

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.4:681.88:[551.312.3:502.51]
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.102.10>

Володимир ЄМЕЛЬЯНОВ¹, д-р геол.-мінералог. наук, член-кор. НАН України
ORCID ID: 0000-0002-8972-0754
e-mail: eva@nas.gov.ua

Євген НАСЄДКІН², канд. геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0003-2633-9291
e-mail: nasedevg@ukr.net

Сергій ФЕДОСЕЄНКОВ³, канд. геол. наук
e-mail: fedoseenkov@nas.gov.ua

Тетяна КОШЛЯКОВА⁴, канд. геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0001-8551-3531
e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com

¹Державна наукова установа "Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення НАН України", Київ, Україна

²Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

³Державна установа "Науковий гідрофізичний центр НАН України", Київ, Україна

⁴Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПІД ЧАС ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗПОДІЛУ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Представлено результати, отримані в ході тривалих натурних досліджень особливостей розподілу металомісної компоненти осадової речовини в межах територій промислових міст, зокрема Запоріжжя. Ґрунтуючись на контактних та дистанційних дослідженнях, вивчено один з аспектів проблеми, а саме особливості розподілу концентрацій заліза в поверхневому шарі донних відкладів Дніпра. Окреслено коло практичних підходів до застосування нового комплексного методу польових спостережень, що поєднує можливості експресної площинної зйомки з визначенням геохімічних характеристик річкових осадків. Обґрунтовано методологію поєднання контактних геохімічних досліджень розподілу заліза в поверхневих донних відкладах з виконанням бічного огляду дистанційної площинної зйомки за допомогою гідролокатора. Водночас передбачається можливість визначення літологічних відмінностей поверхневого шару донних відкладів за умов визначення середніх концентрацій заліза для основних речовинних типів осадків. Результати дворічних досліджень на основі даних польових робіт виявили певні перспективи розвитку такого комплексу спостережень у разі систематизації напрямку, додаткової апробації технологічної складової на різних тестових ділянках акваторії, а також напрацювання відповідного методичного підґрунтя.

Ключові слова: геоєкологія, донні відклади, дистанційна площинна зйомка, гідроакустичні методи, контактні геохімічні дослідження.

Постановка проблеми. Поглиблення людської діяльності в усіх сферах природокористування, створюючи різноманітні екологічні проблеми, одночасно визначає нові об'єкти досліджень і розвиток дослідницьких технологій. Однією з таких проблем, що має сталу основу та стійкий тренд до ускладнення, є забруднення об'єктів навколишнього середовища побічними продуктами процесів переробки корисних копалин, зокрема залізних і кольорових руд. Багаторічному вивченню питання привнесення з промислових територій забруднювачів, зокрема в межах металургійних осередків, присвячено спільні натурні дослідження Інституту геологічних наук НАН України, Державних наукових установ "Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення НАН України" та "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" у межах міста Запоріжжя. Дослідження розподілу заліза та низки важких металів у складі різних компонентів довкілля відбувається на основі постійного відбору речовини седиментаційних потоків з атмосферного та водного середовища, вивчаються на предмет забруднення важкими металами поверхневі ґрунти території Запоріжжя та донні відклади Дніпра в межах міста (Митропольський та ін., 2017).

Для періодичних досліджень стану донних відкладів було створено експериментальний полігон – обрано довільну ділянку акваторії Дніпра в межах південної частини міста, що межує з територією причалу Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук

України" (Гончар та Федосєєнков, 2016, 2017). Віддаленість від найбільших осередків забруднення (території підприємств ПАТ "Запоріжсталь", ПрАТ "Дніпроспецсталь" тощо) ділянки становить десять кілометрів, що унеможливіє прямий вплив їх функціонування на стан донних відкладів та задовольняє вимоги проведення експерименту. Виходячи з аналізу річкових карт, обрана для спостережень ділянка акваторії включає фрагменти дна з ознаками акумуляції донних відкладів та їх розмиву і вирізняється суттєвими перепадами глибин, що визначає присутність різних типів осадової речовини у складі верхнього шару донних відкладів.

Експериментальною складовою комплексу польових спостережень, що на технічно досяжному рівні дозволяє проводити дистанційну площинну зйомку розподілу залізо-вмісної компоненти поверхневих донних відкладів, стало залучення гідролокатора бокового огляду до геохімічних досліджень (Ємельянов та ін., 2019). Перші дані, отримані в ході польових робіт, виявили певні перспективи розвитку такого комплексу спостережень у разі реалізації достатнього обсягу польових і лабораторних досліджень.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Останніми роками з'явилося чимало вітчизняних і закордонних публікацій, присвячених застосуванню гідроакустичних методів для вивчення донних відкладів поверхневих водних об'єктів (Ostrovsky and Tegowski, 2010; Anderson and Pacheco, 2011; Гончар и др., 2012, 2014; Mytropolskyi et al., 2016; Гончар та Федосєєнков, 2016,

© Ємельянов Володимир, Насєдкін Євген, Федосєєнков Сергій, Кошлякова Тетяна, 2023

2017; Митропольський та ін., 2017; Ємельянов та ін., 2019; Papeete et al., 2020). Проте в літературі мало уваги приділяється комплексним еколого-геохімічним дослідженням, здійсненим із застосуванням дистанційної площинної зйомки. Крім того, зазвичай фахівці представляють результати короткострокових обстежень, що не дає змоги оцінити закономірності розподілу хімічних елементів у водному середовищі та осадовій речовині річок та озер у багаторічному розрізі.

