельти Дунаю з використанням спеціалізованих суден: малого

гідрографічного судна «Шляховик» і малого гідрографічного катера «Гідрограф-3» (судновласник – ДУ «Держгідрографія»).

Специфіка вибору районів робіт дає підставу розглядати їх як полігони для розробки, випробування та впровадження різних техніко-методичних і технологічних прийомів виділення, оцінки та аналізу гідрофізичних параметрів акваторій у широкому діапазоні стратегічних задач промислово-господарського комплексу України.

#### **4.1 Геоморфологічні та літологічні особливості північно-східних районів Чорного моря**

При виконанні морських експериментальних досліджень північно-східних районів Чорного моря отримані профілограми, на яких переважали однорідні протяжні відбиття (рис. 4.1), що свідчили про синхронні зміни умов седиментації в межах великих площ.

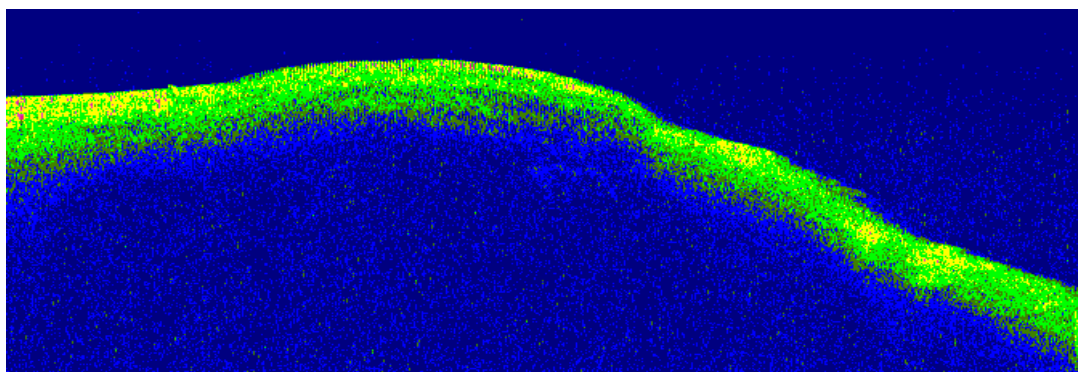


Рис. 4.1 Фрагмент профілограми - акустично прозорі слабостратифіковані товщі

Освітлені (акустично прозорі) слабостратифіковані товщі вказували на їх петрофізичну однорідність (гомогенність). Це типово для великих глибоководних площ, де седиментація слабо залежить від фізико-географічних і гідродинамічних умов та реалізується в стабільній обстановці при інтегрованому впливі водного середовища, що сприяє накопиченню безперервних осадових розрізів.

Також це було підтверджено літологічним аналізом проб донних відкладів. За даними гідрогеоакустичної зйомки було отримано 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. Це були морські малопотужні піски, глини, алеврити на окремих структурних підняттях (рис. 4.2) в центральній зоні Прикерченського району шельфу Чорного моря.

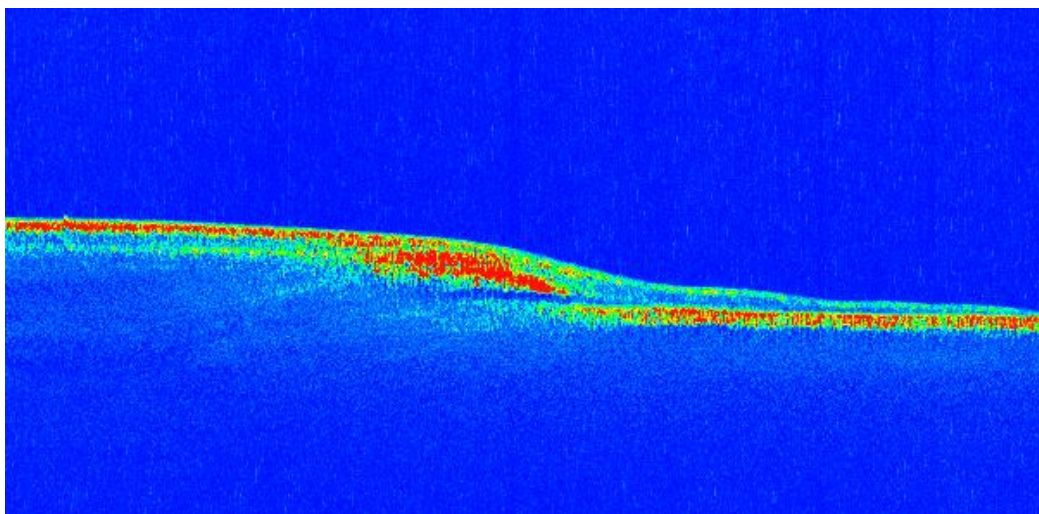


Рис. 4.2 Фрагмент профілограми - структура шарів донних відкладів (мули алевритово-пелітові потужністю біля 3 м на шарі глини)

Слід зазначити, що загалом в отриманих ехо-сигналах морського дна міститься інформація про тонку шарувату структуру донних відкладів з розрізнявальною здатністю до 0,3 м. Отримані дані є унікальними і потребують додаткового подальшого вивчення для проведення детальної стратифікації морських донних відкладів.

Поверхня дна першого досліджуваного полігону (рис. 4.3) розміром 7 км × 25 км загалом була рівною та мала пологий схил в сторону глибоководної западини. Глибина коливалася в межах 60 м – 120 м.

Рельєф другого полігону (рис. 4.4) розміром 7 км × 16 км, в межах структури Палласа, відрізняється складною морфоструктурою, а саме підводними хребтами (рис. 4.5) та уступами.

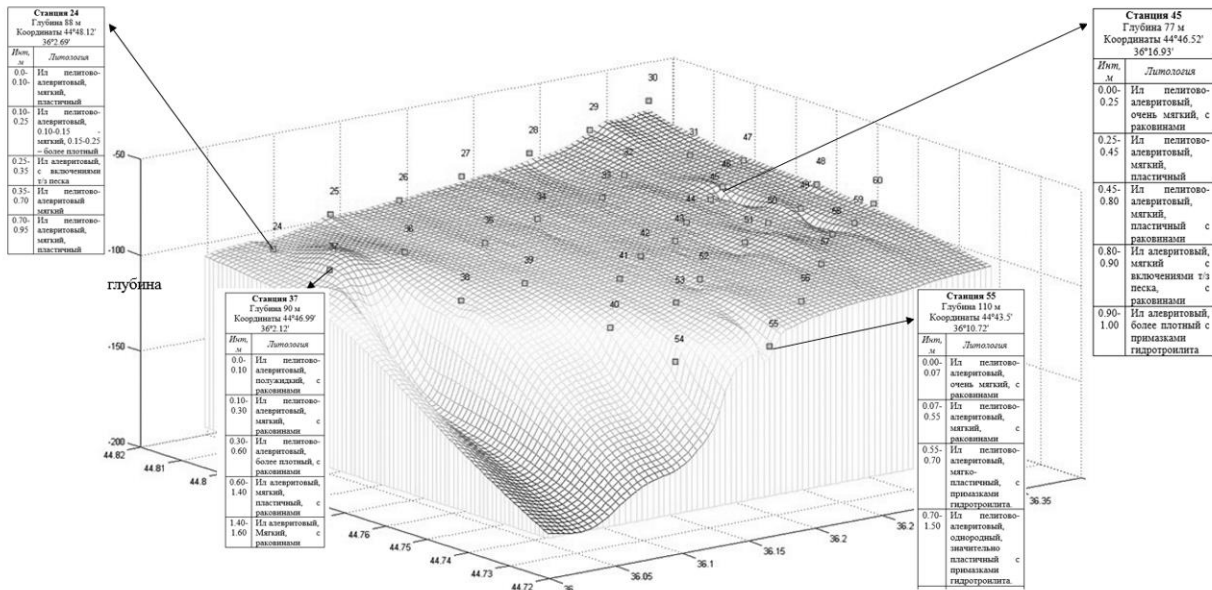


Рис. 4.3 Модель даних геолого-літологічної інформації першого досліджуваного полігону, що побудована за результатами комплексного геологічного і геофізичного дослідження

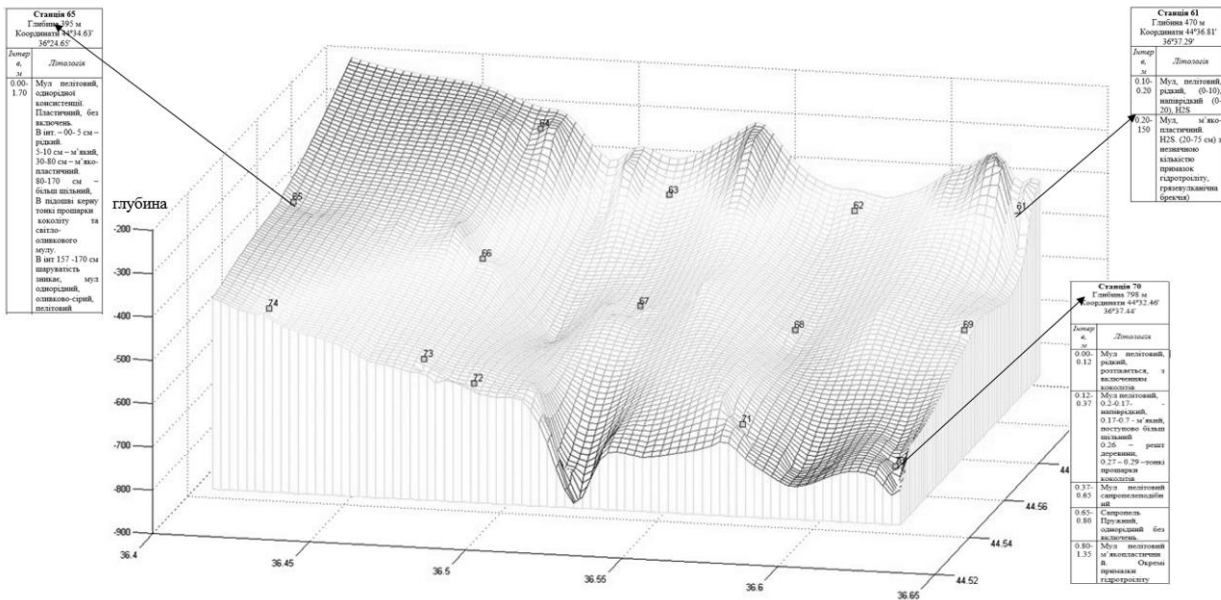


Рис. 4.4 Модель даних геолого-літологічної інформації другого досліджуваного полігону північно-східній частині акваторії Чорного моря (континентальний схил Прикерченського району), яка побудована за результатами комплексного геологічного і геофізичного дослідження

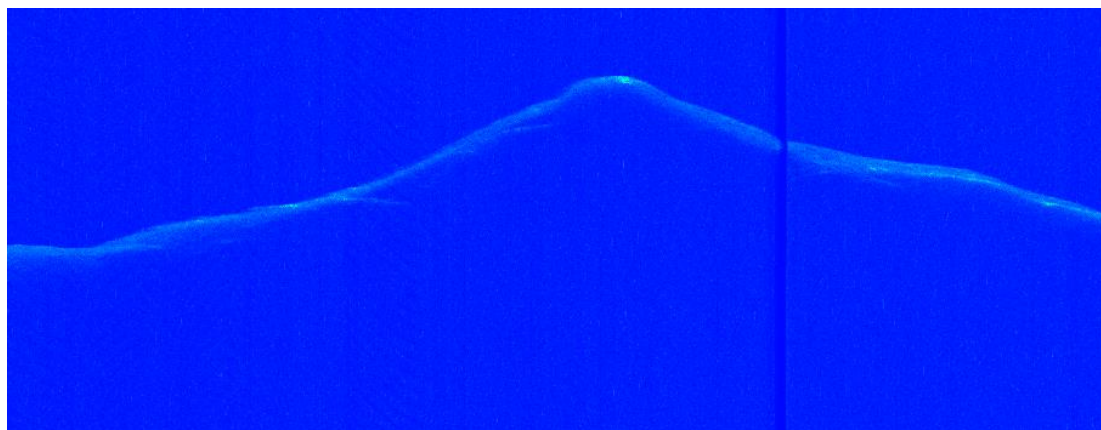


Рис. 4.5 Фрагмент профілограми – профіль одного з хребтів (глибина 350 м)

Уступи розділяють схил на сходини (рис. 4.6) з різними кутами нахилу його поверхні. Найбільше число уступів зафіксовано в західній частині схилу. Для цієї зони характерні прояви зсувних й обвальних процесів у зв'язку з високими градієнтами кутів нахилу поверхні схилу.

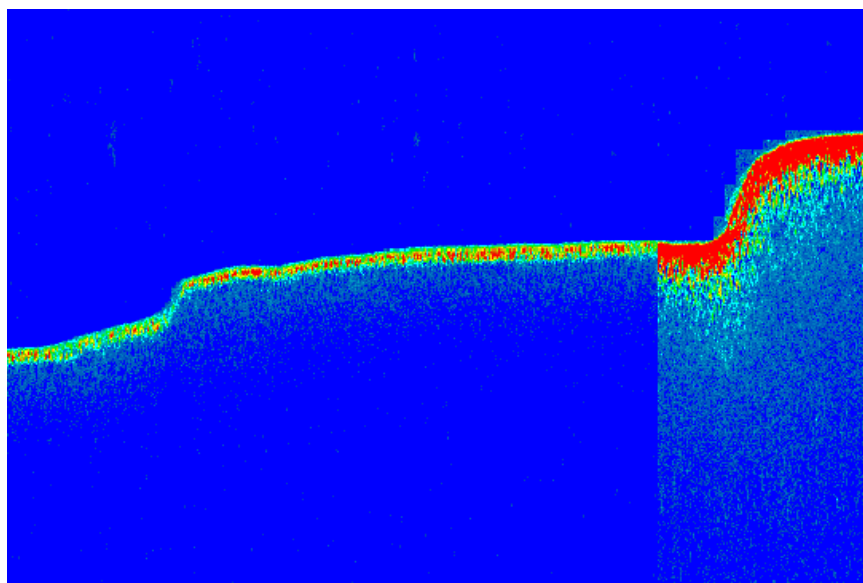


Рис. 4.6 Фрагмент профілограми – уступи розділяють схил на сходини (глибина 110 м)

Пологі уступи і поверхні, що розвинені на корінних відкладах, в більшій частині перекриваються сучасними й четвертинними відкладами, а саме морськими мулами з

включенням гравію та піщанистого матеріалу, мулами пелітовими з черепашками.

В процесі проведення геоакустичного профілювання було виявлено значну кількість одиночних (рис 4.7) і окремих груп газових факелів, які є особливими формами ендеогединамічної активності та проявами газового й грязьового вулканізму в Керченсько-Таманському районі Чорного моря.

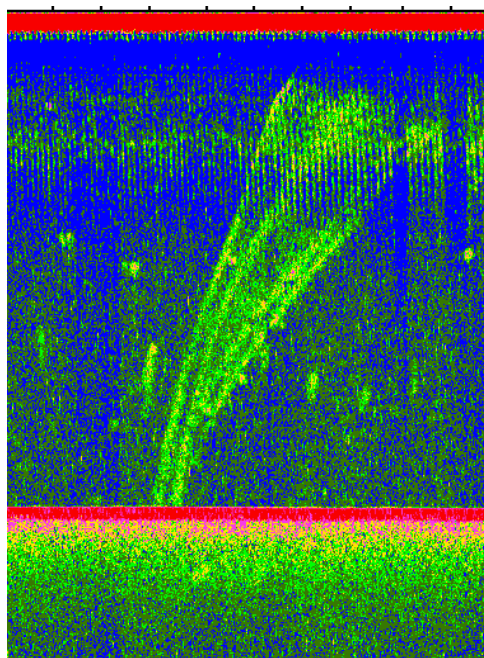


Рис. 4.7 Фрагмент профілограми - газовий факел на глибині 72 м, висота факелу 50 м

Профільна геоакустична зйомка морського дна дозволила зафіксувати характерні для грязьових вулканів особливості морфоструктури дна – окремі підняття, а в шарі поверхневих донних відкладів - грязьовулканічну брекчію (рис. 4.8). Геоакустичні параметри в шарах показали характерну для неї щільність та швидкість звуку.

Ці особливості загальної геолого-геоморфологічної будови показують схожість виявлених форм рельєфу морського дна з проявами грязьового вулканізму на раніше визначених вулканах Чорного моря [1].

Тобто гідроакустичний комплекс та розроблена методика обробки



геоакустичної інформації здатні вирішувати задачі пошуку та обстеження грязьових вулканів.

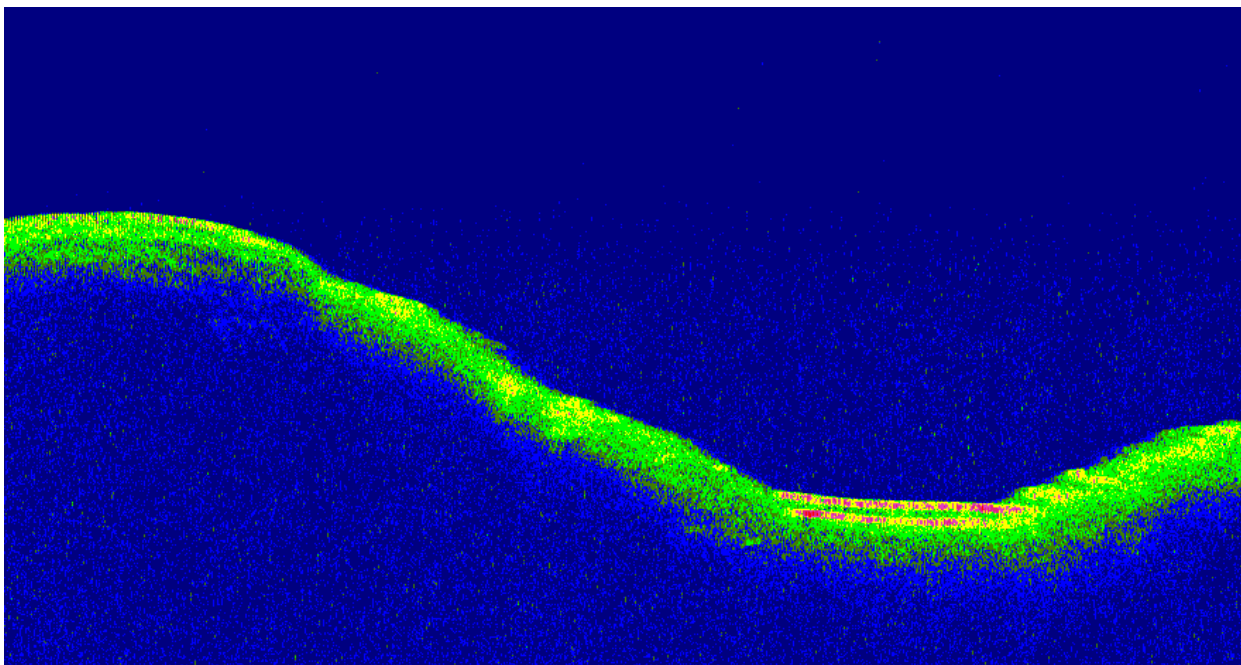


Рис. 4.8 Фрагмент профілограми – два шари грязьовулканічної брекчії на глибині 240 м

В табл. 4.1 представлені найбільш характерні геоморфологічні та літологічні особливості окремих районів Чорного моря за даними геоакустичної зйомки.