Мета досліджень – розробити методичну основу та обґрунтувати поєднання контактних геохімічних досліджень розподілу металовмісної компоненти в поверхневих донних відкладах з виконанням бічного огляду дистанційної площинної зйомки за допомогою гідролокатора.

У статті наведено результати тривалих натурних спостережень за особливостями розподілу заліза в осадовій речовині Дніпра в межах міста Запоріжжя.

Методичне обґрунтування застосування гідроакустичних методів. Геохімічні контактні дослідження засвідчили низку особливостей перебування побічних продуктів металургійного виробництва у складі поверхневого шару донних відкладів Дніпра в межах міста Запоріжжя. У цілому, загальний вміст заліза у складі компонентів водного середовища сягає високих значень, значно перевищуючи середні показники для фонових ділянок дніпровських вод у середній течії річки (Митропольський та ін., 2017). За результатами моніторингу екологічного стану поверхневих вод у межах досліджуваної території, що здійснює Запорізьке регіональне управління водних ресурсів, вміст заліза у воді сягає в середньому $0,25 \text{ г/м}^3$, перевищуючи рибгосподарські орієнтовно безпечні рівні впливу у 2,5 рази. Осереднення отриманих нами даних щодо розподілу основних компонентів верхнього шару донних відкладів у Дніпрі на визначеній ділянці в межах міста засвідчило, що вміст оксиду заліза також є досить значним – до 13 % в загальному розподілі основних оксидів для сухої речовини проб. Водночас коливання розподілу значень металовмісної компоненти сягають істотних значень для різних періодів відбору натурної речовини, що прив'язані до сезонного циклу.

Узагальнення результатів електронномікроскопічних досліджень та хімічного аналізу проб за період спостережень засвідчили помітну роль металовмісних частинок у формуванні основної фази мінеральної компоненти донних осадків дрібноалевритової та пелітової розмірності.

Основним джерелом пересування Fe_2O_3 є потоки дрібнодисперсної завислої речовини, які формують верхній шар осадків на певних ділянках відповідно до підводного

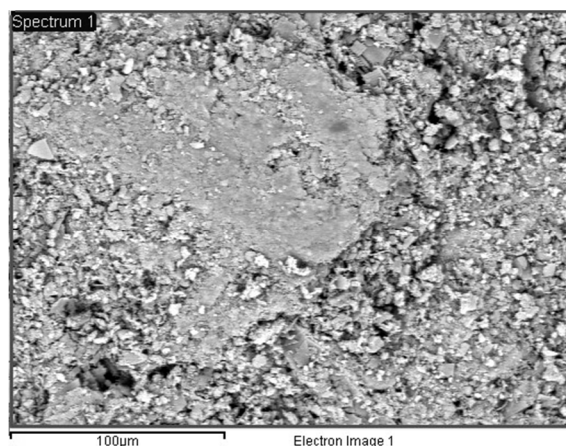
рельєфу за умов мінімальної гідродинамічної активності водного шару акваторії. У той самий час ділянки дна, в межах яких водним потокам властиві течії та гідродинамічні збурення, визначаються переважною присутністю псамітової складової осадків на своїй поверхні. Зазвичай у межах району досліджень такі ділянки представлені мінеральною компонентою кварцових пісків різної розмірності з мінімальною присутністю дрібнодисперсної залізистовмісної складової (Mytropolskyi et al., 2016).

Отже, особливості розподілу в донних відкладах Fe_2O_3 , за певних узагальнень та припущень, визначаються наявністю двох основних літологічних типів осадків поверхневого шару:

1. Відклади, представлені збагаченою металовмісним компонентом дрібнодисперсною алеврито-пелітовою речовиною, що складається зі змішаношаруватих утворень хлорит-іліт-монтморилоніту та скелетних залишків кременистих мікроводоростей. Електронномікроскопічний знімок зразка цих відкладів та його хімічний склад зображено на рис. 1.

2. Відклади, представлені обкатаними уламками кварцу та фрагментами польових шпатів піщаної розмірності з незначною домішкою агрегованої пелітової складової (змішаношаруваті утворення хлорит-іліт-монтморилоніту). Електронномікроскопічний знімок зразка цих відкладів та його хімічний склад зображено на рис. 2.