Таблиця 4.1

**Характерні геоморфологічні та літологічні особливості  
окремих районів Чорного моря за даними геоакустичної зйомки**

№	Координати	Глибина, м	Геоморфологічна особливість	Літологічна особливість(за даними геоакустичних параметрів)
1	$\varphi$ 44° 43.52' N; $\lambda$ 36° 16.17' E	114	уступ	два суттєво неоднорідні шари донних відкладів (алевритові пеліти потужністю біля 3 м на шарі глини)

<i>Продовж. табл. 4.1</i>				
1	2	3	4	5
2	$\varphi$ 44° 36.73' N; $\lambda$ 36° 31.39' E	405	профіль одного з хребтів в межах структури Палласа	прояви зсувних і обвальних процесів, шари суттєво відрізняються за щільністю
3	$\varphi$ 44° 47.15' N; $\lambda$ 36° 51.61' E	242	окреме підняття висотою 40 м	поверхневі донні відклади містили грязьовулканічну брекчію
4	$\varphi$ 44° 43.51' N; $\lambda$ 36° 11.07' E	117	уступ	два суттєво неоднорідні шари донних відкладів (алевритові пеліти потужністю біля 4 м на шарі глини)
5	$\varphi$ 44° 40.45' N; $\lambda$ 36° 11.07' E	117	два уступи, що розділяють схил на ступені	суттєво неоднорідні шари донних відкладів
6	$\varphi$ 44° 45.04' N; $\lambda$ 36° 20.14' E	72	рівне дно	газовий факел висотою 50 м
7	$\varphi$ 44° 45.03' N; $\lambda$ 36° 19.93' E	122	рівне дно	група з чотирьох газових факелів висотою 20-30 м
8	$\varphi$ 44° 32.36' N; $\lambda$ 36° 28.43' E	362	схил пологий	верхній шар донних відкладів переважно складався з рідкого пелітового мулу
9	$\varphi$ 44° 34.68' N; $\lambda$ 36° 28.45' E	452	профіль одного з хребтів в межах структури Палласа	прояви зсувних і обвальних процесів, шари суттєво відрізняються за щільністю
10	$\varphi$ 44° 36.65' N; $\lambda$ 36° 37.16' E	375	профіль одного з хребтів в межах структури Палласа	неоднорідна шарувата структура донних відкладів, які відрізняються за щільністю

Теригенний матеріал надходить в глибоководні частини північно -східних районів Чорного моря через зону зчленування Криму і Кавказу та з боку північно-західного шельфу.

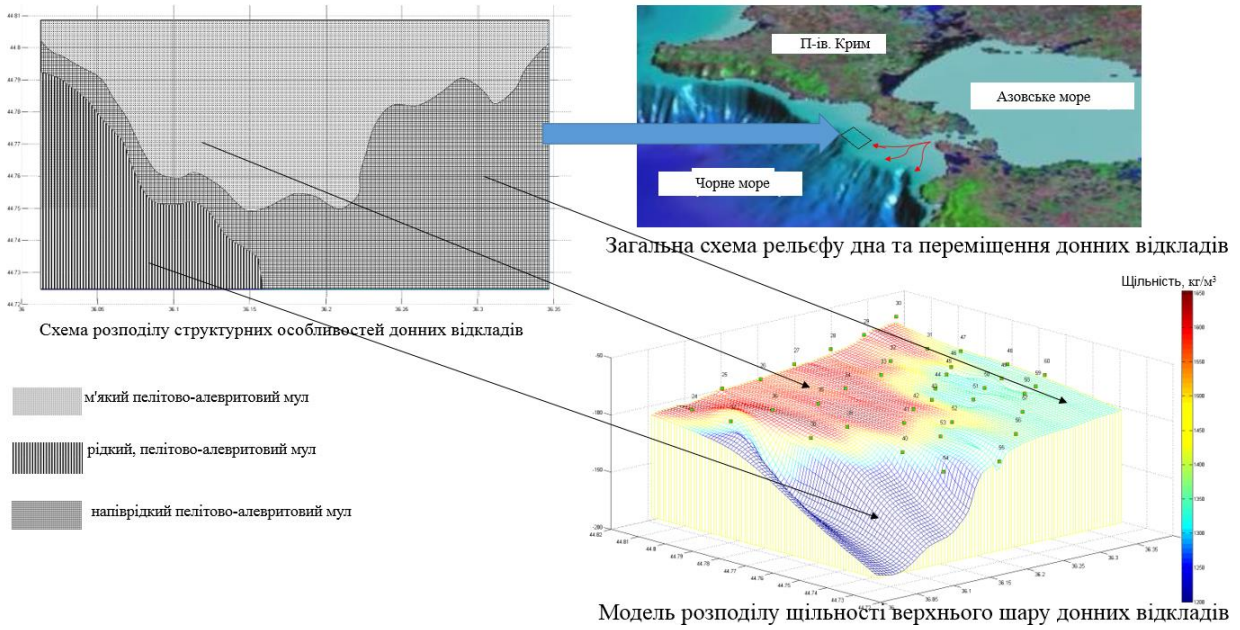


Рис. 4.9 Модель розподілу щільності верхнього шару 0-10 см донних відкладів району шельфу Чорного моря (полігон № 1) за даними обробки гідроакустичного профілювання

Обробка інформації гідроакустичного комплексу при дослідженні полігону № 2 дала можливість побудувати геоморфологічну карту (рис. 4.10) району континентального схилу Чорного моря.

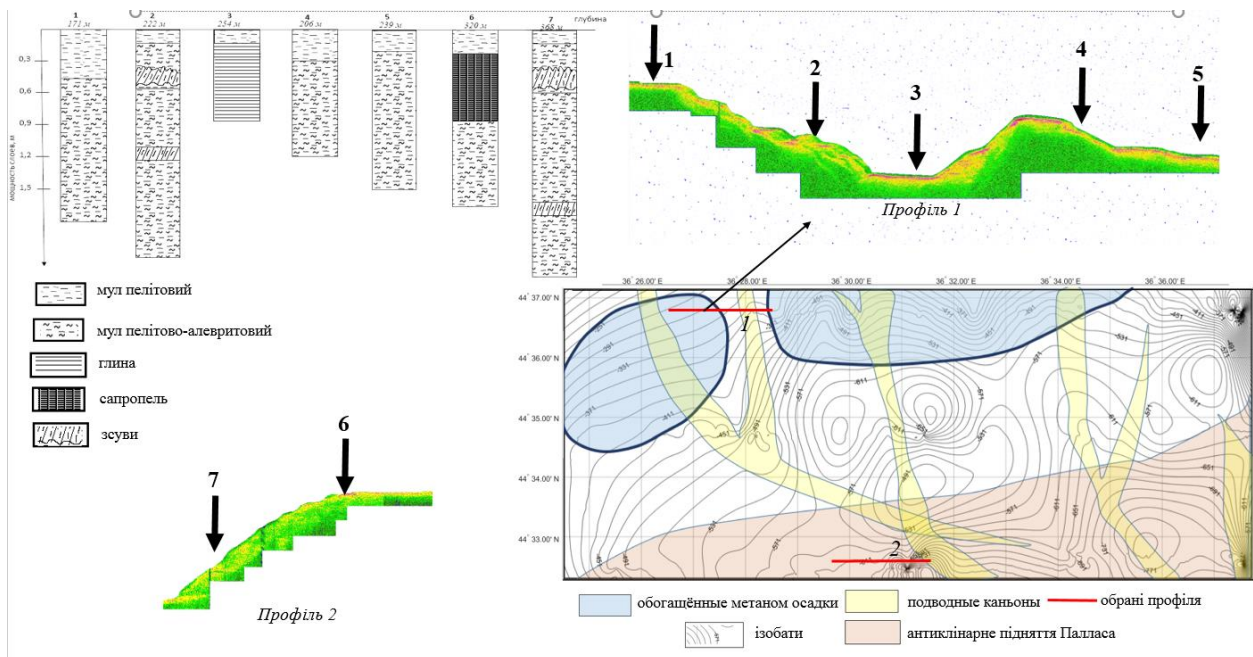


Рис. 4.10 Загальна схема обстеження району (полігон № 2) континентального схилу Чорного моря

Дистанційне вивчення розподілу щільності донних відкладів полігону № 2 за глибиною залягання дозволило провести їх стратифікацію та визначити потужності шарів.

Відсутність шаруватості донних відкладів, наявність в однорідній масі розірваних горизонтів, їх хаотичне розташування, свідчило про зсувні походження товщі. При цьому на основі аналізу розподілу швидкостей звуку в досліджуваних осадах побудовано зони газонасичених донних відкладів континентального схилу Прикерченського району.

#### **4.2 Геоморфологічні та літологічні особливості нижньої течії р. Дніпро**

Комплексне дослідження акваторій нижньої течії р. Дніпро в межах м. Запоріжжя дало змогу визначити, що неоднорідність гранулометричного складу донних відкладів головним чином визначається геоморфологічною неоднорідністю та перепадами рельєфу дна.

Дистанційні та контактні дослідження показали, що гранулометричний склад неоднорідний і закономірно змінюється від мулу до піску. Для визначення літологічних особливостей донних осадів з глибиною закладалися геологічні розрізи в профілях найбільш репрезентативних зон району дослідження (рис. 4.11). Обробка профілограм, орієнтація яких проходить з лівого берега Дніпра до правого (о. Хортиця), демонструє фаціально обумовлену зональну зміну гранулометричного складу з переважанням піщаної складової та вмістом черепашника на ділянках тальвегу та острова.

Використання гідроакустичного профілографу дозволило отримати профілі дна обстеженого полігону з високою розрізнявальною здатністю до 30 см вертикально. При цьому параметри апаратури дозволили провести якісне зондування чохла осадового шару до корінних порід, представлених гранітами Українського щита (УЩ).

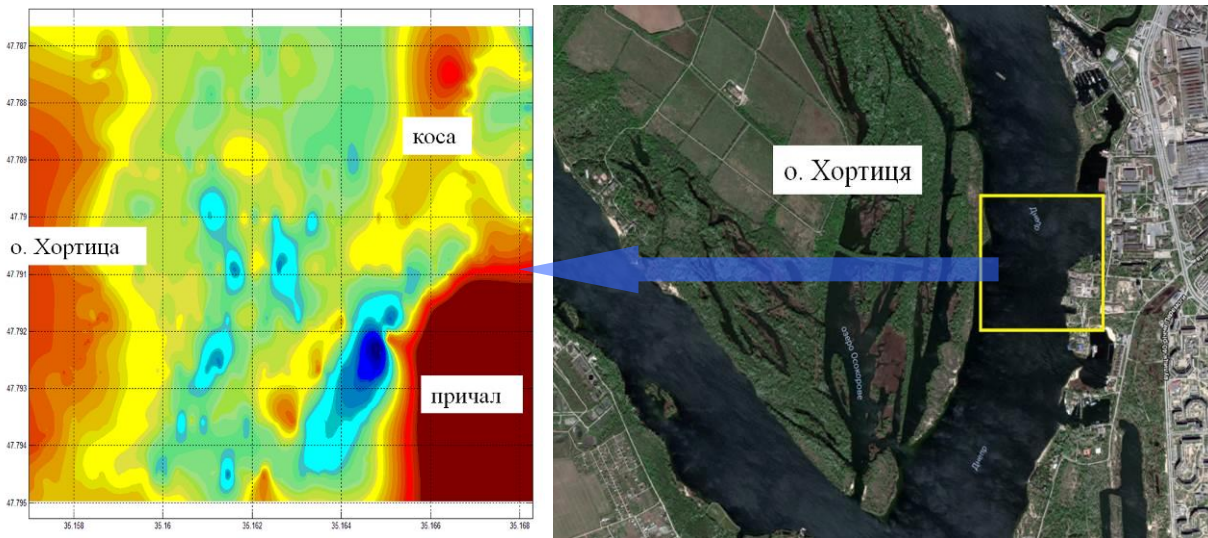


Рис. 4.11 Район дослідження р. Дніпро в межах м. Запоріжжя

Обробка отриманих профілограм за допомогою розроблених алгоритмів та програмного забезпечення дозволила отримати щільності, потужності і літологічні розрізи шарів донних осадів обстеженого полігону (рис. 4.12). При виділенні типів осадів використана класифікація Безрукова П.Л. і Лісцина А.П., де в якості основних показників гранулометричного складу прийняті зміст переважної фракції і середній діаметр частинок.

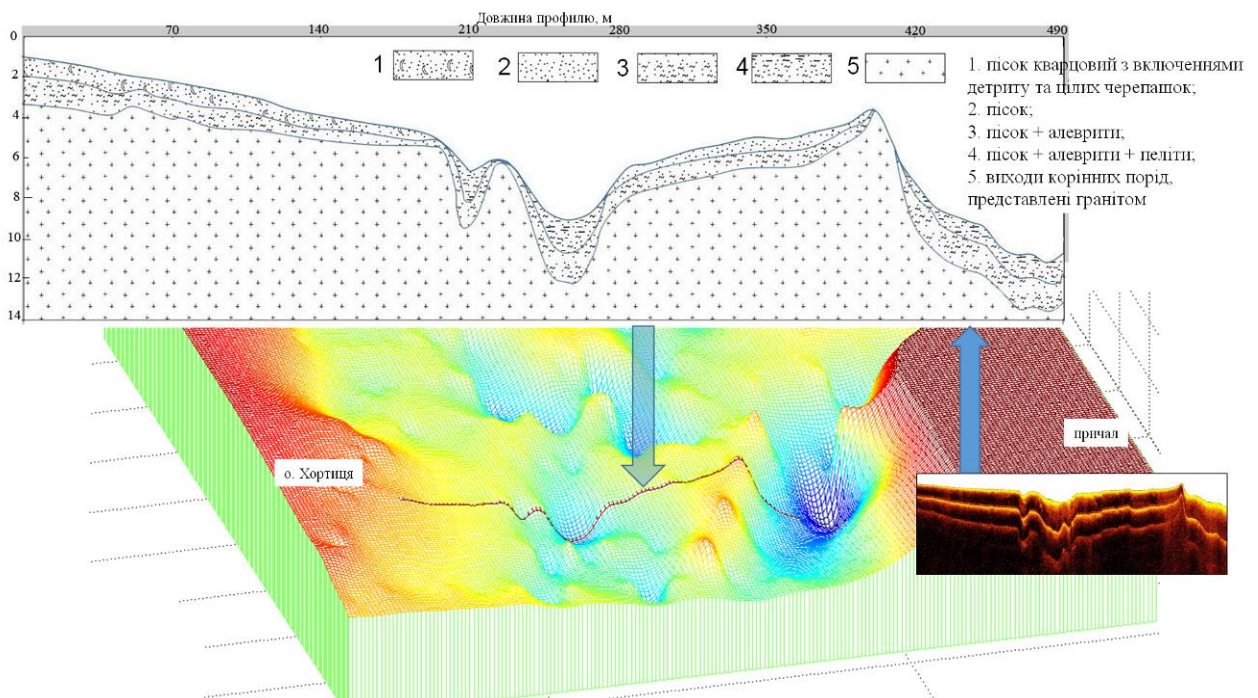


Рис. 4.12 Стратифікація донних відкладів за даними обробки профілограм

Отримана інформація стала основою для побудови геоморфологічної моделі дна досліджуваного полігону (рис. 4.13) з нанесеною інтенсивністю відображення сигналу, що характеризує показник щільності верхнього шару донних відкладів з відмітками точок пробовідбору. Геоакустичний переріз річища (рис. 4.14) при обробці показує поступове збільшення питомої щільності донних осадів від лівого до правого берега.

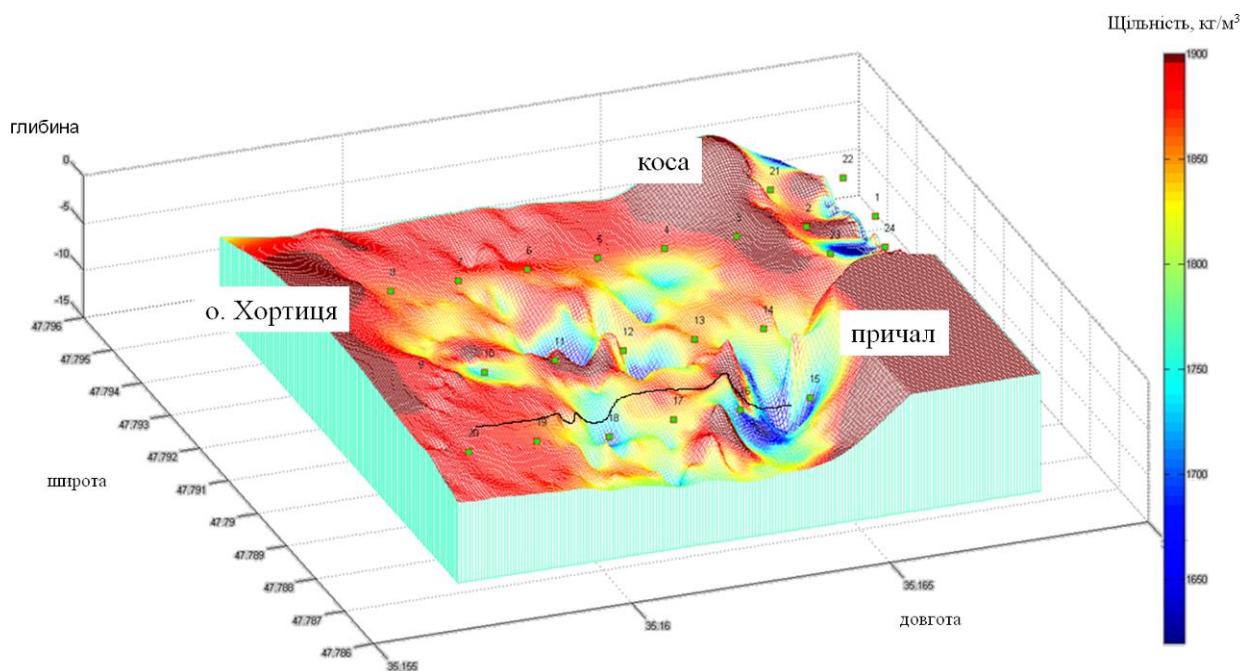


Рис. 4.13 Побудована геоморфологічна модель дна досліджуваного полігону

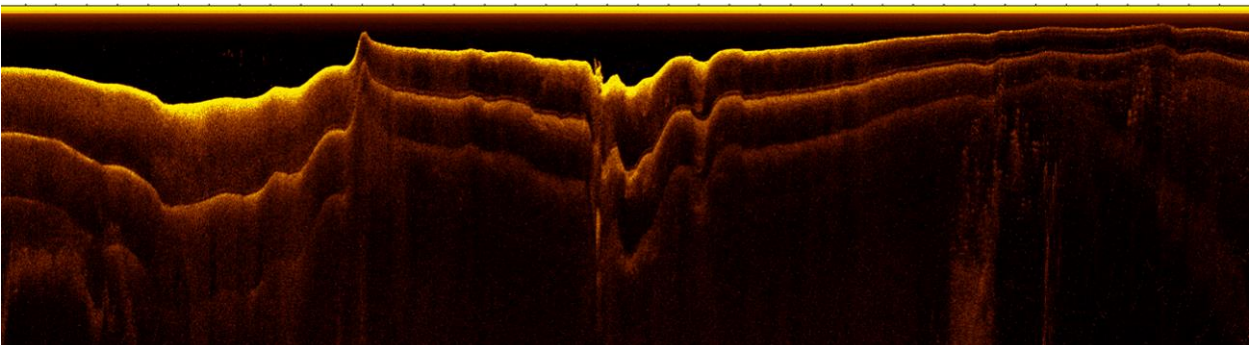


Рис. 4.14 Геоакустичний переріз «Нового Дніпра»

Так як осадконакопичення в межах полігону нижньої течії р. Дніпро контролюється гідрологічними і геолого-геоморфологічними факторами, на ділянках з більш вирівняним рельєфом, до яких відноситься верхня частина полігону з глибиною 8 м - 10 м, поширені гранулометричні одноманітні осади. До цих ділянок приурочені добре сортовані кварцеві піски, що містять зазвичай 90 % - 95 % частинок розмірністю 1 м - 0,1 мм. Також тут зустрічаються незначні домішки дрібноалевритових частинок (0,05 мм - 0,01 мм). Для інших частин полігону характерний більш складний рельєф дна, що позначається і на розподілі осадового матеріалу. У нижній частині полігону часті виходи корінних порід, перекритих малопотужним (до 5 см) шаром алювіальних відкладень.

Аналіз розподілу гранулометричних фракцій осадового матеріалу на дні дає досить повне уявлення про локалізацію та мінливість осадів в межах цього полігону, а також про характер накопичення осадів.

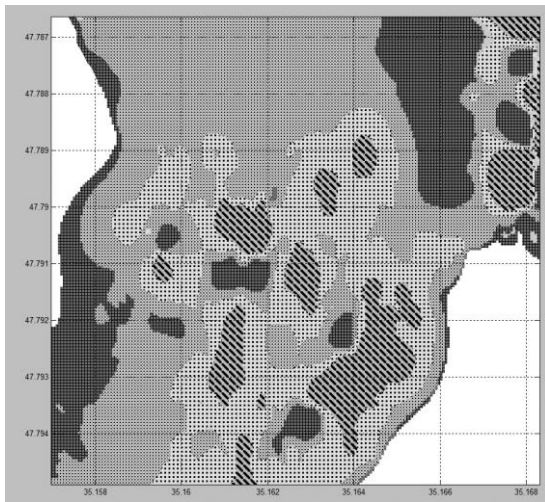
Для цього були складені схеми поширення наступних розмірних фракцій (рис. 4.15). Загальний характер розподілу велико-середньопористого матеріалу виявляється досить чітко. Його максимальні концентрації пов'язані безпосередньо з ділянками розмиву берегу о. Хортиця, де глибина води не перевищує 1 м – 3 м. При віддаленні від цих ділянок і зі збільшенням глибини кількість матеріалу порівняно швидко зменшується.

Розподіл дрібнопіщаного матеріалу характерний для зон, де рух водних мас найбільш активно впливає на винос більш дрібних частинок.

Більш ніж 50 %-й вміст дрібнопіщаного матеріалу характерний також для підводного берегового схилу. В сторону берегової лінії кількість зерен розмірністю 0,25 мм - 0,1 мм поступово зменшується.

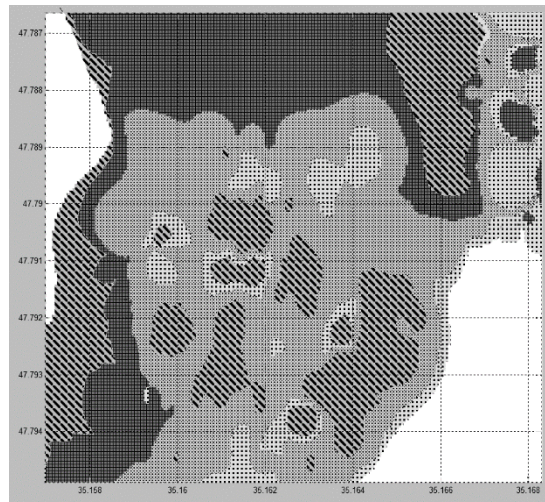
Високий вміст алевритового матеріалу в межах полігону характерний для глибоководних частин водойми, а також для мілководних заток, захищених від сильного хвилювання. В цілому, алевритовий матеріал поширений широко, проте його вміст, як правило, зрідка перевищує 10 %. Це, ймовірно, пояснюється тим, що алевритові частки не можуть випадати з суспензії при швидкості руху води більш ніж

0,1 см/сек, отже, легко виносяться течіями.



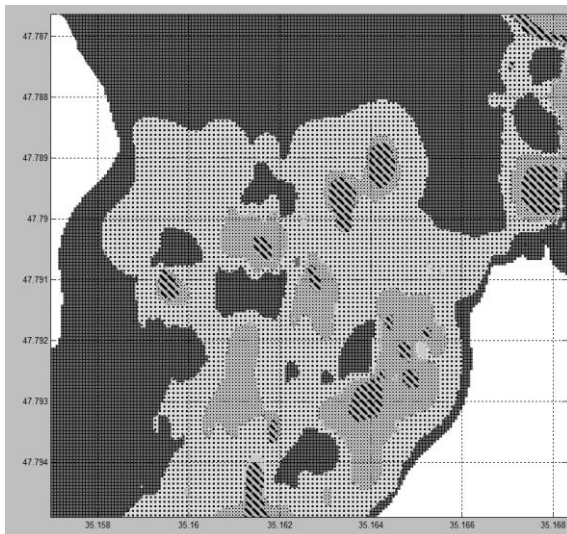
70-50% 50-25% 25-10% 5%<

Схема поширення велико-середньопіщаного матеріалу (1,0 мм - 0,5 мм) в осаді



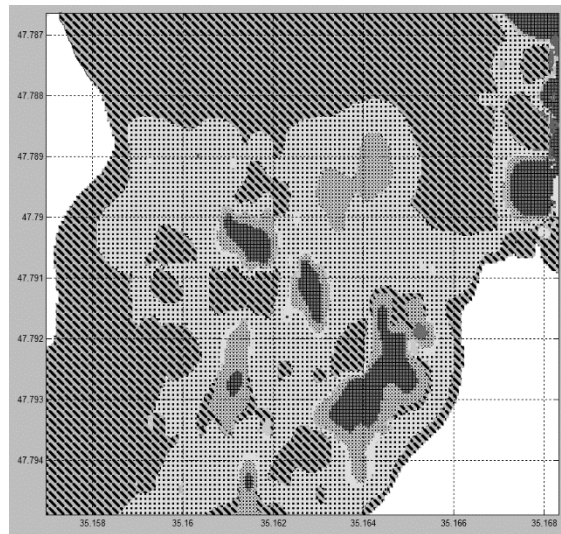
70-50% 50-25% 25-10% 5%<

Схема поширення дрібнопіщаного матеріалу (0,25 мм - 0,1 мм) в осаді



25-15% 15-10% 10-5% 5%<

Схема поширення алевритового матеріалу (0,1 мм - 0,01 мм) в осаді



25-15% 15-10% 10-5% 5%<

Схема поширення пелітового матеріалу (менш 0,01 мм) в осаді

Рис. 4.15 Схеми поширення розмірних фракцій досліджуваного полігону нижньої течії р. Дніпро (район м. Запоріжжя)

Пелітовий матеріал зустрічається в осадах полігону зазвичай в невеликих кількостях, менш 10%. Зміст його більш 20% зустрічається невеликими плямами,



приурочений до найбільш тиховодних ділянок.

При порівнянні схем розподілу гранулометричних фракцій осадового матеріалу в поверхневому шарі можна зробити висновки, які дозволяють охарактеризувати деякі риси накопичення осадів в нижній течії Дніпра. Піщаний матеріал концентрується головним чином уздовж берегової лінії і на рівних ділянках дна внаслідок виносу дрібніших фракцій, що говорить про активність хвилевих процесів в центральних, більш глибоких частинах полігону, а також в напівзакритих затоках концентрується зазвичай матеріал алевритової розмірності. Наявність кіс, особливості донного рельєфу та конфігурація берегової лінії ускладнюють картину диференціації осадового матеріалу в деталях, але не змінюють її загальний характер.

Аналіз проб донних відкладів, відібраних малою ґрунтовою трубкою і дночерпачем забезпечив контроль дистанційних методів і доповнення моделей, що створюється якісними даними.

#### **4.3 Геоморфологічні та літологічні особливості північно-західної частини Чорного моря**

Картографічну схему району експедиційних досліджень акваторії північно-західної частини Чорного моря з використанням ВГК «О. Солодунов» наведено на рис. 4.16.

Роботи були проведені на 33 океанографічних станціях і гідроакустичних профілях та одному гідрографічному полігоні. Загальна протяжність маршруту Чорноморськ-Южне-Чорноморськ становила 243 км.

Дослідження проводилися тільки у світлий час доби (8 годин на добу).

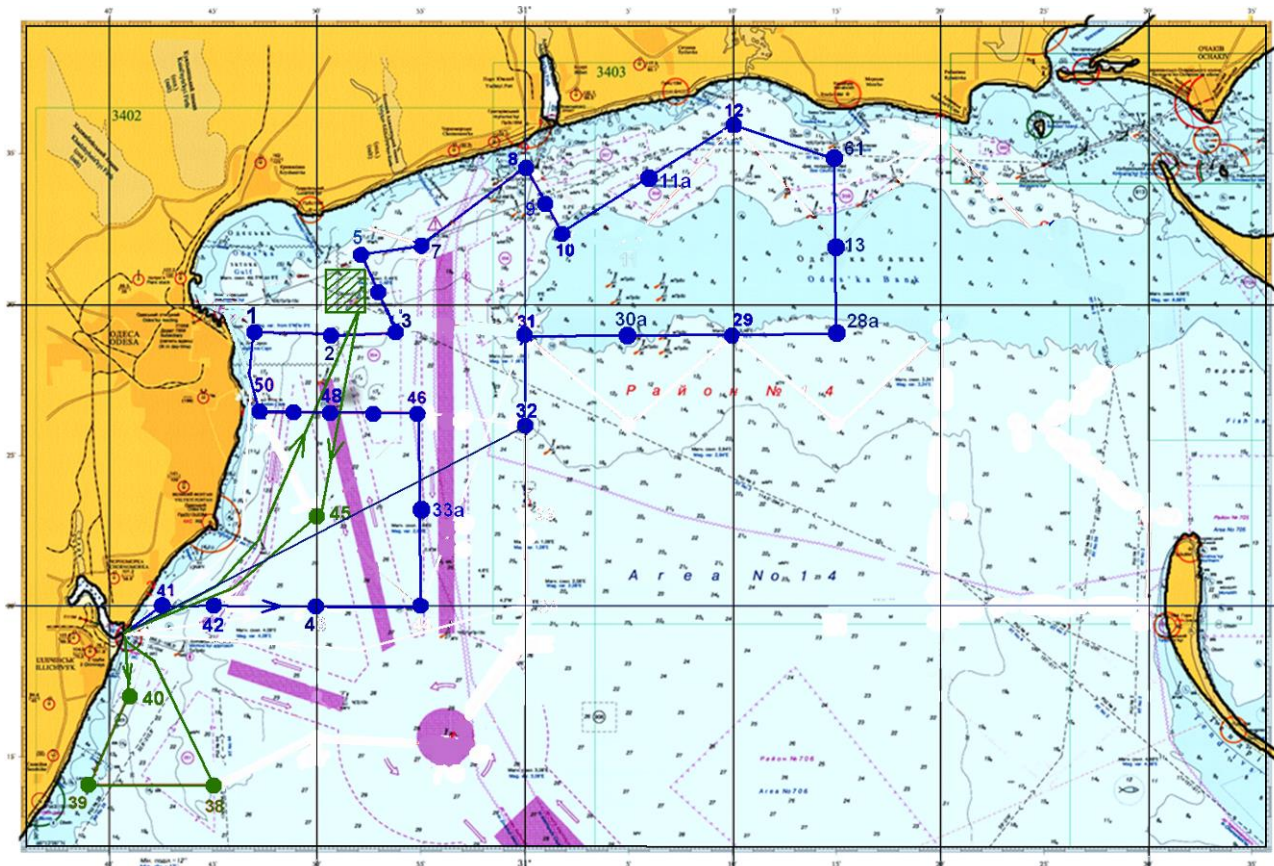


Рис. 4.16 Картографічна схема району експедиційних досліджень акваторії північно-західної частини Чорного моря з використанням ВГК «О. Солодунов» 09-11 жовтня 2018 р.

В результаті комплексного дистанційного гідроакустичного вивчення рельєфу дна та донних відкладів за площею та розрізненням, 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 та гідротехнічних споруд (рис. 4.17).

За допомогою програмного забезпечення ДУ «Наукового гідрофізичного центру НАН України» були побудовані відповідні математичні моделі дна. Отримані геофізичні параметри було упорядковано та підготовлено для введення до гідрографічного фрагмента БОД задля подальшого аналізу та збереження (додаток Б).



Рис. 4.17 Гідроакустична зйомка підхідного каналу та гідротехнічних споруд порту

Відповідно до затвердженого плану роботи також було:

- проведено обстеження гідротехнічних споруд та підхідних каналів;
- отримано більш ніж 20 Гбайт інформації (додаток Б) про стан донних відкладів обстежених акваторій з результатів обробки профілограм за методикою дистанційної профільної ґрунтової зйомки дна;
- зареєстровано структури верхньої осадової товщі потужністю до 1,6 м в залежності від щільності за допомогою гідроакустичного профілювання.

На досліджуваній акваторії північно-західної частини Чорного моря розвинені відклади четвертичної системи морського, лиманного і лиманно-морського генезису чорноморського горизонту, а також утворення техногенного характеру. Представлені переважно мулами і черепашниками, в меншій мірі - пісками, і в дуже незначній - гравієм і галечниками. Мули розвинені в центральних частинах жолобів. Піски розвинені на шельфі у вигляді порівняно вузької смуги вздовж берегової лінії. Поля черепашників, як правило, займають проміжне положення між полями мулів і пісків.

Піски переважно дрібнозернисті, в меншій мірі середньозернисті, дрібно- і грубозернисті. Зазвичай піски нешаруваті, але можуть містити окремі прошарки мулу або черепашнику. Мули глинисті, дрібно- і крупноалевритові.

На акваторії шельфу виділяються такі форми акумулятивно-денудаційного рельєфу, сформованого ерозією, як продовження днищ балок на шельфі.

Розміри цих форм коливаються від 800 м до 1,5 км в довжину і до 500 м в ширину. В рельєфі морського дна ці форми виражаються слабо, вони перекриті невеликими потужностями сучасних морських відкладів. На рис. 4.18 представлено гідроакустичне зображення палеоріки в акваторії північно-західної частини Чорного моря.

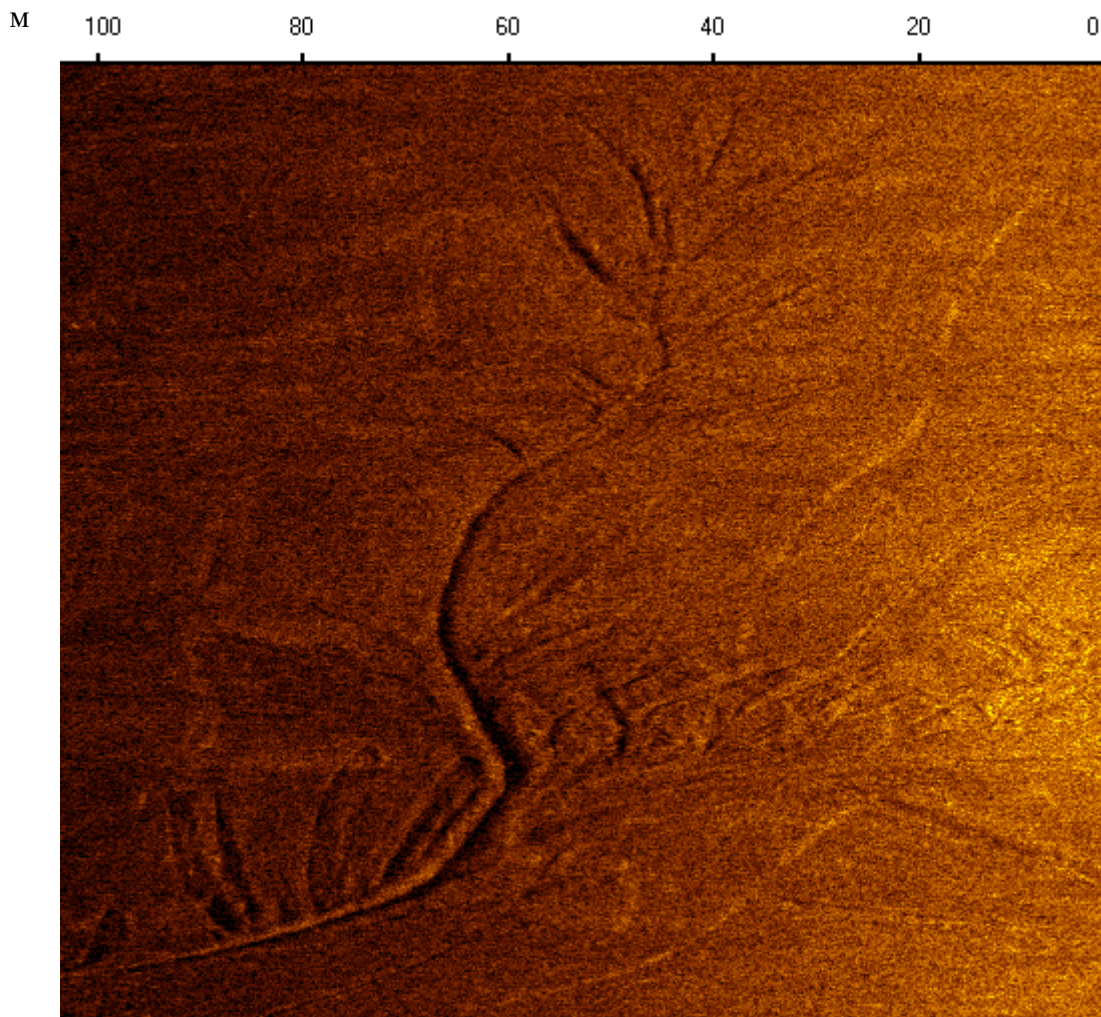


Рис. 4.18 Гідроакустичне зображення палеоріки в акваторії північно-західної частини Чорного моря

Складені такі сучасні морські відклади алевритами, пісками, щебенем і брилами вапняку. Ці форми ерозійного рельєфу наклалися на морську абразійну терасу при більш низькому базисі ерозії, а потім при трансгресії виявилися під рівнем моря.

До генетичної категорії акумулятивно-денудаційного рельєфу відносяться також форми, сформовані хвилеприбійною діяльністю моря. На прибережних ділянках території суші та акваторії шельфу хвильова діяльність моря є основним рельєфоутворюючим фактором, що характеризується руйнуванням, перенесенням і накопиченням пухкого матеріалу.