Таблиці хімічного складу проб вказують на суттєве збагачення низкою металів речовини, представленій дрібнодисперсною компонентою, і зниження їх вмісту у відкладах піщаної розмірності. Загалом такі особливості відомі з літературних джерел (Митропольський та др., 1982) для різних літологічних та речовинно-генетичних типів донних відкладів Чорного моря. За опублікованими літературними даними, це пов'язано з певним мінеральним складом, а також природними властивостями різних гранулометричних відмінностей донних відкладів накопичувати в собі з водного середовища низку мікроелементів. Контактні дослідження верхнього шару донних відкладів на ділянці спостережень у межах акваторії Дніпра, що слугує експериментальним полігоном для проведення зазначених геохімічних і геофізичних спостережень (рис. 3), дали змогу виявити фактор залежності розподілу металовмісної компоненти від гранулометричного складу осадків. Це, у свою чергу, дозволило розглядати розподіл літологічних типів сучасних донних відкладів у межах локальних ділянок акваторій як один з показників накопичення та розподілу Fe_2O_3 – від мінімальних показників у кварцових пісках до максимальних – у мулистих дрібнодисперсних відкладах.



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Mg K	0.87	0.81	1.44	MgO
Al K	3.58	3.02	6.76	Al ₂ O ₃
Si K	27.86	22.59	59.61	SiO ₂
K K	1.07	0.62	1.29	K ₂ O
Ca K	5.49	3.12	7.68	CaO
Mn K	4.55	1.89	5.87	MnO
Fe K	10.84	4.42	15.49	Fe ₂ O ₃
Cu K	1.49	0.53	1.86	CuO
O	44.26	63.00		
Totals	100.00			

Рис. 1. Електронномікроскопічний знімок та хімічний склад зразка відкладів, представлених збагаченою залізом дрібнодисперсною алеврито-пелітовою речовиною

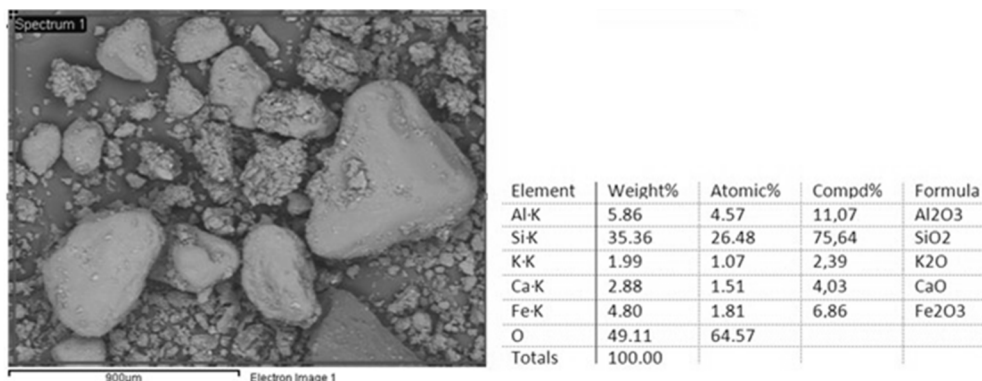


Рис. 2. Електронномікроскопічний знімок та хімічний склад зразка відкладів, представлених обкатаними уламками зерен кварцу та фрагментами польових шпатів піщаної розмірності

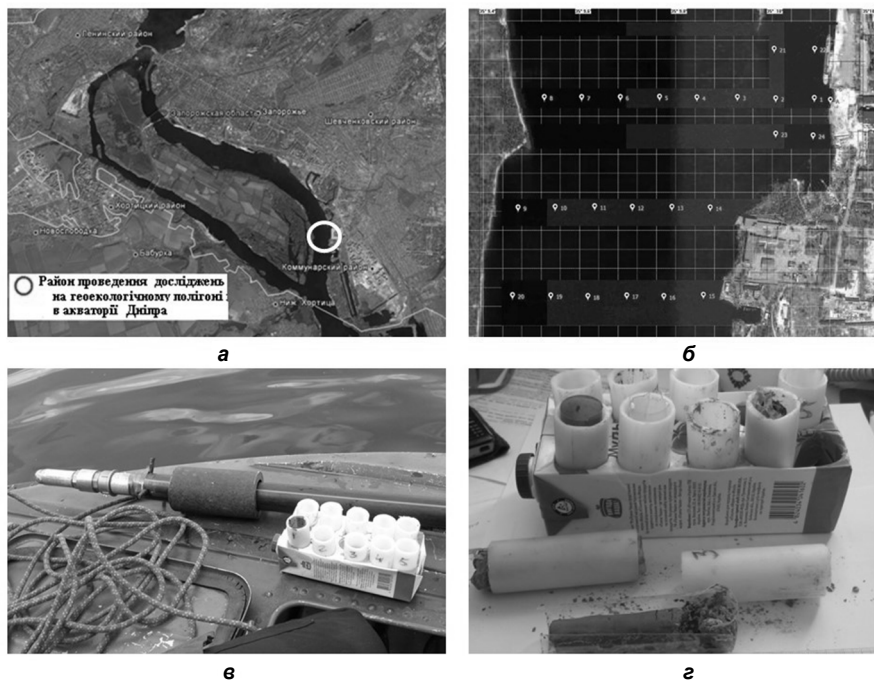


Рис. 3. Експериментальний полігон

а – район проведення дистанційних геофізичних та контактних геохімічних досліджень в акваторії Дніпра в межах міста Запоріжжя;
 б – дослідницький полігон у межах акваторії з помітками точок пробовідбору верхнього шару донних відкладів;
 в – ґрунтова прямоточна трубка та обойма вкладишів для відбору колонок ґрунту; г – процес відокремлення зразка поверхневого шару донних відкладів (0–1 см) з колонки, зафіксованої вкладишем із ґрунтової трубки