До позитивних форм акумулятивно-денудаційного генезису на шельфі відноситься велика форма - морська абразійна тераса (бенч). Ця форма рельєфу вироблена хвилеприбоєм в корінних породах, простежується, в межах району досліджень 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.

На поверхні абразійної тераси у вигляді виступів виділяється такий позитивний елемент рельєфу, як зсувні блоки, складені понтичними вапняками. Вони утворилися в результаті абразійної хвильової діяльності і опинилися затопленими морем при голоценовій трансгресії моря. Відзначається приуроченість таких зсувних блоків до прибережної зони.

Природні умови північно-західного Причорномор'я сприяють широкому і різноманітному розвитку екзогенних геологічних процесів. Трансгресія Чорного моря обумовлює інтенсивні прояви процесів абразії, останні в свою чергу, спільно з іншими факторами, такими як геологічна будова, гідрогеологічні, геоморфологічні і неотектоничні умови, спровокували розвиток зсувних процесів.

У прибережній зоні шельфу найбільш поширеним є донна абразія, переміщення й акумуляція наносів. Широко поширене переміщення наносів та їх акумуляція. Виникненню і розвитку цих процесів сприяє різне орієнтування берегової лінії по відношенню до панівних хвилювань, наявність потенційних джерел постачання

прибережної смуги уламковим матеріалом у вигляді продуктів берегової і донної абразії.

Абразійно-зеувні процеси характеризуються успадкуванням в часі і просторі, що обумовлено подібністю геологічної будови прибережної частини шельфу та прилеглої суші й постійним у часі основним активним чинником формування берегової зони - хвилюванням моря.

В прибережній частині шельфу техногенні утворення представлені відвалами ґрунту (рис. 4.19), що вибираються при поглиблюванні підводних каналів. Це суміш пісків, черепашників, мулів, неогенових глин, уламків вапняку.

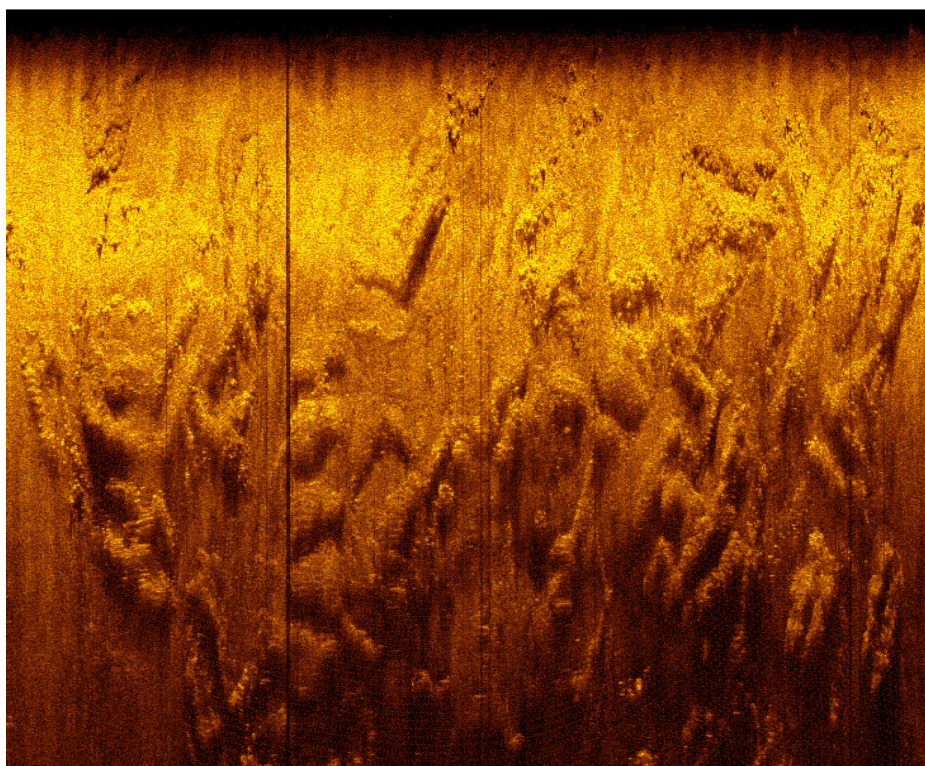


Рис. 4.19 Гідроакустична зйомка полігону звалища донного ґрунту

Мули, які були широко поширені в районі досліджень, в основному глинисті й суглинні, іноді на невеликих площах зустрічаються супіщані. Черепашники за даними дистанційного дослідження мали середню щільність  $1,0 \text{ г/см}^3$  -  $1,4 \text{ г/см}^3$ . Глини, в основному переущільнені з щільністю  $1,45 \text{ м}$  -  $1,61 \text{ г/см}^3$ .

Піски в площадному відношенні тяжіють до приурезових ділянок дна моря. Потужність пісків в приурезовій смузі до 1 м. Вони тут знаходяться під постійним впливом течій і широкого спектру впливів та мають досить динамічний стан, непостійність складу і властивостей.

Отримана гідроакустична інформація передана до гідрографічного фрагмента БОД (додаток В).

#### 4.4 Геоморфологічні та літологічні особливості акваторії Канівського водосховища річки Дніпро

Картографічну схему району експедиційних досліджень акваторії Канівського водосховища річки Дніпро наведено на рис. 4.20.

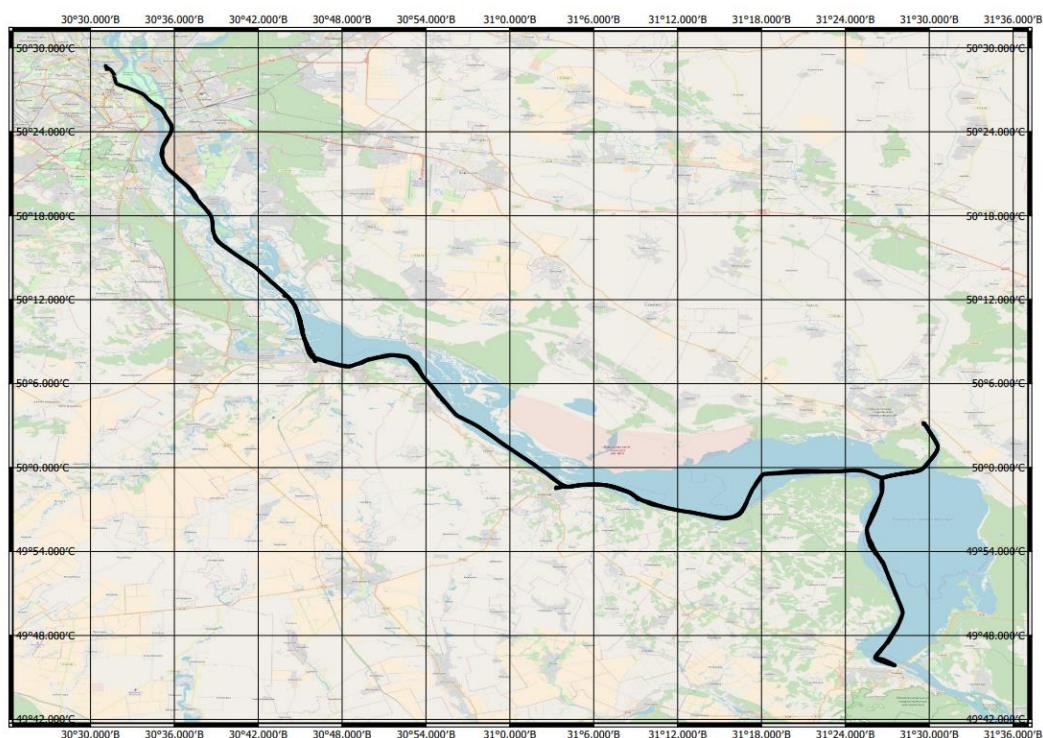


Рис. 4.20 Планшет з траєкторією руху носія ГБО

Проведено площадну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 50 км<sup>2</sup>, що дало змогу дослідити рельєф дна (рис. 4.20), донні

відклади (табл 4.2 та додаток Б) та гідротехнічні споруди району експедиції (рис. 4.21).

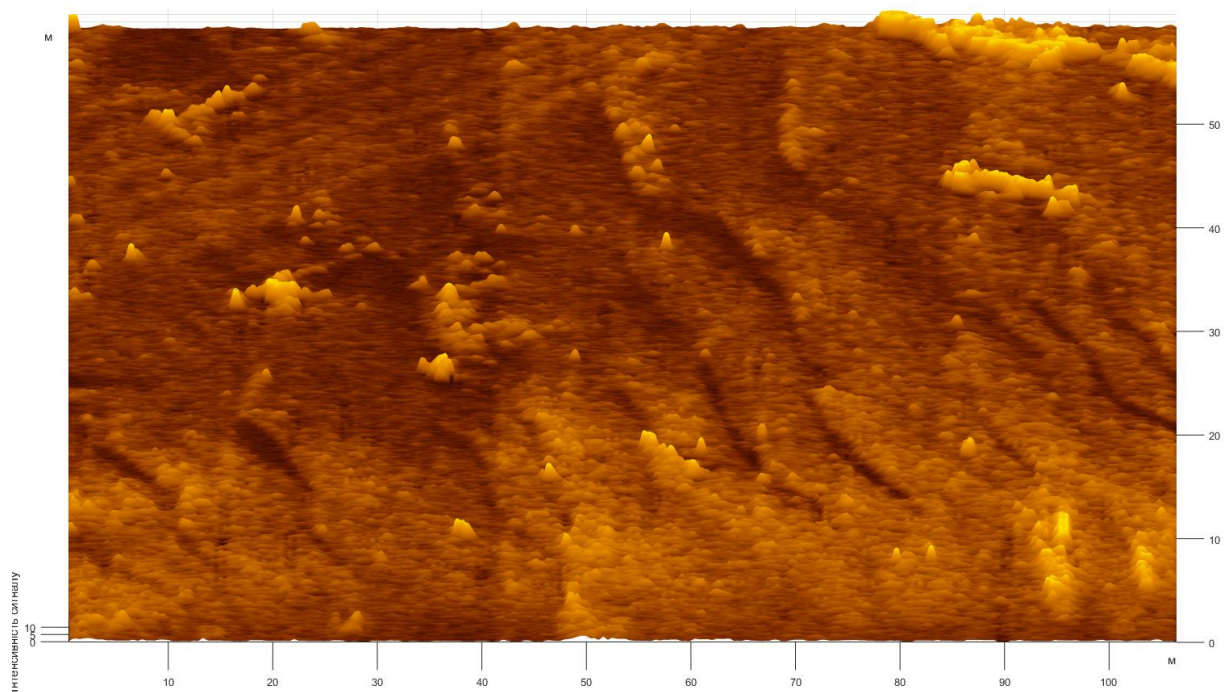


Рис. 4.21 Характерний рельєф дна (піщані бархани)

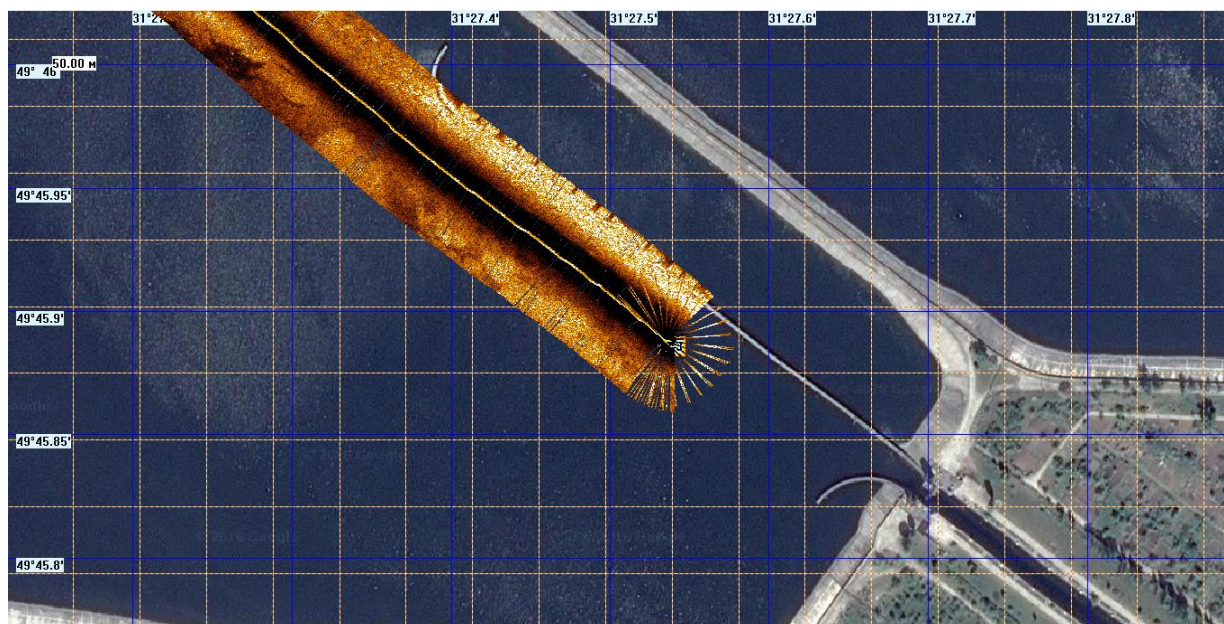


Рис. 4.22 Обстеження гідротехнічної споруди Канівської ГЕС



Таблиця 4.2

**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, градуси півн. широти	Координати, градуси східн. довготи	Коеф. відбиття	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с	Пісок, %	Мул, %
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

Роль течій у гідрологічному режимі водосховища, в тому числі і в формуванні донних відкладів, досить істотна. Течії є одним з основних видів гідродинамічної активності водної маси, поряд з хвилюванням обумовлюють розподіл відкладів і темпи їх накопичення. Штучне регулювання обсягу водної маси, форма і морфометрія водосховища створюють складну систему течій, в якій переважають стокові течії. Вони виникають в результаті нахилу рівної поверхні водойми, викликаної надлишком води, принесеної притоками, або недоліком її в тій чи іншій частині водойми.

Утворення, розподіл і темпи накопичення донних відкладів у водосховищі визначаються насамперед сукупністю джерел, з яких осади надходять у водойму. Джерелами завислих речовин у водосховищі виступають: стік зважених наносів річок, розмив берегів і дна, продукування фітопланктону і вищої водної рослинності, фізико-хімічні процеси у водоймі, еолові виноси.

Рельєф акваторії (рис. 4.22) спричиняє локальне формування донних відкладів різного характеру (мулісті відклади, які при відповідних умовах утворюють локальні скупчення на площах, зайнятих піщанистими ґрунтами, незважаючи на те, що гідродинамічна активність водної маси визначає межу залягання мулу на значно більших глибинах). Походження таких витягнутих плям мулу (рис. 4.23), характерне

для місць різкої зміни глибин, визначається переважним напрямком поширення хвиль від більш мілководної частини району в глибоководну. Таким чином, нижче верхньої бровки уступу дна утворюється зона, в якій можлива акумуляція більш дрібних частинок ґрунту, в порівнянні з ділянками дна, розташованими вище бровки уступу і нижче його підосви.

В акваторії Канівського водосховища, в цілому, розрізи осадків відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення. В них спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку. На річці Дніпро, внаслідок динамічного стану гідросистеми, а також завдяки активному впливу техногенних чинників, розріз осадків характеризується великою мінливістю й розмивом частини шарів.

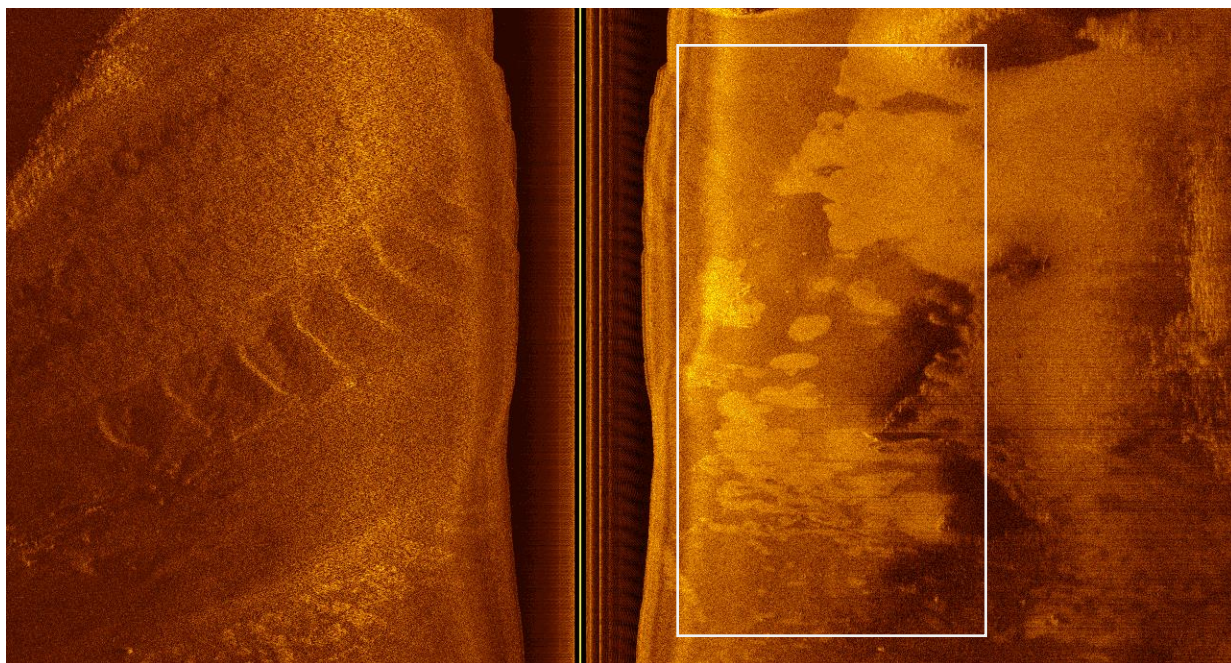


Рис. 4.22 Характерна ехограма дна Канівського водосховища з окресленими зонами розподілу піску й мулу

Дані щодо середньої щільності та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів верхньої течії р. Дніпро, в результаті проведених експедиційних досліджень акваторії, свідчать про замулення річища Дніпра на дослідженій ділянці.

Замулення, у свою чергу, призводить до накопичення у пелітовій фракції донних осадків поллютантів.

#### 4.5 Геоморфологічні та літологічні особливості акваторій гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава річки Дунай

Картографічні схеми району експедиційних досліджень акваторій гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава річки Дунай з використанням судна «Шляховик» та МГК «Гідрограф-3» наведено на рис. 4.23 і 4.24.

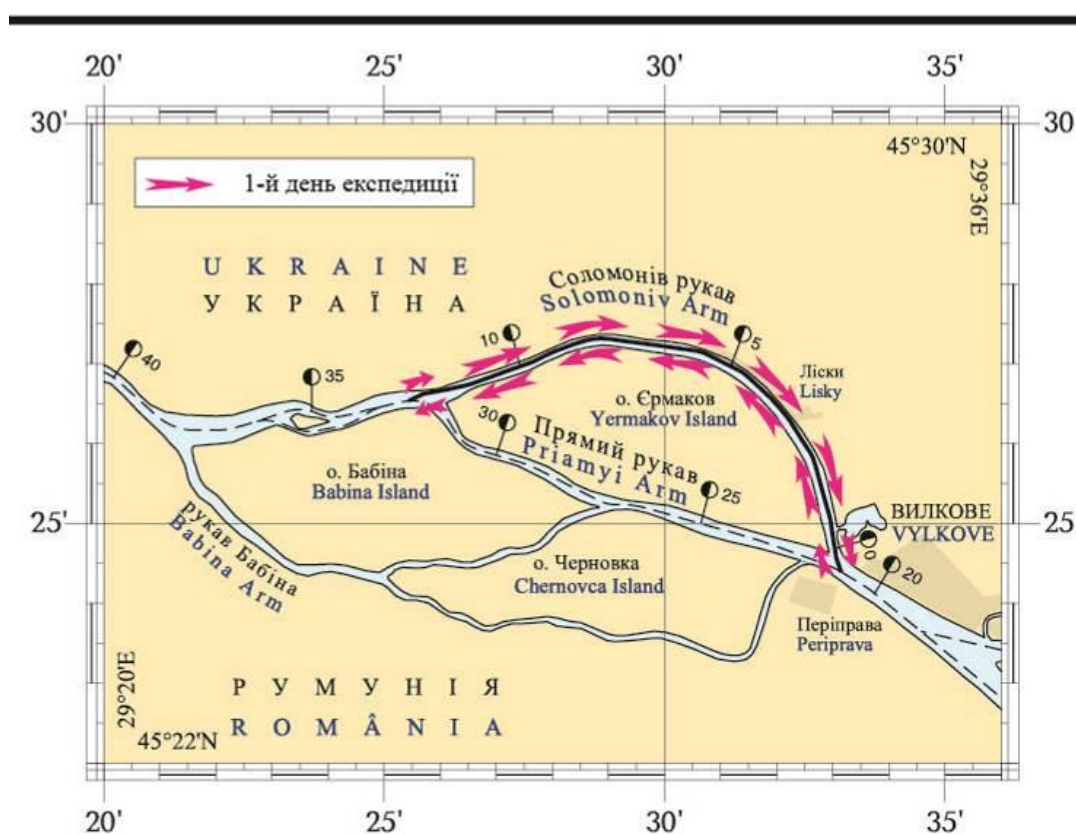


Рис. 4.23 Схема району досліджень експедиції «Дунай-2018» (перший день)

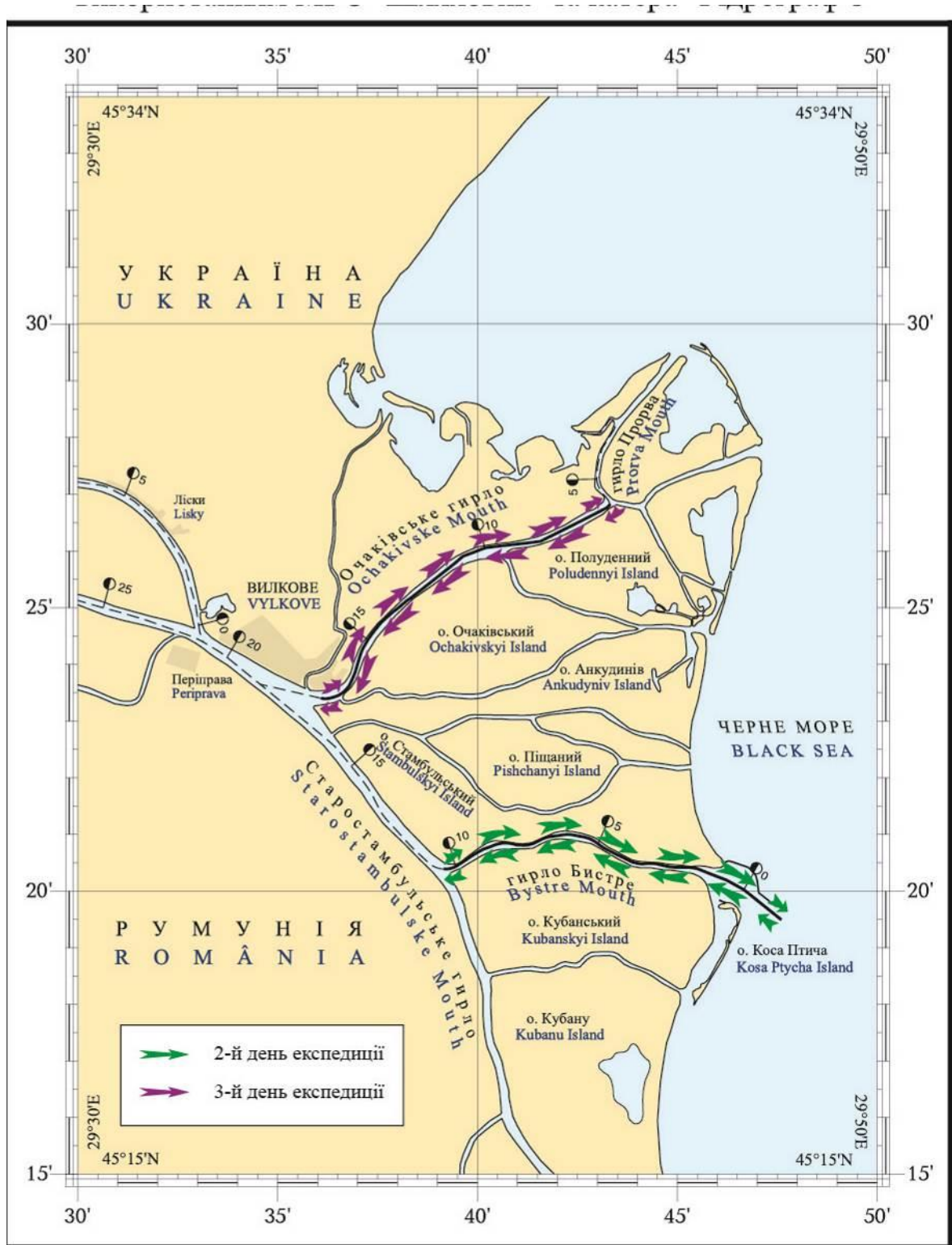


Рис. 4.24 Схема району досліджень експедиції «Дунай-2018» (другий та третій день)

Геолого-геофізичні роботи проводилися на 12 гідроакустичних профілях та основному судновому ході на річці Дунай в акваторіях гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава. Загальна протяжність маршруту склала 160 км двома суднами. Було відпрацьовано 13 геологічних станцій, на яких відібрано 15 проб верхнього шару річкових донних відкладів.

Робота на кожному гідроакустичному профілі здійснювалася на швидкості не більше 9 км/год.

Характеристика робіт:

- гідроакустичні: вимірювання на акустичних профілях поверхні дна, донних осадків, водної товщі;

- гідрографічні: багатопроменева площинна зйомка відповідно до стандарту Міжнародної гідрографічної організації S-44;

- геологічні: відбір проб поверхневого шару донних осадків шляхом дночерпання, вивчення розподілу донного ґрунту на станціях, визначення літологічного складу ґрунту та макроскопічних палеонтологічних включень.

Протягом пліоценово-четвертинного часу рельєф території зазнав змін внаслідок численних трансгресій і регресій, що виявилось в утворенні накладених терас і дельт. Нижня частина Дунаю, що охоплює ділянку дельти, характеризується рівнинним рельєфом – це субаеральна передголоценова приморська рівнина, опущена нижче рівня моря. Дунайська авандельта утворилася в плейстоцені-голоцені шляхом висування в море і перевідкладання первинних наносів. На території затопленої приморської рівнини поширені поховані палеодолини низов'їв Палеодунаю та Палеосарати.

У геологічній будові території беруть участь породи кристалічного докембрійського фундаменту та складчасті метаморфізовані породи раннього палеозою, які перекриваються піщано-глинисто-карбонатними утвореннями пізнього палеозою, мезозою та кайнозою. За даними [2, 3], у тектонічному відношенні Придунав'я знаходиться в межах припіднятої над сусідніми депресіями на 5 км – 10 км Кілійсько-Зміїної зони палеозойських відкладів. За даними [4], неогенові

сарматські відклади тут залягають безпосередньо на породах верхньої юри. Верхня частина розрізу осадової товщі представлена четвертинними відкладами, в складі яких виділяють плейстоценові алювіальні та верхньоплейстоценові еолово-делювіальні утворення, морські чаудинські, давньоевксинсько-узунларські, карангатські, сурожські, новоевксинські та чорноморські відклади. Розріз осадків плейстоцену за простяганням характеризується різною потужністю та фаціальною мінливістю.

Гирлова частина дельти Дунаю з річковим стоком отримує велику кількість завислих наносів, частина з яких осаджується в численних рукавах і протоках дельти, частина виноситься в море, а частина бере участь у формуванні авандельти. Речовинний склад стоку визначають гірські породи, які розмиває річка. Акумулятивне тіло дельти формують тверді наноси, переважно мули, від чверті до половини (за різними даними) затримується в дельтовій частині. Значна частина тонкодисперсного матеріалу та основна розчиненої у річковій воді речовини надходить до моря, решта – осаджується в дельтових осадках на геохімічних бар'єрах на контакті з морськими водами.

Піщані осадки містять цілі стулки, дрібний та крупний детрит молюсків. Піщана фракція складена дрібно-середньозернистими карбонат-кварцовими обкатаними пісками, характерний високий вміст алевритової фракції та відсутність розсіяної органіки.

Загальна особливість донних осадків гирла Дунаю – незначна кількість важкої фракції, представленої мінералами: гранат, ільменіт, турмалін, піроксени, амфіболи, епідот, дистен, рутил, циркон. Склад легких фракцій – кварц, кальцит, арагоніт, глинисто-слюдисті агрегати. В пелітовій фракції переважають кальцит, мінерали групи монтморилоніту і кварц.

Відбір геологічних проб осадових порід дна виконувався за допомогою тросового ковшового дночерпака Петерсена (рис. 4.25) з площею захоплення 0,025 м<sup>2</sup>.



Рис. 4.25 Робота з дночерпаком Петерсена на палубі

Відбір зразків виконувався безпосередньо на палубі за допомогою пластикового пробовідбірника (совка) із ящика-піддона з пробою. Кожен зразок пакувався в поліетиленовий пакет, а потім – пакет із замком «ЗІП», з подвійним етикетуванням. Перед відбором зразків із проби донного ґрунту на кожній станції було здійснено візуальний літологічний опис, який супроводжувався фотографуванням.

Первинний візуальний літологічний опис проби донного ґрунту здійснювався безпосередньо на палубі, усі необхідні записи заносилися до геологічної польової книжки. Під час візуального літологічного опису визначалися такі особливості поверхневого шару донних осадків р. Дунай:

- гранулометрична назва осадку за переважаючою механічною фракцією (тип);
- консистенція (для алевро-пелітових і пелітових осадків);
- колір осадку;
- текстура, однорідність осадку;
- включення уламкового матеріалу;
- наявність і склад макрофауни (живі організми, фосилізовані);
- наявність макроводоростей і рослинних решток;

- наявність запаху (сірководень).

Геологічні роботи виконувалися впродовж усіх трьох днів експедиційних досліджень. Було відпрацьовано 13 станцій, на яких відібрано 15 проб верхнього шару річкових донних відкладів.

Приклад візуального літологічного опису проби донного ґрунту.

Станція 1;

Район робіт: гирло Бистре, 8-й км, біля лівого берега;

Час відбору: 11:04 – 11:13;

Координати:  $45^{\circ} 20.8750'$  ПнШ,  $29^{\circ} 40.5207'$  СхД;

Глибина: 8 м;

Примітки: здійснено 4 опускання пробовідбірника: 3-4-м зачерпуванням ґрунту піднято дві проби, що розрізняються візуально (рис. 4.26);

Зразки: взято зразки 1-1 та 1-2 з різних частин проби (рис. 4.27).



Рис. 4.26 Зразок донних відкладів станції 1



Опис: Порода візуально складається з двох частин:

Порода, піднята під час першого зачерпування – мул алевропелітовий, темно-сірий, тугопластичний, однорідний.

Друга частина, піднята під час другого зачерпування – алевропеліт, сірий з помітним коричневим відтінком, м'який, однорідний.

Вся піднята проба у великій кількості містить черепашник двостулкових моллюсків, вуглисті включення деревини (уламок гілки довжиною близько 12 см) та живу фауну (хробачки). Багато органіки та живих організмів. Без запаху.

В експедиції таким чином, проведено геологічне опробування поверхневого шару донних осадків р. Дунай за допомогою дночерпака:

- у акваторіях гирла Бистре, Соломонова рукава та Кілійської дельти виконано відбір проб ґрунту на поперечних профілях з двох на кожному профілі для визначення характеру формування донних осадків у руслі;

- встановлено характер та розподіл донного ґрунту р. Дунай в місцях опробування;

- визначено особливості поверхневого шару донних осадків р. Дунай та зроблено польовий візуальний літологічний опис за такою схемою: тип, гранулометричний склад, колір, консистенція (для пелітів і алевро-пелітів), речовинний склад, наявність включень;

- зібрано дані для передачі до спеціалізованої бази даних фрагменту автоматизованого банку цифрових океанографічних даних Мініфраструктури та НАН України за результатами роботи та лабораторних аналізів.

Зібраний у польових умовах матеріал потребує подальшої камеральної обробки та переданалітичної підготовки з метою виконання лабораторних аналізів зразків донних порід та передачі зібраних даних до спеціалізованої бази даних фрагмента автоматизованого банку цифрових океанографічних даних Мініфраструктури та НАН України за результатами роботи та лабораторних аналізів.

У подальшому, особливо за умови виявлення у зразках річкових донних ґрунтів вмісту шкідливих чи небезпечних для людини і довкілля речовин (наприклад, вміст

важких металів чи радіоактивних ізотопів техногенного та природного походження), зібрані дані можуть бути необхідними для проведення подальших досліджень, зокрема, організації на цій ділянці моніторингових спостережень.

Аналіз проб донних відкладів забезпечив контроль дистанційних методів і доповнення створюваних моделей якісними даними (рис. 4.27).

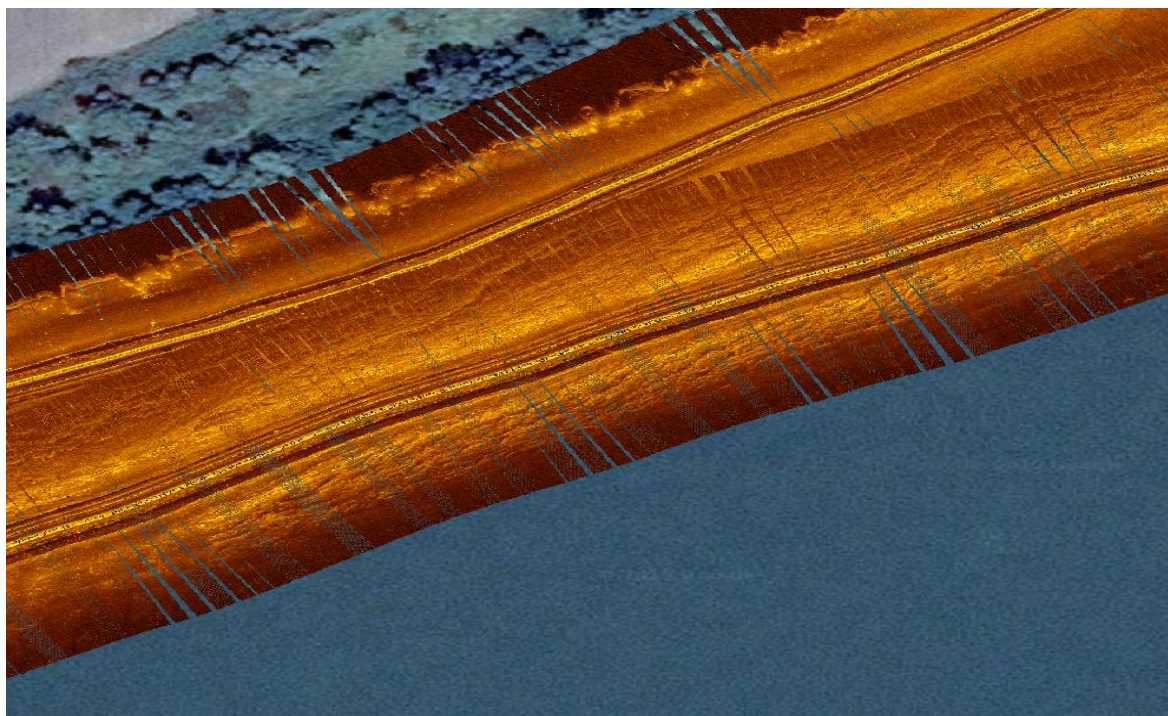


Рис. 4.27 Гідроакустичне обстеження дна та донних відкладів Прямого рукава р. Дунай (полоса зйомки 50 м на кожен борт в два проходи)

За даними гідроакустичного дослідження переважуючою фракцією в складі донних відкладів акваторій р. Дунай 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 осадів за два роки дослідження (2018-2019 рр.) показує його стабільність практично на всьому досліджуваному районі (донні відклади гирла Бистре відзначено збільшенням в 2019 році частки піску і зменшення мулу).

Виходячи з основних закономірностей осадонакопичення, які викликані

гідродинамічними факторами і, швидше за все, течіями, а також, приймаючи 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 натикання його на перешкоду, внаслідок чого втрачається частка суспендованого матеріалу. Саме ці зони найбільш сприятливі для накопичення осадового матеріалу дрібних та тонких класів.

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 та нехвильових течій на підвищених ділянках дна накопичуються саме піщані відклади.

За допомогою сучасного вітчизняного гідроакустичного комплексу проведено площадну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі обстежених районів загальною площею більше ніж 120 кв. км, що дало змогу виявити та дослідити затоплені об'єкти природнього та техногенного походження. Побудовано математичні моделі (полігони геоакустичних даних). Отримані гідроакустичні та геофізичні параметри упорядковано та передано в БОД. Отримано інформацію про стан донних ґрунтів всієї площі обстеженого полігону, при цьому зареєстровано структури верхньої осадової товщі потужністю 1.6 м - 5 м в залежності від щільності. Отримано літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів

Результати досліджень 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 зі зниженнями в рельєфі або на периферії руслової частини, де відсутні активні гідродинамічні процеси, спостерігається підвищення вмісту дрібнодисперсної складової в співвідношенні гранулометричних фракцій.

Гідрофізична інформація, що доповнила БОД (додаток Г), дозволяє провести комплексну порівняльну оцінку геоморфологічних та літологічних особливостей р. Дніпро, р. Дунай та Чорного моря як єдиної екосистеми.

#### **Висновки до розділу 4**

За результатами виконаних досліджень розроблено спеціалізовану базу даних геолого-літологічної інформації, побудовану за результатами комплексного геологічного та геоакустичного дослідження.

Проаналізовано геоморфологічні та літологічні особливості окремих районів Чорного моря, р. Дніпро та р. Дунай за даними геоакустичної зйомки.

З впевненістю можна стверджувати, що комплексний підхід на основі дистанційних методів відкриває нові можливості ефективного моніторингу стану донних відкладів, дозволяє найбільш повно використовувати всю корисну інформацію, що міститься в звукових полях.

Використання технологій гідроакустичних досліджень дозволяє отримати відомості щодо стану досліджуваного середовища на великих площах, значно скоротити час проведення робіт та підвищити їх ефективність.