Протягом періоду досліджень було проведено декілька контактних ґрунтових зйомок, усереднено дані щодо вмісту заліза в певних типах донних відкладів та визначено кореляційні зв'язки між геохімічними властивостями та гранулометричним складом поверхневого шару річкових осадків.

Методичне обґрунтування застосування гідроакустичних методів. Геофізична складова. На сьогодні розвиток дистанційних безконтактних методів набув широкого застосування майже в усіх сферах людської діяльності – від засобів медичної діагностики до досліджень далеких космічних об'єктів. Історія застосування дистанційних методів у вивченні земних надр сягає понад 100 років, починаючи від першого використання геофізичних систем під час польових досліджень для визначення підземних геологічних структур, зокрема природних пасток для нафти і газу. Нині створюються нові методики та технологічні рішення, на базі яких вирішуються складні завдання досліджень, збільшується роздільна здатність,

дистанція, площа спостережень, комплексність застосування геофізичних методів (Гончар та Федосєєнков, 2017).

Одним із найефективніших засобів дистанційного дослідження геоморфології дна акваторій та визначення літологічних типів поверхневих шарів донних відкладів є системи високочастотної гідролокації (Гончар та Федосєєнков, 2016). У Державній установі "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" було створено автоматизований модульно-блочний інформаційно-вимірювальний геоакустичний комплекс (рис. 4), який із 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 профілографа 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 – щодо геоакустичних властивостей осадків. Шляхом обробки відбитих гідроакустичних сигналів визначаються такі геоакустичні параметри донних відкладів, як густина, швидкість поширення пружних коливань (швидкість звуку), коефіцієнти відбиття, поглинання акустичних сигналів у відкладах, донна реверберація.

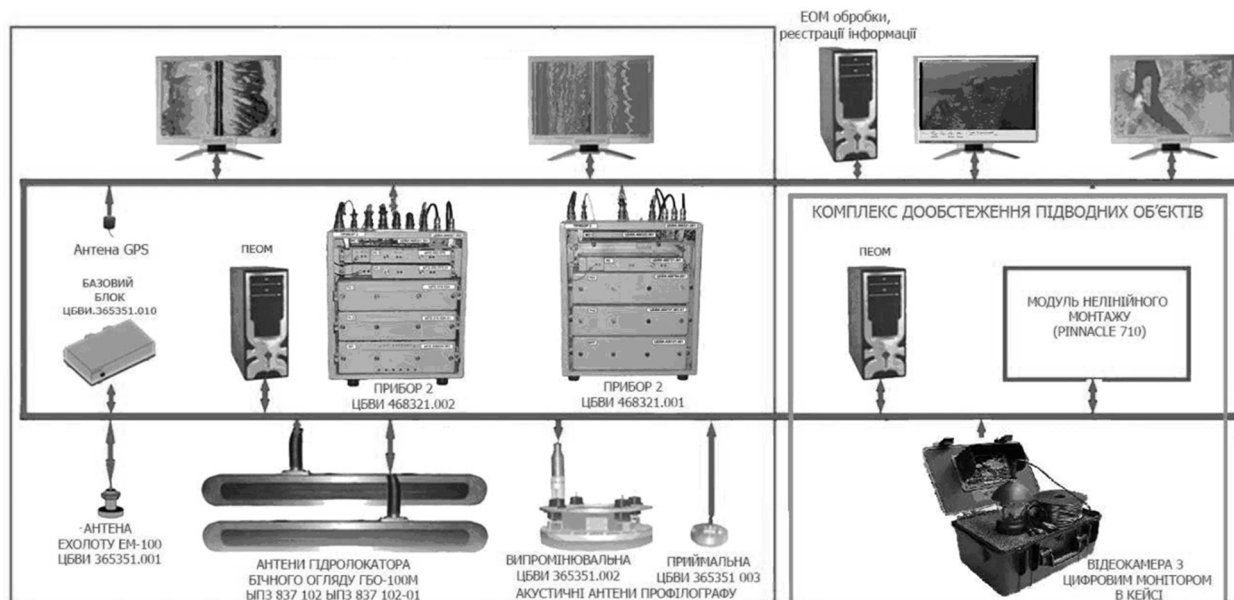


Рис. 4. Структура та компоненти геоакустичного автоматизованого модульно-блокового інформаційно-вимірювального комплексу

Протягом періоду досліджень було побудовано спектри відбитих сигналів та створено еталонну таблицю кореляційних залежностей геоакустичних параметрів донних відкладів за характеристикою спектра, що дало змогу вирішувати зворотні задачі – визначати літологічні типи донних відкладів за відбитим сигналом.