#### **Список використаних джерел в розділі 4**

1. Геолого-геофизические исследования в 27-м рейсе НИС «Владимир Паршин» в Черном море / Шнюков Е.Ф. и др. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2007. № 1. С. 135-140.

2 Моніторинг стану річкових відкладів у межах індустріальних осередків (на прикладі м. Запоріжжя) / Митропольський О.Ю. та ін. *Мінералогічний журнал*. 2017. № 3, т. 39. С. 75-84.

3. Чекунов А.В. Проблемы Черноморской впадины. *Геофизический журнал*. 1987. 9. №4. С. 3-25

4. Рыбаков Н.П., Арбузова Л. С., Сурнина П. С. Государственная геологическая карта, серия причерноморская, лист L-35-XXIV, XXX Объяснительная записка. – Киев, 1973 69 с.

*Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:*

1. Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря: Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Довбыш С.Н., Дыкань Н.И., Ольштынская А.П., Вернигоров В.П., Никитина А.А., Тимченко В.П., Гончар А.И., Клочан Ю.А., Клочан В.И., Сафонов А.В., Иваненко М.П., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Мельников В.В., Токарев Ю.Н., Алемов С.В., Болтачева Н.А., Бурдиян Н.В., Игнатъев С.М., Ревков Н.К., Сергеева Н.Г., Серегин С.А., Станичный С.В., Сысоев А.А. Под ред. А.Ю. Митропольского. К.: ИГН НАН Украины, 2013. 141 с.

2. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., **Федосеєнков С.Г.**, Іванова Г.М., Довбиш С.М. Відновлення та адаптація проекту моніторингу седиментаційних процесів на шельфі Чорного моря на полігоні "Запоріжжя". *Геологія и полезные ископаемые мирового океана*. 2016. № 3. С. 89-94.

3. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Іванова Г.М., Кураєва І.В., Войтюк Ю.Ю., **Федосеєнков С.Г.** Моніторинг стану річкових відкладів у межах індустріальних осередків (на прикладі м. Запоріжжя). *Мінералогічний журнал*. 2017. Т. 39, № 3. С. 75-84.

4. Гончар А.И., Неверова С.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Энергетические характеристики параметрического профилографа донных осадочных структур. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану): зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2012. № 9. С. 103-107.*

5. Гончар А.И., Мартыновская Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Оценка

типов донного ґрунта по отраженным сигналам однолучевого эхолота. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану): зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2014. № 11. С. 44-51.*

6. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обследование прибрежных акваторий гидроакустическими средствами. *Морские берега Украины: V Всеукраинский семинар-совещание, 10-13 сентября 2012 г. пгт. Кацивели: МГИ НАН Украины, 2012.*

7. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.**, Шлычек Л.И. Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України: тези доповідей V науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2014р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. С. 217-218.*

8. Гончар А.И., Нестеренко Л.В., **Федосеєнков С.Г.** Использование гидроакустических технологий для экологического мониторинга акваторий. *Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів: зб. тезисів восьмої міжнародної наук.-практ. конф. 2015 р. Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України. 2015.*

9. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.**, Шлычек Л.И., Нестеренко Л.В., Клочан Ю.А. Сучасні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації як джерело нових потенційних можливостей гідроакустичних засобів. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України: тези доповідей науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2015 р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2015.*

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі надано оцінку геоморфологічних та літологічних особливостей морського та річкового дна шляхом визначення його геоакустичних параметрів.

У першому розділі узагальнено існуючі на сьогоднішній день дослідження щодо вивчення геоморфології дна акваторій та поверхневих шарів донних відкладів геолого-геофізичними методами.

Дослідження розподілу різноманітних літологічних типів сучасних морських (річкових) донних відкладів, що мають певні геоакустичні параметри, дає можливість охарактеризувати процеси осадконакопичення на досліджуваній акваторії. Незважаючи на інтенсивний та результативний розвиток напряму досліджень геоморфологічних та літологічних особливостей дна і досить високий рівень напрацювань, спостерігається недостатність їх розвитку в Україні останніми десятиліттями.

Існуючі морські (річкові) батиметричні карти відображають усереднені риси розчленованості підводного рельєфу, деталі якого частково не фіксуються, що робить неможливий аналіз геоморфологічних особливостей дна. Тому основним джерелом при детальному вивченні дна є його профілі, складені за ехолотним проміром. Тільки безперервне поповнення новими даними профілювання дасть можливість вивчення нових геоморфологічних особливостей акваторій України.

Використання апріорної інформації про умови утворення відкладів на дні морів (річок) дозволяє істотно підвищити надійність дистанційних оцінок фізико-механічних, геоакустичних властивостей донних відкладів.

Зміна характеру акустичних ехо-сигналів в залежності від рельєфу дна і властивостей донних відкладів обумовила зацікавленість до виділення типу закономірностей, що пов'язують геоакустичні властивості донних відкладів з їх фізико-механічними характеристиками, а потім, в свою чергу, з літологічними класами донних відкладів.

Розроблений гідроакустичний комплекс у складі гідролокатору бокового огляду (інтерферометру), профілографу та ехолоту здатен з високою продуктивністю та деталізацією отримувати геоакустичні параметри донних відкладів та досліджувати геоморфологічні особливості дна.

Розроблено методику визначення геоакустичних параметрів поверхневих шарів донних відкладів та виділення їх літологічних типів за допомогою обробки інформації гідрогеоакустичного комплексу.

Обчислюючи по черзі параметри першого шару донних відкладів, можна здійснити аналогічну обробку інформації для другого, третього і т.д. шарів. Тобто шляхом обробки відбитих гідроакустичних сигналів визначаються такі геоакустичні параметри донних відкладів як щільність, швидкість поширення пружних коливань (швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, поглинання акустичних сигналів у відкладах, донна реверберація.

Зміна форми огинаючих відбитих сигналів по відношенню до зондувальних сигналів викликана інтерференцією різних типів хвиль, що беруть участь у формуванні відбитого сигналу. Було побудовано спектри відбитих сигналів та створено еталонну таблицю кореляційних залежностей геоакустичних параметрів донних відкладів за характеристикою спектру, що дало змогу вирішувати зворотні задачі – визначати літологічні типи донних відкладів за відбитим сигналом.

Розроблену в розділі 2 методику перевірено при натурних дослідженнях геоморфології дна та поверхневих шарів донних відкладів Чорного моря та акваторій р. Дніпро шляхом порівняння отриманих результатів з результатами пробовідбору.

Дослідження розподілу різноманітних літологічних типів сучасних морських (річкових) донних відкладів, що мають певні геоакустичні параметри, дає можливість охарактеризувати процеси осадконакопичення на досліджуваній акваторії.

Детальна інформація про рельєф дна і його морфометричні характеристики представляють суттєвий інтерес як для практичних цілей (навігація, гідротехнічне будівництво, видобуток корисних копалин), так і для наукових досліджень в області океанології, морської геології і геофізики.



Обґрунтованість і достовірність дистанційних методів, розроблених і описаних в розділі 3, базується на використанні аналітичних (математичних) методів обробки та даних лабораторних аналізів предмету дослідження. Комплексний підхід на основі аналізу геоакустичних і контактних методів відкриває нові можливості ефективного дистанційного моніторингу обраного полігону, найбільш повно використовує всю корисну інформацію, отриману геоакустичним комплексом.

На основі виконаних комплексних досліджень вперше складені детальні карти розповсюдження літологічних типів донних відкладів окремих акваторій р. Дніпро з урахуванням матеріалів точкових відборів зразків донних відкладів та результатів обробки інформації геоакустичного комплексу, що дозволили створити цілісну картину взаємодії антропогенних і природних процесів та надали можливість подальшого їх прогнозу. Уточнено геоморфологічні та літологічні особливості й доповнено дані щодо рельєфу дна Чорного моря.

З впевненістю можна стверджувати, що комплексний підхід на основі дистанційних методів відкриває нові можливості ефективного моніторингу стану донних відкладів, дозволяє найбільш повно використовувати всю корисну інформацію, що міститься в звукових полях.

Використання технологій гідроакустичних досліджень дозволяє отримати відомості щодо стану досліджуваного середовища на великих площах, значно скоротити час проведення робіт та підвищити їх ефективність.

На прикладі полігонів в межах акваторії р. Дніпро доведено існування тісного взаємозв'язку між рельєфом дна та накопиченням певних літологічних типів поверхневого шару донних відкладів, виявлені ділянки дна, седиментаційні процеси на яких характеризуються інтенсивністю гідродинамічних явищ.

Під керівництвом дисертанта виконано апробацію методики використання апаратно-програмного гідрогеоакустичного комплексу для досліджень дна акваторій і донних відкладів при виконанні науково-дослідних робіт за такими цільовими комплексними програмами наукових досліджень НАН України як «Вивчення стану і перспектив розвитку мінерально-сировинної бази України» та «Комплексний

моніторинг, оцінка та прогнозування динаміки стану морського середовища та ресурсної бази Азово-Чорноморського басейну в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін», де підтверджена доцільність її використання як інструмента дослідження геології моря.

За даними гідроакустичної зйомки вивчено геоакустичні параметри та проведено класифікацію донних відкладів акваторії Канівського водосховища річки Дніпро, північно-західної частини Чорного моря, акваторій гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава річки Дунай, що викладено в розділі 4. Отриману інформацію передано до БОД.

Результати дослідження, викладені в дисертаційній роботі, дозволяють встановити закономірності осадконакопичення певних літологічних класів донних відкладів у вигляді регресійних зв'язків між геоакустичними параметрами донних відкладів, рельєфом дна, глибиною та пробамі донних відкладів.

Подальший просторовий аналіз отриманої бази даних може бути використаний для чотиривимірного картування дна та поверхневих шарів донних відкладів акваторій з певними літологічними та морфологічними характеристиками, обчислення їх об'ємів, швидкості осадконакопичення та вмісту різноманітних компонент для прогнозування корисних копалин, екологічного моніторингу, природоохоронних заходів та ін.

## Додаток А

### Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Дніпро-2018»

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осадку
1	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:05	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,96	8,91	0,2701856	0,316976	0,745888	1559,68	пісок+алеврити +пеліти
2	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:06	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,94	8,94	0,2721494	0,320249	0,761162	1603,32	пісок+алеврити
3	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:07	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,95	9,3	0,2713988	0,318998	0,755324	1586,64	пісок+алеврити +пеліти
4	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:08	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,9	9,18	0,2712512	0,318752	0,754176	1583,36	пісок+алеврити +пеліти
5	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:09	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,93	9,3	0,2717228	0,319538	0,757844	1593,84	пісок+алеврити +пеліти
6	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:10	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,85	9,55	0,2700866	0,316811	0,745118	1557,48	пісок+алеврити +пеліти
7	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:11	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,9	9,55	0,2718236	0,319706	0,758628	1596,08	пісок+алеврити +пеліти
8	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:12	00000195.dat	50.1366 с	30.7647 в	100	1,83	9,67	0,271478	0,31913	0,75594	1588,4	пісок+алеврити +пеліти
9	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:13	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,82	9,77	0,2727848	0,321308	0,766104	1617,44	пісок+алеврити
10	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:14	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,84	9,96	0,2754506	0,325751	0,786838	1676,68	пісок+алеврити
11	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:15	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,83	10,11	0,2745164	0,324194	0,779572	1655,92	пісок+алеврити
12	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:16	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,81	10,11	0,2754092	0,325682	0,786516	1675,76	пісок+алеврити
13	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:17	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,76	10,25	0,2734688	0,322448	0,771424	1632,64	пісок+алеврити
14	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:18	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,79	10,18	0,2774648	0,329108	0,802504	1721,44	пісок
15	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:19	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,73	10,18	0,2762732	0,327122	0,793236	1694,96	пісок
16	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:20	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,81	10,28	0,276005	0,326675	0,79115	1689	пісок
17	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:21	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,76	10,28	0,2747972	0,324662	0,781756	1662,16	пісок+алеврити
18	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:22	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,75	10,3	0,2762354	0,327059	0,792942	1694,12	пісок
19	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:23	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,76	10,33	0,273953	0,323255	0,77519	1643,4	пісок+алеврити
20	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:24	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,71	10,45	0,277742	0,32957	0,80466	1727,6	пісок
21	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:25	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,7	10,5	0,276464	0,32744	0,79472	1699,2	пісок
22	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:26	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,71	10,54	0,277751	0,329585	0,80473	1727,8	пісок
23	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:27	00000195.dat	50.1367 с	30.7647 в	100	1,7	10,54	0,278066	0,33011	0,80718	1734,8	пісок

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осадку
24	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:28	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,71	10,54	0,277337	0,328895	0,80151	1718,6	пісок
25	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:29	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,66	10,54	0,2759978	0,326663	0,791094	1688,84	пісок
26	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:30	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,68	10,47	0,27677	0,32795	0,7971	1706	пісок
27	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:31	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,67	10,47	0,2765288	0,327548	0,795224	1700,64	пісок
28	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:32	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,66	10,47	0,2728208	0,321368	0,766384	1618,24	пісок+алеврити
29	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:33	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,62	10,4	0,2756396	0,326066	0,788308	1680,88	пісок
30	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:34	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,6	10,33	0,2727758	0,321293	0,766034	1617,24	пісок+алеврити
31	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:35	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,56	10,25	0,2739548	0,323258	0,775204	1643,44	пісок+алеврити
32	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:36	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,46	10,18	0,274502	0,32417	0,77946	1655,6	пісок+алеврити
33	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:37	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,38	10,16	0,2733986	0,322331	0,770878	1631,08	пісок+алеврити
34	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:38	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,34	10,8	0,2748998	0,324833	0,782554	1664,44	пісок+алеврити
35	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:39	00000195.dat	50.1368 с	30.7646 в	100	1,24	9,91	0,2752238	0,325373	0,785074	1671,64	пісок+алеврити
36	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:40	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	1,21	9,89	0,2745488	0,324248	0,779824	1656,64	пісок+алеврити
37	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:41	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	1,15	9,77	0,2748926	0,324821	0,782498	1664,28	пісок+алеврити
38	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:42	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	1,6	9,69	0,2736128	0,322688	0,772544	1635,84	пісок+алеврити
39	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:43	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	1,4	9,55	0,2717138	0,319523	0,757774	1593,64	пісок+алеврити +пеліти
40	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:44	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,97	9,5	0,2730314	0,321719	0,768022	1622,92	пісок+алеврити
41	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:45	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,89	9,4	0,2716994	0,319499	0,757662	1593,32	пісок+алеврити +пеліти
42	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:46	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,91	9,3	0,271613	0,319355	0,75699	1591,4	пісок+алеврити +пеліти
43	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:47	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,92	9,25	0,272558	0,32093	0,76434	1612,4	пісок+алеврити
44	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:48	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,92	9,13	0,2721494	0,320249	0,761162	1603,32	пісок+алеврити
45	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:49	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,85	9,8	0,2716472	0,319412	0,757256	1592,16	пісок+алеврити +пеліти
46	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:50	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,91	8,94	0,2729486	0,321581	0,767378	1621,08	пісок+алеврити
47	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:51	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,92	8,89	0,2715878	0,319313	0,756794	1590,84	пісок+алеврити +пеліти
48	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:52	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,89	8,89	0,270947	0,318245	0,75181	1576,6	пісок+алеврити +пеліти
49	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:53	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,89	8,69	0,2718236	0,319706	0,758628	1596,08	пісок+алеврити +пеліти

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осадку
50	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:54	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,91	8,6	0,2713682	0,318947	0,755086	1585,96	пісок+алеврити+пеліти
51	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:55	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,84	8,52	0,270848	0,31808	0,75104	1574,4	пісок+алеврити+пеліти
52	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:56	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,79	8,5	0,2708714	0,318119	0,751222	1574,92	пісок+алеврити+пеліти
53	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:57	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,77	8,45	0,2696078	0,316013	0,741394	1546,84	пісок+алеврити+пеліти
54	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:58	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,7	8,3	0,269237	0,315395	0,73851	1538,6	пісок+алеврити+пеліти
55	Дніпро-2018	12.09.2018	6:40:59	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,61	8,23	0,26948	0,3158	0,7404	1544	пісок+алеврити+пеліти
56	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:00	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0,52	8,21	0,270407	0,317345	0,74761	1564,6	пісок+алеврити+пеліти
57	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:01	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,21	0,2701964	0,316994	0,745972	1559,92	пісок+алеврити+пеліти
58	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:02	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,23	0,2707364	0,317894	0,750172	1571,92	пісок+алеврити+пеліти
59	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:03	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,18	0,2703242	0,317207	0,746966	1562,76	пісок+алеврити+пеліти
60	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:04	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,16	0,2697068	0,316178	0,742164	1549,04	пісок+алеврити+пеліти
61	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:05	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,21	0,2700524	0,316754	0,744852	1556,72	пісок+алеврити+пеліти
62	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:06	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,28	0,269543	0,315905	0,74089	1545,4	пісок+алеврити+пеліти
63	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:07	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,16	0,2704826	0,317471	0,748198	1566,28	пісок+алеврити+пеліти
64	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:08	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,11	0,2705438	0,317573	0,748674	1567,64	пісок+алеврити+пеліти
65	Дніпро-2018	12.09.2018	6:41:09	00000195.dat	50.1369 с	30.7646 в	100	0	8,11	0,2706338	0,317723	0,749374	1569,64	пісок+алеврити+пеліти

## Додаток Б

## Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Чорне море-2018»

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осаду
1	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:18	00000307.dat	46.2829 с	30.6836 в	200	5,66	16,9	0,267080078	0,322773438	0,756933594	1322,78	мул
2	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:19	00000307.dat	46.2829 с	30.6835 в	200	5,72	16,9	0,270888672	0,327851563	0,769628906	1350,158	мул
3	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:20	00000307.dat	46.2829 с	30.6835 в	200	5,75	16,8	0,268325195	0,324433594	0,761083984	1331,73	мул
4	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:21	00000307.dat	46.2829 с	30.6835 в	200	5,83	16,75	0,273964844	0,331953125	0,779882813	1372,271	мул алевритовий
5	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:22	00000307.dat	46.2829 с	30.6834 в	200	5,95	16,71	0,273261719	0,331015625	0,777539063	1367,217	мул
6	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:23	00000307.dat	46.2829 с	30.6834 в	200	5,97	16,66	0,269775391	0,326367188	0,765917969	1342,155	мул
7	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:24	00000307.dat	46.2829 с	30.6834 в	200	6,4	16,61	0,268808594	0,325078125	0,762695313	1335,205	мул
8	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:25	00000307.dat	46.2828 с	30.6833 в	200	6,8	16,61	0,271269531	0,328359375	0,770898438	1352,896	мул
9	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:26	00000307.dat	46.2828 с	30.6833 в	200	6,1	16,51	0,270551758	0,327402344	0,768505859	1347,736	мул
10	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:27	00000307.dat	46.2828 с	30.6832 в	200	5,96	16,41	0,269379883	0,325839844	0,764599609	1339,312	мул
11	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:28	00000307.dat	46.2828 с	30.6832 в	200	5,99	16,37	0,269643555	0,326191406	0,765478516	1341,207	мул
12	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:29	00000307.dat	46.2828 с	30.6832 в	200	6,7	16,32	0,272646484	0,330195313	0,775488281	1362,794	мул
13	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:30	00000307.dat	46.2828 с	30.6831 в	200	6,17	16,32	0,275561523	0,334082031	0,785205078	1383,749	мул алевритовий
14	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:31	00000307.dat	46.2828 с	30.6831 в	200	6,25	16,32	0,274755859	0,333007813	0,782519531	1377,957	мул алевритовий
15	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:32	00000307.dat	46.2828 с	30.6831 в	200	6,32	16,27	0,271928711	0,329238281	0,773095703	1357,634	мул
16	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:33	00000307.dat	46.2827 с	30.683 в	200	6,15	16,22	0,265629883	0,320839844	0,752099609	1312,355	мул
17	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:34	00000307.dat	46.2827 с	30.683 в	200	6,25	16,12	0,274155273	0,332207031	0,780517578	1373,64	мул алевритовий
18	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:35	00000307.dat	46.2827 с	30.683 в	200	6,31	16,12	0,265102539	0,320136719	0,750341797	1308,564	мул
19	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:36	00000307.dat	46.2827 с	30.6829 в	200	6,23	16,12	0,264355469	0,319140625	0,747851563	1303,194	мул
20	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:37	00000307.dat	46.2827 с	30.6829 в	200	6,4	16,12	0,264208984	0,318945313	0,747363281	1302,141	мул
21	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:38	00000307.dat	46.2826 с	30.6828 в	200	6,23	16,7	0,265966797	0,321289063	0,753222656	1314,777	мул

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м3	Літологічний тип донного осаду
22	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:39	00000307.dat	46.2826 с	30.6828 в	200	6,71	15,93	0,265834961	0,321113281	0,752783203	1313,829	мул
23	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:40	00000307.dat	46.2826 с	30.6828 в	200	6,24	15,88	0,264135742	0,318847656	0,747119141	1301,615	мул
24	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:41	00000307.dat	46.2826 с	30.6827 в	200	6,14	15,93	0,263110352	0,317480469	0,743701172	1294,244	мул
25	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:42	00000307.dat	46.2826 с	30.6827 в	200	6,8	15,93	0,26105957	0,314746094	0,736865234	1279,502	мул
26	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:43	00000307.dat	46.2826 с	30.6827 в	200	6,8	15,88	0,262524414	0,316699219	0,741748047	1290,032	мул
27	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:44	00000307.dat	46.2825 с	30.6827 в	200	6,9	15,73	0,267416992	0,323222656	0,758056641	1325,202	мул
28	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:45	00000307.dat	46.2825 с	30.6826 в	200	6,5	15,68	0,266611328	0,322148438	0,755371094	1319,41	мул
29	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:46	00000307.dat	46.2825 с	30.6826 в	200	5,95	15,73	0,266772461	0,322363281	0,755908203	1320,569	мул
30	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:47	00000307.dat	46.2825 с	30.6826 в	200	5,99	15,73	0,267314453	0,323085938	0,757714844	1324,465	мул
31	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:48	00000307.dat	46.2824 с	30.6826 в	200	6,6	15,73	0,268486328	0,324648438	0,761621094	1332,889	мул
32	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:49	00000307.dat	46.2824 с	30.6826 в	200	6,3	15,63	0,266713867	0,322285156	0,755712891	1320,147	мул
33	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:50	00000307.dat	46.2824 с	30.6825 в	200	5,92	15,59	0,263974609	0,318632813	0,746582031	1300,456	мул
34	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:51	00000307.dat	46.2824 с	30.6825 в	200	5,87	15,59	0,263842773	0,318457031	0,746142578	1299,509	мул
35	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:52	00000307.dat	46.2824 с	30.6825 в	200	5,95	15,59	0,262495117	0,316660156	0,741650391	1289,821	мул
36	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:53	00000307.dat	46.2823 с	30.6825 в	200	6,13	15,49	0,26940918	0,325878906	0,764697266	1339,523	мул
37	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:54	00000307.dat	46.2823 с	30.6825 в	200	6,7	15,39	0,262744141	0,316992188	0,742480469	1291,611	мул
38	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:55	00000307.dat	46.2823 с	30.6824 в	200	6,3	15,39	0,264970703	0,319960938	0,749902344	1307,617	мул
39	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:56	00000307.dat	46.2822 с	30.6824 в	200	5,88	15,39	0,265996094	0,321328125	0,753320313	1314,988	мул
40	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:57	00000307.dat	46.2822 с	30.6824 в	200	6	15,39	0,265292969	0,320390625	0,750976563	1309,933	мул
41	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:58	00000307.dat	46.2822 с	30.6824 в	200	6,18	15,29	0,264179688	0,31890625	0,747265625	1301,931	мул
42	Чорне море-2018	09.10.2018	13:12:59	00000307.dat	46.2822 с	30.6824 в	200	6,18	15,24	0,265908203	0,321210938	0,753027344	1314,356	мул
43	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:00	00000307.dat	46.2821 с	30.6824 в	200	6,6	15,24	0,26472168	0,319628906	0,749072266	1305,827	мул
44	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:01	00000307.dat	46.2821 с	30.6824 в	200	6,4	15,24	0,264633789	0,319511719	0,748779297	1305,195	мул
45	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:02	00000307.dat	46.2821 с	30.6823 в	200	6,8	15,24	0,262890625	0,3171875	0,74296875	1292,664	мул
46	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:03	00000307.dat	46.282 с	30.6823 в	200	6,16	15,2	0,262832031	0,317109375	0,742773438	1292,243	мул

Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м3	Літологічний тип донного осаду
47	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:04	00000307.dat	46.282 с	30.6823 в	200	6,16	15,15	0,262348633	0,316464844	0,741162109	1288,768	мул
48	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:05	00000307.dat	46.282 с	30.6823 в	200	6,24	15,15	0,264970703	0,319960938	0,749902344	1307,617	мул
49	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:06	00000307.dat	46.282 с	30.6823 в	200	6,19	15,15	0,268735352	0,324980469	0,762451172	1334,679	мул
50	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:07	00000307.dat	46.282 с	30.6823 в	200	6,15	15,5	0,264384766	0,319179688	0,747949219	1303,405	мул
51	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:08	00000307.dat	46.2819 с	30.6822 в	200	6,12	15	0,266904297	0,322539063	0,756347656	1321,516	мул
52	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:09	00000307.dat	46.2819 с	30.6822 в	200	6,15	15	0,265556641	0,320742188	0,751855469	1311,829	мул
53	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:10	00000307.dat	46.2819 с	30.6822 в	200	6,2	15	0,262583008	0,316777344	0,741943359	1290,453	мул
54	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:11	00000307.dat	46.2818 с	30.6822 в	200	6,19	14,95	0,265029297	0,320039063	0,750097656	1308,038	мул
55	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:12	00000307.dat	46.2818 с	30.6822 в	200	6,23	14,9	0,265615234	0,320820313	0,752050781	1312,25	мул
56	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:13	00000307.dat	46.2818 с	30.6822 в	200	6,12	14,81	0,26453125	0,319375	0,7484375	1304,458	мул
57	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:14	00000307.dat	46.2818 с	30.6821 в	200	6,1	14,71	0,266142578	0,321523438	0,753808594	1316,041	мул
58	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:15	00000307.dat	46.2818 с	30.6821 в	200	6,11	14,71	0,266259766	0,321679688	0,754199219	1316,883	мул
59	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:16	00000307.dat	46.2817 с	30.6821 в	200	6,14	14,66	0,268881836	0,325175781	0,762939453	1335,732	мул
60	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:17	00000307.dat	46.2817 с	30.6821 в	200	6,32	14,61	0,264121094	0,318828125	0,747070313	1301,509	мул
61	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:18	00000307.dat	46.2817 с	30.682 в	200	6,35	14,47	0,266157227	0,321542969	0,753857422	1316,146	мул
62	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:19	00000307.dat	46.2816 с	30.682 в	200	6,24	14,42	0,263227539	0,317636719	0,744091797	1295,086	мул
63	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:20	00000307.dat	46.2816 с	30.682 в	200	6,22	14,37	0,264472656	0,319296875	0,748242188	1304,037	мул
64	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:21	00000307.dat	46.2816 с	30.682 в	200	6,2	14,32	0,265102539	0,320136719	0,750341797	1308,564	мул
65	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:22	00000307.dat	46.2816 с	30.682 в	200	6,34	14,27	0,264077148	0,318769531	0,746923828	1301,193	мул
66	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:23	00000307.dat	46.2816 с	30.6819 в	200	6,95	14,22	0,261601563	0,31546875	0,738671875	1283,398	мул
67	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:24	00000307.dat	46.2815 с	30.6819 в	200	6,34	14,17	0,261235352	0,314980469	0,737451172	1280,765	мул
68	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:25	00000307.dat	46.2815 с	30.6819 в	200	6,27	14,8	0,265512695	0,320683594	0,751708984	1311,513	мул
69	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:26	00000307.dat	46.2815 с	30.6819 в	200	6,14	14,3	0,263564453	0,318085938	0,745214844	1297,508	мул
70	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:27	00000307.dat	46.2814 с	30.6819 в	200	6,3	13,98	0,265058594	0,320078125	0,750195313	1308,249	мул
71	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:28	00000307.dat	46.2814 с	30.6818 в	200	6,27	13,93	0,265380859	0,320507813	0,751269531	1310,565	мул



Номер запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коефіцієнт загасання акустичної енергії	Коефіцієнт відбиття	Коефіцієнт зворотного розсіювання	Коефіцієнт щільності, кг/м3	Літологічний тип донного осаду
72	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:29	00000307.dat	46.2814 с	30.6818 в	200	6,2	13,78	0,2621875	0,31625	0,740625	1287,61	мул
73	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:30	00000307.dat	46.2814 с	30.6818 в	200	6,31	13,78	0,265175781	0,320234375	0,750585938	1309,091	мул
74	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:31	00000307.dat	46.2814 с	30.6818 в	200	6,2	13,74	0,263974609	0,318632813	0,746582031	1300,456	мул
75	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:32	00000307.dat	46.2813 с	30.6818 в	200	6,2	13,69	0,263842773	0,318457031	0,746142578	1299,509	мул
76	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:33	00000307.dat	46.2813 с	30.6818 в	200	6,13	13,69	0,263813477	0,318417969	0,746044922	1299,298	мул
77	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:34	00000307.dat	46.2813 с	30.6818 в	200	6,9	13,64	0,259960938	0,31328125	0,733203125	1271,604	мул
78	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:35	00000307.dat	46.2813 с	30.6817 в	200	6,21	13,64	0,26546875	0,320625	0,7515625	1311,197	мул
79	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:36	00000307.dat	46.2812 с	30.6817 в	200	6,1	13,64	0,261235352	0,314980469	0,737451172	1280,765	мул
80	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:37	00000307.dat	46.2812 с	30.6817 в	200	6,9	13,64	0,263037109	0,317382813	0,743457031	1293,717	мул
81	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:38	00000307.dat	46.2812 с	30.6817 в	200	6,16	13,64	0,265234375	0,3203125	0,75078125	1309,512	мул
82	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:39	00000307.dat	46.2811 с	30.6817 в	200	6,23	13,54	0,263300781	0,317734375	0,744335938	1295,612	мул
83	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:40	00000307.dat	46.2811 с	30.6817 в	200	6,3	13,54	0,264853516	0,319804688	0,749511719	1306,774	мул
84	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:41	00000307.dat	46.2811 с	30.6817 в	200	6,1	13,54	0,267080078	0,322773438	0,756933594	1322,78	мул
85	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:42	00000307.dat	46.2811 с	30.6817 в	200	6,8	13,54	0,260107422	0,313476563	0,733691406	1272,657	мул
86	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:43	00000307.dat	46.281 с	30.6817 в	200	6,2	13,54	0,262495117	0,316660156	0,741650391	1289,821	мул
87	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:44	00000307.dat	46.281 с	30.6817 в	200	6,7	13,49	0,264428711	0,319238281	0,748095703	1303,721	мул
88	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:45	00000307.dat	46.281 с	30.6817 в	200	6,15	13,49	0,270288086	0,327050781	0,767626953	1345,841	мул
89	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:46	00000307.dat	46.2809 с	30.6817 в	200	5,91	13,49	0,260224609	0,313632813	0,734082031	1273,499	мул
90	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:47	00000307.dat	46.2809 с	30.6817 в	200	6,19	13,49	0,261733398	0,315644531	0,739111328	1284,345	мул
91	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:48	00000307.dat	46.2809 с	30.6817 в	200	6,11	13,44	0,265791016	0,321054688	0,752636719	1313,514	мул
92	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:49	00000307.dat	46.2809 с	30.6817 в	200	5,95	13,44	0,265395508	0,320527344	0,751318359	1310,67	мул
93	Чорне море-2018	09.10.2018	13:13:50	00000307.dat	46.2808 с	30.6817 в	200	6,2	13,39	0,263652344	0,318203125	0,745507813	1298,14	мул

## Додаток В

## Окремі океанографічні дані, зібрані під час експедиційних досліджень «Дунай-2018»

№ запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коеф. загасання акустичної енергії	Коеф. відбиття	Коеф. зворотного розсіювання	Коеф. щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осадку
1	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:45	00000447.dat	45.4496 с	29.5203 в	100	6,1	5,89	0,26948	0,3158	0,7404	1544	пісок+алеврити+пеліти
2	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:46	00000447.dat	45.4496 с	29.5202 в	100	6,1	7,79	0,270407	0,317345	0,74761	1564,6	пісок+алеврити
3	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:47	00000447.dat	45.4496 с	29.5202 в	100	6,7	7,79	0,2701964	0,316994	0,745972	1559,92	пісок+алеврити+пеліти
4	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:48	00000447.dat	45.4496 с	29.5202 в	100	6,4	7,84	0,2707364	0,317894	0,750172	1571,92	пісок+алеврити+пеліти
5	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:49	00000447.dat	45.4496 с	29.5201 в	100	6,11	7,84	0,2703242	0,317207	0,746966	1562,76	пісок+алеврити+пеліти
6	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:50	00000447.dat	45.4496 с	29.5201 в	100	6,12	7,79	0,2697068	0,316178	0,742164	1549,04	пісок+алеврити+пеліти
7	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:51	00000447.dat	45.4496 с	29.5201 в	100	6,9	7,79	0,2700524	0,316754	0,744852	1556,72	пісок+алеврити+пеліти
8	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:52	00000447.dat	45.4496 с	29.52 в	100	6,1	7,79	0,269543	0,315905	0,74089	1545,4	пісок+алеврити+пеліти
9	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:53	00000447.dat	45.4497 с	29.52 в	100	6,13	7,74	0,2704826	0,317471	0,748198	1566,28	пісок+алеврити
10	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:54	00000447.dat	45.4497 с	29.52 в	100	6,8	7,74	0,2705438	0,317573	0,748674	1567,64	пісок+алеврити
11	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:55	00000447.dat	45.4497 с	29.5199 в	100	6,11	7,74	0,2706338	0,317723	0,749374	1569,64	пісок+алеврити
12	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:56	00000447.dat	45.4497 с	29.5199 в	100	5,97	7,74	0,271649	0,319415	0,75727	1592,2	пісок+алеврити
13	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:57	00000447.dat	45.4497 с	29.5198 в	100	6,9	7,7	0,2734688	0,322448	0,771424	1632,64	пісок+алеврити
14	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:58	00000447.dat	45.4497 с	29.5198 в	100	6,12	7,65	0,2774648	0,329108	0,802504	1721,44	пісок
15	Дунай-2018	06.11.2018	9:09:59	00000447.dat	45.4497 с	29.5198 в	100	6,12	7,65	0,2762732	0,327122	0,793236	1694,96	пісок
16	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:00	00000447.dat	45.4498 с	29.5197 в	100	6,11	7,65	0,276005	0,326675	0,79115	1689	пісок
17	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:01	00000447.dat	45.4498 с	29.5197 в	100	6,7	7,6	0,2747972	0,324662	0,781756	1662,16	пісок+алеврити
18	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:02	00000447.dat	45.4498 с	29.5196 в	100	6,16	7,55	0,2762354	0,327059	0,792942	1694,12	пісок
19	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:03	00000447.dat	45.4498 с	29.5196 в	100	6,12	7,55	0,273953	0,323255	0,77519	1643,4	пісок+алеврити
20	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:04	00000447.dat	45.4498 с	29.5196 в	100	6,9	7,55	0,277742	0,32957	0,80466	1727,6	пісок
21	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:05	00000447.dat	45.4498 с	29.5195 в	100	6,1	7,5	0,276464	0,32744	0,79472	1699,2	пісок
22	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:06	00000447.dat	45.4498 с	29.5195 в	100	6,14	7,5	0,277751	0,329585	0,80473	1727,8	пісок
23	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:07	00000447.dat	45.4498 с	29.5195 в	100	6,13	7,45	0,278066	0,33011	0,80718	1734,8	пісок
24	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:08	00000447.dat	45.4498 с	29.5194 в	100	6,8	7,35	0,277337	0,328895	0,80151	1718,6	пісок
25	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:09	00000447.dat	45.4499 с	29.5194 в	100	6,7	7,35	0,2759978	0,326663	0,791094	1688,84	пісок

№ запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коеф. загасання акустичної енергії	Коеф. відбиття	Коеф. зворотного розсіювання	Коеф. щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осаду
26	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:10	00000447.dat	45.4499 с	29.5194 в	100	6,9	7,26	0,27677	0,32795	0,7971	1706	пісок
27	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:11	00000447.dat	45.4499 с	29.5193 в	100	6,3	7,16	0,2765288	0,327548	0,795224	1700,64	пісок
28	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:12	00000447.dat	45.4499 с	29.5193 в	100	6,5	7,11	0,2728208	0,321368	0,766384	1618,24	пісок+алеврити
29	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:13	00000447.dat	45.4499 с	29.5193 в	100	6,5	7,1	0,2756396	0,326066	0,788308	1680,88	пісок
30	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:14	00000447.dat	45.4499 с	29.5192 в	100	6,12	6,87	0,2727758	0,321293	0,766034	1617,24	пісок+алеврити
31	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:15	00000447.dat	45.45 с	29.5192 в	100	6,5	6,82	0,2739548	0,323258	0,775204	1643,44	пісок+алеврити
32	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:16	00000447.dat	45.45 с	29.5191 в	100	6,5	6,82	0,274502	0,32417	0,77946	1655,6	пісок+алеврити
33	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:17	00000447.dat	45.45 с	29.5191 в	100	6,11	6,62	0,2733986	0,322331	0,770878	1631,08	пісок+алеврити
34	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:18	00000447.dat	45.45 с	29.5191 в	100	6,12	6,58	0,2748998	0,324833	0,782554	1664,44	пісок+алеврити
35	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:19	00000447.dat	45.45 с	29.5191 в	100	6,1	6,62	0,2752238	0,325373	0,785074	1671,64	пісок+алеврити
36	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:20	00000447.dat	45.45 с	29.519 в	100	6,12	6,48	0,2745488	0,324248	0,779824	1656,64	пісок+алеврити
37	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:21	00000447.dat	45.45 с	29.519 в	100	6,11	6,48	0,2748926	0,324821	0,782498	1664,28	пісок+алеврити
38	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:22	00000447.dat	45.45 с	29.519 в	100	6,2	6,62	0,2736128	0,322688	0,772544	1635,84	пісок+алеврити
39	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:23	00000447.dat	45.45 с	29.5189 в	100	6,8	6,53	0,2717138	0,319523	0,757774	1593,64	пісок+алеврити+пеліти
40	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:24	00000447.dat	45.4501 с	29.5189 в	100	6,1	6,48	0,2730314	0,321719	0,768022	1622,92	пісок+алеврити
41	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:25	00000447.dat	45.4501 с	29.5188 в	100	6,7	6,58	0,2716994	0,319499	0,757662	1593,32	пісок+алеврити+пеліти
42	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:26	00000447.dat	45.4501 с	29.5188 в	100	6,13	6,62	0,271613	0,319355	0,75699	1591,4	пісок+алеврити+пеліти
43	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:27	00000447.dat	45.4501 с	29.5188 в	100	6,8	6,53	0,272558	0,32093	0,76434	1612,4	пісок+алеврити
44	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:28	00000447.dat	45.4501 с	29.5187 в	100	6,4	6,48	0,2721494	0,320249	0,761162	1603,32	пісок+алеврити
45	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:29	00000447.dat	45.4501 с	29.5187 в	100	6,14	6,62	0,2716472	0,319412	0,757256	1592,16	пісок+алеврити+пеліти
46	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:30	00000447.dat	45.4501 с	29.5187 в	100	6,11	6,67	0,2729486	0,321581	0,767378	1621,08	пісок+алеврити
47	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:31	00000447.dat	45.4502 с	29.5186 в	100	6,12	6,53	0,2715878	0,319313	0,756794	1590,84	пісок+алеврити+пеліти
48	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:32	00000447.dat	45.4502 с	29.5186 в	100	6,13	6,48	0,270947	0,318245	0,75181	1576,6	пісок+алеврити+пеліти
49	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:33	00000447.dat	45.4502 с	29.5186 в	100	6,6	6,62	0,2718236	0,319706	0,758628	1596,08	пісок+алеврити+пеліти
50	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:34	00000447.dat	45.4502 с	29.5185 в	100	6,8	6,72	0,2713682	0,318947	0,755086	1585,96	пісок+алеврити+пеліти
51	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:35	00000447.dat	45.4502 с	29.5185 в	100	6,14	6,72	0,270848	0,31808	0,75104	1574,4	пісок+алеврити+пеліти
52	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:36	00000447.dat	45.4502 с	29.5184 в	100	6,9	6,58	0,2708714	0,318119	0,751222	1574,92	пісок+алеврити+пеліти
53	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:37	00000447.dat	45.4502 с	29.5184 в	100	6,13	6,48	0,2696078	0,316013	0,741394	1546,84	пісок+алеврити+пеліти
54	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:38	00000447.dat	45.4502 с	29.5184 в	100	6,8	6,58	0,269237	0,315395	0,73851	1538,6	пісок+алеврити+пеліти

№ запису	Рейс	Дата	Час	Ім'я файлу	Широта	Довгота	Діапазон, м	Швидкість, вузл.	Глибина, м	Коеф. загасання акустичної енергії	Коеф. відбиття	Коеф. зворотного розсіювання	Коеф. щільності, кг/м <sup>3</sup>	Літологічний тип донного осаду
55	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:39	00000447.dat	45.4502 с	29.5183 в	100	6,14	6,58	0,26948	0,3158	0,7404	1544	пісок+алеврити+пеліти
56	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:40	00000447.dat	45.4503 с	29.5183 в	100	6,9	6,58	0,270407	0,317345	0,74761	1564,6	пісок+алеврити+пеліти
57	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:41	00000447.dat	45.4503 с	29.5182 в	100	6,8	6,53	0,2701964	0,316994	0,745972	1559,92	пісок+алеврити+пеліти
58	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:42	00000447.dat	45.4503 с	29.5182 в	100	6,7	6,33	0,2707364	0,317894	0,750172	1571,92	пісок+алеврити+пеліти
59	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:43	00000447.dat	45.4503 с	29.5182 в	100	6,9	6,38	0,2703242	0,317207	0,746966	1562,76	пісок+алеврити+пеліти
60	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:44	00000447.dat	45.4503 с	29.5181 в	100	6,16	6,53	0,2697068	0,316178	0,742164	1549,04	пісок+алеврити+пеліти
61	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:45	00000447.dat	45.4503 с	29.5181 в	100	6,1	6,53	0,2700524	0,316754	0,744852	1556,72	пісок+алеврити+пеліти
62	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:46	00000447.dat	45.4503 с	29.5181 в	100	6,14	6,38	0,269543	0,315905	0,74089	1545,4	пісок+алеврити+пеліти
63	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:47	00000447.dat	45.4504 с	29.518 в	100	6,14	6,38	0,2704826	0,317471	0,748198	1566,28	пісок+алеврити+пеліти
64	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:48	00000447.dat	45.4504 с	29.518 в	100	6,7	6,48	0,2705438	0,317573	0,748674	1567,64	пісок+алеврити+пеліти
65	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:49	00000447.dat	45.4504 с	29.518 в	100	6,6	6,48	0,2706338	0,317723	0,749374	1569,64	пісок+алеврити+пеліти
66	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:50	00000447.dat	45.4504 с	29.5179 в	100	6,1	6,23	0,271649	0,319415	0,75727	1592,2	пісок+алеврити+пеліти
67	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:51	00000447.dat	45.4504 с	29.5179 в	100	6,18	6,23	0,2701136	0,316856	0,745328	1558,08	пісок+алеврити+пеліти
68	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:52	00000447.dat	45.4504 с	29.5179 в	100	6,9	6,43	0,2703476	0,317246	0,747148	1563,28	пісок+алеврити+пеліти
69	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:53	00000447.dat	45.4504 с	29.5178 в	100	6,4	6,48	0,2702252	0,317042	0,746196	1560,56	пісок+алеврити+пеліти
70	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:54	00000447.dat	45.4504 с	29.5178 в	100	6,11	6,43	0,2705096	0,317516	0,748408	1566,88	пісок+алеврити+пеліти
71	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:55	00000447.dat	45.4504 с	29.5177 в	100	6,8	6,43	0,2695754	0,315959	0,741142	1546,12	пісок+алеврити+пеліти
72	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:56	00000447.dat	45.4504 с	29.5177 в	100	6,3	6,48	0,2697518	0,316253	0,742514	1550,04	пісок+алеврити+пеліти
73	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:57	00000447.dat	45.4505 с	29.5177 в	100	6,2	6,28	0,2700722	0,316787	0,745006	1557,16	пісок+алеврити+пеліти
74	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:58	00000447.dat	45.4505 с	29.5176 в	100	6,7	6,33	0,2707958	0,317993	0,750634	1573,24	пісок+алеврити+пеліти
75	Дунай-2018	06.11.2018	9:10:59	00000447.dat	45.4505 с	29.5176 в	100	6,12	6,48	0,2704988	0,317498	0,748324	1566,64	пісок+алеврити+пеліти
76	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:00	00000447.dat	45.4505 с	29.5176 в	100	6,2	6,48	0,271451	0,319085	0,75573	1587,8	пісок+алеврити+пеліти
77	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:01	00000447.dat	45.4505 с	29.5175 в	100	6,11	6,38	0,2701532	0,316922	0,745636	1558,96	пісок+алеврити+пеліти
78	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:02	00000447.dat	45.4505 с	29.5175 в	100	6,9	6,38	0,2712728	0,318788	0,754344	1583,84	пісок+алеврити+пеліти
79	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:03	00000447.dat	45.4505 с	29.5175 в	100	6,9	6,43	0,270533	0,317555	0,74859	1567,4	пісок+алеврити+пеліти
80	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:04	00000447.dat	45.4505 с	29.5174 в	100	6,15	6,33	0,2705204	0,317534	0,748492	1567,12	пісок+алеврити+пеліти
81	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:05	00000447.dat	45.4506 с	29.5174 в	100	6,6	6,33	0,270695	0,317825	0,74985	1571	пісок+алеврити+пеліти
82	Дунай-2018	06.11.2018	9:11:06	00000447.dat	45.4506 с	29.5174 в	100	6,17	6,43	0,2707076	0,317846	0,749948	1571,28	пісок+алеврити+пеліти

## Додаток Г

### Список публікацій здобувача за темою дисертації

Основні результати та висновки дисертаційного дослідження, одержані автором особисто або у співавторстві та опубліковані у журналах, які входять до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з наук про Землю, або іноземних виданнях. За темою дисертації опубліковано 35 наукових праць: статей у фахових наукових виданнях – 8 (2 входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus), одна глава в колективній монографії, 12 статей в інших наукових виданнях (1 в іноземному), 1 патент і 14 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня.

### *Монографії*

1. Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря: Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Довбыш С.Н., Дыкань Н.И., Ольштынская А.П., Вернигоров В.П., Никитина А.А., Тимченко В.П., Гончар А.И., Клочан Ю.А., Клочан В.И., Сафонов А.В., Иваненко М.П., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Мельников В.В., Токарев Ю.Н., Алемов С.В., Болтачева Н.А., Бурдиян Н.В., Игнатъев С.М., Ревков Н.К., Сергеева Н.Г., Серегин С.А., Станичный С.В., Сысоев А.А. Под ред. А.Ю. Митропольского. К.: ИГН НАН Украины, 2013. 141 с. . (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у натурних випробуваннях, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

### *Статті в наукових фахових виданнях України:*

2. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И., Худоконь В.В., Сафонов А.В. Совмещение планшета панорамного гидроакустического комплекса со спутниковой картой. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2011. Вип. 25. Т. 1. С. 117-121. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у

постановці задачі, інтерпретація результатів аналізу інформації побудованого планшета на прикладі сполучення із супутниковою картою і прив'язкою до географічних координат під час моніторингу акваторій, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

3. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель А.И. Методы подавления кратных волн при обработке информации профилограмм. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 7-12. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, обчислення математичної моделі профілограми, участь у розробці методів усунення кратних хвиль при обробці інформації профілограм).

4. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Іванова Г.М., Довбиш С.М., Нікітіна А.О., **Федосеєнков С.Г.** Закономірності формування вмісту нікелю в складі седиментаційних потоків. Зб. наук. пр. Інституту геологічних наук НАН України. 2015. Т. 8. С. 139-144. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі, обговорення висновків).

5. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., **Федосеєнков С.Г.**, Іванова Г.М., Довбиш С.М. Відновлення та адаптація проекту моніторингу седиментаційних процесів на шельфі Чорного моря на полігоні "Запоріжжя". *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2016. № 3. С. 89-94. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі).

6. Гончар А.И., **Федосеєнков С.Г.** Сучасні комп'ютерні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації. *Геоінформатика*. № 1 (61). 2017. С. 19-25. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, участь у постановці задачі, проведення та обробка нових експериментальних досліджень,

побудова, розрахунок та аналіз вітчизняних сучасних комп'ютерних методів обробки і візуалізації гідроакустичної інформації, встановлення закономірностей поширення певних літологічних типів донних відкладів у обстеженому районі р. Дніпро).

7. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Іванова Г.М., Кураєва І.В., Войтюк Ю.Ю., **Федосеєнков С.Г.** Моніторинг стану річкових відкладів у межах індустріальних осередків (на прикладі м. Запоріжжя). *Мінералогічний журнал*. 2017. Т. 39, № 3. С. 75-84. (Особистий внесок – участь у проведенні експериментальних досліджень, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації донних відкладів р. Дніпро у межах м. Запоріжжя, обробка результатів автоматизованої профільної ґрунтової зйомки дна з визначенням фізико-механічних параметрів верхнього шару донних відкладів, створення 3d полігону даних, який об'єднує інформацію щодо глибини акваторії, розподілу шарів донних відкладів, географічних координат точок досліджень в єдине ціле).

***В інших наукових виданнях:***

8. Гончар А.И., Шундель А.И., **Федосеєнков С.Г.** Некоторые аспекты создания структурных моделей неоднородного слоистого дна. *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. Вип. 27. С. 151-155. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, розробка та аналіз системи комп'ютерного тривимірного моделювання геофізичних полів геологічних структур, математичне моделювання геологічного середовища, наближеного до реального).

9. Honchar A.I., **Fedoseienkov S.H.** Geo- and hydro-acoustic complex as study of interconnection between processes in waters and bottom sediments. *Геодинаміка*. 2016. № 2 (21). С. 101-108. (Особистий внесок – збір та аналіз матеріалів, проведення обробки гідрогеоакустичної інформації, методико-методологічні основи яких використані в дисертаційній роботі, систематизація та інтерпретація обробки гідрогеоакустичної інформації).

10. **Федосеєнков С.Г.** Методика дистанционной профильной ґрунтової

сьемки для определения типов донных отложений. *Modern Science – Moderní Věda*. 2016. №3. С. 179-186. (Особистий внесок – постановка задачі, аналіз експериментальних досліджень та їх обробка).

**Патент:**

Гідролокатор бокового огляду: пат. 111541 Україна. № а201500106; заявл. 06.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9/2016.

**Опубліковані праці апробаційного характеру або матеріали і тези конференцій:**

11. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель О.І. Аспекти технології автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2011. № 8. С. 63-68.

12. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шличек Л.І., Шундель О.І., Неверова С.І. Спектральний метод оцінки параметрів донних відкладень: коефіцієнтів відбиття і поглинання. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2011. № 8. С. 69-76.

13. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акваторий. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2012. № 9. С. 97-102.

14. Гончар А.І., Неверова С.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель А.І. Энергетические характеристики параметрического профилографа донных осадочных структур. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2012. № 9. С. 103-107.

15. Гончар А.І., **Федосеєнков С.Г.**, Шундель А.І. Спектральные методы послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби*



досліджень Світового океану): зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2013. № 10. С. 68-79.

16. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Реконструкция характеристик упругого дна по коэффициенту отражения. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2013. № 10. С. 80-79.

17. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.** Технология дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 32-37.

18. Гончар А.И., Клочан Ю.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обработка и визуализация информации гидроакустического модуля. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 38-43.

19. Гончар А.И., Мартыновская Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Оценка типов донного грунта по отраженным сигналам однолучевого эхолота. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 44-51.

20. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Прогнозирование цифровой модели рельефа по модельным данным гидрогеоакустических средств. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи і засоби досліджень Світового океану)*: зб. наук. пр. Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України. 2014. № 11. С. 9-16.

#### ***Матеріали та тези конференцій***

21. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Шундель А.И., **Федосеенков С.Г.** Построение планшета обследованных акваторий по данным панорамного акустического комплекса (ПАК). *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды X Всероссийской конф. ГА-2010. 25-27 мая 2010 г. Санкт-

Петербург: Президиум РАН, 2010. С. 78-80.

22. Гончар А.И., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Вероятностная оценка послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: труды XI Всероссийской конф. ГА-2012. 22-24 мая 2012 г.* Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2012. С. 265-268.

23. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И. Многоцелевой автоматизированный модульно-блочный информационно-измерительный комплекс для мониторинга акватории. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології: матеріали XVII Міжнародного наук.-техн. симпозіуму, 10-15 вересня 2012 р.* Алушта: Національний університет "Львівська політехніка", Державна установа «Держгідрографія», 2012.

24. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Обследование прибрежных акваторий гидроакустическими средствами. *Морские берега Украины: V Всеукраинский семинар-совещание, 10-13 сентября 2012 г.* пгт. Кацивели: МГИ НАН Украины, 2012.

25. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Гидроакустический модуль мониторинга дна акваторий. *Системи контролю навколишнього середовища – 2012: Міжнародний науково-технічний семінар, 24-28 вересня 2012 р.* Севастополь: МГІ НАН України, 2012.

26. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Сафонов А.В. Технология автоматизированной дистанционной профильной грунтовой съемки морского дна. *Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій: зб. матеріалів міжнар. наук. конф., 8-13 жовтня 2012 р.* Київ, 2012. С. 29

27. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.** Оценка погрешности построения планшетов панорамной гидроакустической съемки на мелководье. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. научн. тр.* Севастополь: МГИ, ИГН, ОФ

ИнБЮМ. Вып. 27. С. 18-22.

28. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Цифровое моделирование параметрического профилографа. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 65-78.

29. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шундель А.И. Математическое моделирование спектрального метода определения коэффициентов затухания и отражения для многослойных водонасыщенных донных отложений. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 193-204.

30. Гончар А.И., Попова Т.А., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И., Шундель А.И. Геоакустические методы исследования дна. *Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана*: сб. докладов третьей междунар. науч.-практ. конф., 14-15 мая 2013 г. Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины. С. 299-309.

31. Гончар А.И., Гончар Ю.А., Голод О.С., **Федосеенков С.Г.** Методология дистанционной профильной грунтовой съемки для определения типов донных отложений. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*: труды XII Всероссийской конф. ГА-2014, 27-29 мая 2014 г. Санкт-Петербург: Президиум РАН, 2014. С. 483-486.

32. Гончар А.И., **Федосеенков С.Г.**, Шлычек Л.И. Гідроакустичні методи та засоби морських інформаційних технологій. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України*: тези доповідей V науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2014 р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. С. 217-218.

33. Гончар А.И., Нестеренко Л.В., **Федосеенков С.Г.** Использование гидроакустических технологий для экологического мониторинга акваторий. *Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки*

*регіонів*: зб. тезисів восьмої міжнародної наук.-практ. конф. 2015 р. Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України. 2015.

34. Гончар А.І., **Федосєнков С.Г.**, Шличек Л.І., Нестеренко Л.В., Клочан Ю.А. Сучасні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації як джерело нових потенційних можливостей гідроакустичних засобів. *Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України*: тези доповідей науково-технічної конференції, 09-12 грудня 2015 р. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2015.

### Апробація результатів дисертації

Основні положення роботи викладено та обговорено на науково-практичних конференціях, симпозиумах і семінарах різного рівня:

1. X Всероссийская конференция «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики ГА-2010» (Санкт-Петербург, 25-27 мая 2010 г., форма участі – публікація тез).

2. XI Всероссийская конференция «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики ГА-2012» (Санкт-Петербург, 22-24 мая 2012 г., форма участі – публікація тез).

3. XVII Міжнародний науково-технічний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології» (Алушта, 10-15 вересня 2012 р., форма участі – постерна доповідь).

4. V Всеукраїнський семінар-совещание «Морские берега Украины» (пгт. Кацивели, 10-13 сентября 2012 г., форма участі – постерна доповідь).

5. Міжнародний науково-технічний семінар «Системи контролю навколишнього середовища – 2012» (Севастополь, 24-28 вересня 2012 р., форма участі – постерна доповідь).

6. Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій» (Київ, 08-13 жовтня 2012 р., форма участі – публікація тез).

7. III международная научно-практическая конференция «Проблемы, методы и средства исследования Мирового океана» (Запорожье, 14-15 мая 2013 г., форма участі – публікація тез).

8. Міжнародна наукова конференція «Інтегровані системи моніторингу Чорного та Азовського морів» (м. Севастополь, 24-27 вересня 2013 р., форма участі – постерна доповідь).

9. XII Всероссийская конференция «Прикладные технологии

гідроакустики и гідрофізики ГА-2014» (Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014 г., форма участі – публікація тез).

10. V науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України» (Київ, 09-12 грудня 2014 р., форма участі – публікація тез).

11. Восьма міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів», (Дніпропетровськ, 06-09 жовтня 2015 р., форма участі – публікація тез).

12. VI науково-технічна конференція «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України» (Київ, 09-12 грудня 2015 р., форма участі – постерна доповідь).