Розроблена геоакустична система забезпечила оптимальне виконання комплексного обстеження полігону, у процесі якого проводиться одночасно дистанційна зйомка дна та відбір проб донних відкладів. За даними проведеного профілювання дистанційним методом було визначено геоакустичні параметри поверхневого шару осадків обраної території та класифіковано неоднорідні шари з відсотковими показниками поєднання декількох літологічних класів. Водночас, з метою запобігання можливим похибкам, пов'язаним із сезонними змінами в процесах осадконакопичення (Гончар и др., 2012), дослідження акустичних властивостей поверхневих донних відкладів проводилися в теплий і холодний періоди року. Це дало змогу визначити, що щільність верхнього шару донних відкладів улітку становила 1440–1890 кг/м³ зі стандартним відхиленням щільності від середніх значень 91 кг/м³ та коефіцієнтом варіації 4,97 %, а восени, відповідно, 1390–1730 кг/м³ зі стандартним відхиленням 88 кг/м³ та коефіцієнтом варіації 5,04 %. Завдяки дослідженню простежено незначну зміну геоакустичних параметрів верхнього шару донних відкладів обстеженого полігону в різні сезони за рахунок зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів.

Результати досліджень. Використання гідроакустичного профілографа дало змогу отримати профілі дна обстеженого полігону з високою розрізняльністю здатністю у вертикальній проєкції. Водночас параметри апаратури визначили якісне зондування чохла осадкового шару до корінних порід, представлених

гранітами Українського щита, а обробка отриманих профілограм за допомогою розроблених алгоритмів та програмного забезпечення – отримання даних щодо щільності, потужності і літологічних розрізів шарів донних осадів обстеженого полігону (рис. 5). Під час виділення типів осадків було використано класифікацію П.Л. Безрукова і А.П. Лісіцина (Безруков і Лісицын, 1960), за якою як основні показники гранулометричного складу прийняті вміст переважної фракції і середній діаметр частинок. Гранулометричний і хімічний аналізи проб донних відкладів, відібраних малою ґрунтовою трубкою, забезпечили контроль дистанційних методів і доповнення моделей, що створювалися на основі дистанційних даних.

Практичні результати досліджень такі: осадконакопичення в межах полігону контролюється гідрологічними і геолого-геоморфологічними факторами – на ділянках з більш вирівняним рельєфом, до яких належить верхня за течією частина полігону з глибиною 8–10 м, поширені одноманітні за розмірністю осадки. До цих ділянок приурочені добре сортовані кварцові піски, що містять зазвичай 90–95 % частинок розмірністю 1–0,1 мм з незначними домішками дрібно-алевритових частинок (0,05–0,01 мм). Водночас вміст заліза у верхньому шарі таких ділянок не перевищує 5 %, незначно коливаючись у межах цього значення.

Для інших частин полігону характерний більш складний рельєф дна, що позначається і на розподілі осадкового матеріалу. У нижній частині ділянки спостерігаються виходи корінних порід, перекритих малопотужним (до 5 см) шаром алювіальних відкладів, проте аналіз розподілу гранулометричних фракцій осадкового матеріалу на дні дає досить повне уявлення про локалізацію та мілкість верхнього шару донних відкладів у межах полігону (рис. 6).

Загальний характер розподілу матеріалу псамітової розмірності проявляється досить чітко – його максимальні концентрації пов'язані безпосередньо з ділянками розмиву берега о. Хортиця, де глибина води не

перевищує 1–3 м. Достатньо якісна сортованість піщаних відкладів також визначає відсоток вмісту оксиду заліза, що становить 4,5–6 %.

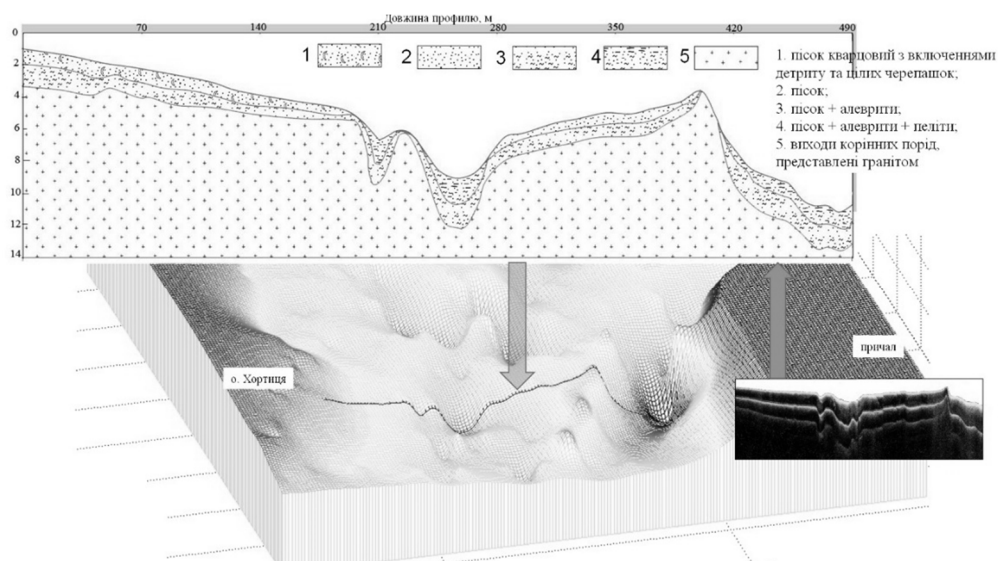


Рис. 5. Стратифікація донних відкладів за даними обробки профілограм

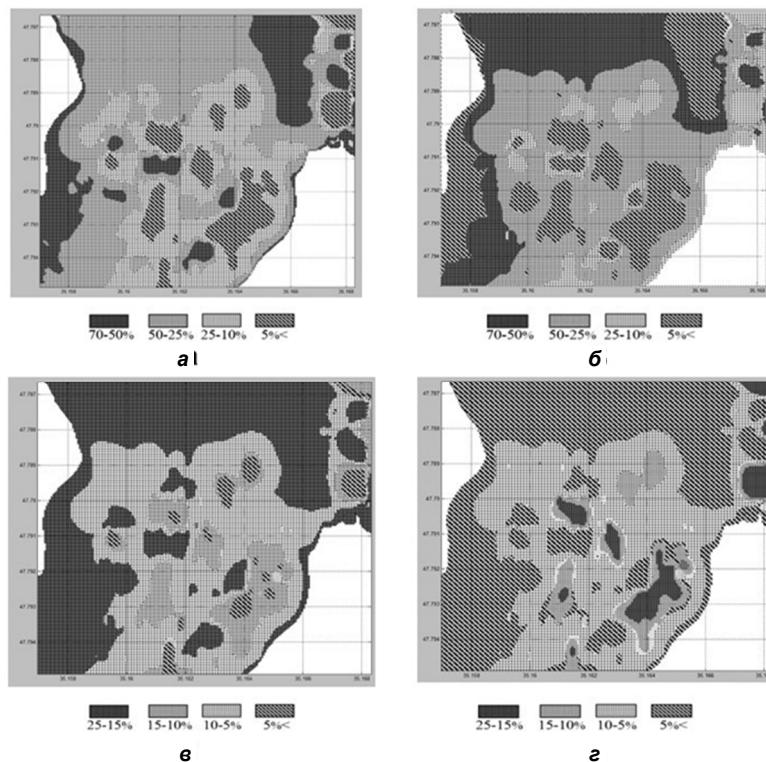


Рис. 6. Схеми поширення гранулометричних фракцій поверхневих донних осадків у межах досліджуваного полігону р. Дніпро в межах м. Запоріжжя:

а – крупно-середньопіщаний матеріал (1,0–0,5 мм); б – дрібно-піщаний матеріал (0,25–0,1 мм); в – матеріал алевритової розмірності (0,1–0,01 мм); з – матеріал пелітової розмірності (менше 0,01 мм)

У разі віддалення від цих ділянок і зі збільшенням глибини кількість матеріалу порівняно швидко зменшується. Розподіл дрібно-піщаного матеріалу характерний для зон, де рух водних мас найактивніше впливає на винесення більш дрібних частинок, але недостатній для сортування піщаних фракцій. Дрібно-піщаний матеріал характерний також для підводного берегового схилу. У бік берегової лінії кількість зерен розмірністю 0,25–0,1 мм поступово зменшується. Тут діапазон вмісту заліза у верхньому шарі

відкладів значно збільшується, але середні показники свідчать, що його відсоток становить 8–9 пунктів у загальному розподілі макрокомпонентів.

Високий вміст алевритового матеріалу в межах полігону характерний для глибоководних частин водойми, а також для мілководних заток, захищених від сильного хвилювання. Загалом алевритовий матеріал представлений досить широко, проте його вміст зрідка перевищує 10 %, зводячи гранулометричну фракцію 0,1–0,01 мм до

ролі домішки. Як і для дрібнопіщаних відкладів, вміст заліза в осадах, збагачених алевритовою складовою, коливаються в широкому діапазоні, але середні показники також сягають до 9–10 % загального вмісту.

Пелітовий матеріал трапляється в поверхневих осадах полігону зазвичай у невеликих кількостях, вміст його понад 20 % властивий невеликим плямам, приуроченим до ділянок з пасивною гідродинамікою. Водночас геохімічні дослідження відібраних проб з максимальними концентраціями гранулометричної фракції, меншої за 0,001 мм, свідчать про максимальні концентрації заліза, що можуть перевищувати 13 % від речовинного складу проб.

Виявлений тісний зв'язок між гранулометричним складом, геоакустичними параметрами та питомою щільністю дає змогу використовувати коефіцієнти відбиття як індикатор змін літологічного складу донних осадків під час дистанційних досліджень. Крім того, закономірності розподілу загальної кількості заліза в різних типах донних відкладів і достатньо чітка прив'язка їх до пелітової складової визначають можливість прогнозування вмісту металу для різних літологічних класів поверхневого шару донних осадків (Гончар і др., 2012).

Фактично результати кореляційного аналізу для досліджуваної території виявили відносно стійкий зв'язок між дистанційно визначеним ділянками з максимальним вмістом пелітової, а також піщаної складової поверхневих осадків. За обробкою результатів гідроакустичної дистанційної та геохімічної контактної зйомок, що проводилися протягом двох сезонів, показник кореляції між розподілом зон з максимальним вмістом дрібнодисперсної складової поверхневих осадків та підвищеними концентраціями заліза сягають значення 0,68, максимальним вмістом псамітової фракції та мінімальним концентраціями Fe – 0,62 відповідно.

Безумовно, існують певні зауваження та низка невизначеностей щодо застосування таких методик для інших ділянок акваторій, пов'язаних із природними та техногенними особливостями їхнього стану, де розподіл концентрацій металів визначається іншими факторами впливу. Зокрема, у межах Запоріжжя окремі ділянки дна Дніпра, представлені відкладами піщаної розмірності, збагачені залізом за рахунок прямого привнесення продуктів викидів різних циклів металургійного виробництва алевритової та псамітової розмірності. Але розподіл таких зон обмежений фізичними закономірностями прямого атмосферного чи водного надходження частинок руди або залізовмісних сферул піщаної розмірності та їх акумуляції в межах таких ореолів виносу.

Іншим суттєвим обмеженням є те, що визначення концентрацій заліза за типом поверхневого шару донних відкладів можливе лише за припущення, що територія досліджень є фоновною, і фактори розподілу металу для всіх її ділянок визначаються суто природними закономірностями формування седиментаційних потоків.

Проте, незважаючи на зазначені обмеження, проведені дослідження дали змогу попередньо обґрунтувати можливість залучення до польових робіт геоecологічного спрямування геофізичну складову. У разі великих обсягів картування розподілу металовмісної складової поверхневого шару донних відкладів такі дистанційні визначення можуть значно скоротити час досліджень та їхню собівартість. Водночас обов'язковою умовою буде збереження оптимального мінімуму контактних контрольних досліджень за визначеними геофізичними методами картами розподілу поверхневих типів донних осадків.

Варто відзначити, що завдяки проведеним дослідженням у межах експериментального полігону виявлено таку закономірність: розподіл більшості важких металів у

складі річкової зависі та поверхневому шарі донних відкладів визначає значну величину коефіцієнта кореляції для певних їх груп та заліза (зокрема, для групи мідь-свинець-залізо він перевищує величину 0,8). Це відкриває потенційну можливість дистанційного визначення вмісту низки важких металів у поверхневих осадах.

Висновки

Проведені дослідження засвідчили, що комплексний підхід на основі аналізу дистанційних і контактних методів відкриває нові можливості ефективного та маловитратного моніторингу стану донних відкладів, дає змогу найбільш повно використовувати всю наявну інформацію геохімічного та геофізичного характеру. Завдяки використанню технологій гідроакустичних досліджень можна отримувати відомості про стан досліджуваного середовища на великих площах, значно скоротити час на проведення робіт, зменшити їх собівартість та підвищити ефективність.

Основні закономірності поширення літологічних типів донних відкладів добре відомі – ділянки, де відбувається активне накопичення пелітового матеріалу, відповідають районам мінімальної гідродинамічної активності, а також у пониженнях рельєфу, навіть у межах фарватеру – вони працюють як пастки, створюючи умови для відкладання дрібнодисперсної завислої речовини. Водночас геохімічні дослідження зразків верхнього шару донних відкладів (0,5–1 см), відібраних за визначеною мережею, вказують на стійку тенденцію до збільшення вмісту забруднювачів, зокрема заліза, мангану та деяких важких металів у ряді піщаних відкладів – від замулених та дрібнодисперсних пісків до алеврито-пелітових та пелітових відкладів. Останнє, як було зазначено вище, може бути пов'язане із сорбційною ємністю різних гранулометричних і мінералогічних типів відкладів, що визначають різні типи донних осадків.

Проведені дослідження дали змогу окреслити та попередньо обґрунтувати новий напрям польових робіт геоecологічного спрямування, що поєднує в собі геофізичні та геохімічні методи досліджень акваторії Дніпра, контактну та дистанційну зйомку верхнього шару донних відкладів. Водночас сучасність і перспективність таких досліджень визначається можливістю проведення дистанційної оцінки екологічних характеристик верхнього шару донних відкладів з використанням геофізичного комплексу, основними елементами якого є гідролокатор бокового огляду, ехолот та система глобального позиціонування. Визначення фізико-механічних та акустичних властивостей дна акваторій за методикою автоматизованої дистанційної профільної ґрунтової зйомки морського дна за відбитим сигналом гідроакустичного профілографа з оцінкою ймовірності класифікації дозволяє одержувати інформацію щодо літологічної складової поверхневих донних відкладів. У той самий час прив'язка розподілу концентрацій забруднювачів до реперних літологічних класів донних осадків відкриває можливість проводити геохімічну зйомку екологічного стану поверхневих донних відкладів за допомогою дистанційних гідроакустичних методів. При цьому головною потенційною вигодою є суттєве зменшення витрат на виконання робіт, а також підвищення їх продуктивності.

Список використаних джерел

- Безруков, П.Л., Лисицын, А.П. (1960). Классификация осадков современных морских водоемов. *Труды Института океанологии*, 32, 3–14.
- Гончар, А.И., Голод, О.С., Федосеев, С.Г., Шльчак, Л.И., Шундель, А.И. (2012). Вероятностная оценка послойного определения литологических свойств донных отложений в профилограммах. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*, 265–268.
- Гончар, А.И., Гончар, Ю.А., Голод, О.С., Федосеев, С.Г. (2014). Методология дистанционной профильной ґрунтової съемки для

определения типов донных отложений. *Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики*, 483–486.

Гончар, А.І., Федосеєнков, С.Г. (2016). Гідрогеоакустичний комплекс як інструмент вивчення взаємозв'язку процесів у водній товщі та донних відкладеннях. *Геодинаміка*, 21(2), 101–108. <https://doi.org/10.23939/jgd2016.02.101>.

Гончар, А.І., Федосеєнков, С.Г. (2017). Сучасні комп'ютерні методи обробки і візуалізації гідроакустичної інформації. *Геоінформатика*, 61(1), 19–25.

Смельянов, В.О., Наседкін, Є.І., Федосеєнков, С.Г. (2019). Щодо перспектив досліджень екологічного стану геолого-екологічних систем донних відкладів відкритих водойм геофізичними методами. *Конференція "Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні"*, 14–16 травня 2019, Київ, Україна.

Митропольский, А.Ю., Безбородов, А.А., Овсяный, Е.И. (1982). Геохимия Черного моря. *Научная думка*.

Митропольський, О.Ю., Наседкін, Є.І., Іванова, Г.М., Кураєва, І.В., Войтюк, Ю.Ю., Федосеєнков, С.Г. (2017). Моніторинг стану річкових відкладів у межах індустріальних осередків (на прикладі м. Запоріжжя). *Мінералогічний журнал*, 39(3), 75–84. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.03.075>.

Anderson, M., Pacheco, P. (2011). Characterization of bottom sediments in lakes using hydroacoustic methods and comparison with laboratory measurements. *Water Research*, 45(15), 4399–4408. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.029>.

Mytropolskyi, O.Yu., Nasiedkin, Ye.I., Fedoseienkov, S.H., Ivanova, H.M., Dovbysh, S.M. (2016). Restoration and adaptation of the sedimentation process monitoring project at the "Zaporizhzhia" landfill. *Geology and mineral resources of the world ocean*, 3, 89–94.

Ostrovsky, I., Tegowski, J. (2010). Hydroacoustic analysis of spatial and temporal variability of bottom sediment characteristics in Lake Kinneret in relation to water level fluctuation. *Geo-Marine Letters*, 30, 261–269. <https://doi.org/10.1007/s00367-009-0180-4>.

Papenmeier, S., Darr, A., Feldens, P., Michaelis, R. (2020). Hydroacoustic Mapping of Geogenic Hard Substrates: Challenges and Review of German Approaches. *Geosciences*, 100. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030100>.

References

Anderson, M., Pacheco, P. (2011). Characterization of bottom sediments in lakes using hydroacoustic methods and comparison with laboratory measurements. *Water Research*, 45(15), 4399–4408. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.029>.

Bezrukov, P.L., Lisitsyn, A.P. (1960). Classification of sediments of modern marine reservoirs. *Proceedings of the Institute of Oceanology*, 32, 3–14 [in Russian].

Honchar, A.I., Fedoseienkov, S.H. (2016). Geo- and hydro-acoustic complex as a study of interconnection between processes in waters and bottom sediments. *Geodynamics*, 21(2), 101–108. <https://doi.org/10.23939/jgd2016.02.101> [in Ukrainian].

Honchar, A.I., Fedoseienkov, S.H. (2017). Methods of modern computer processing and visualization of sonar information. *Geoinformatics*, 61(1), 19–25 [in Ukrainian].

Honchar, A.I., Holod, O.S., Fedoseienkov, S.H., Shlychek, L.I., Shundel, A.I. (2012). Probabilistic assessment of layer-by-layer determination of lithological properties of bottom sediments in profilograms. *Applied technologies of hydroacoustics and hydrophysics*, 265–268 [in Russian].

Honchar, A.I., Honchar, Yu.A., Holod, O.S., Fedoseienkov, S.H. (2014). Methodology of remote profile ground survey for determination of bottom sediments types. *Applied technologies of hydroacoustics and hydrophysics*, 483–486 [in Russian].

Mytropolskyi, A.Yu., Bezborodov, A.A., Ovsyanyi, Ye.I. (1982). The Black Sea Geochemistry. *Naukova Dumka* [in Russian].

Mytropolskyi, O.Yu., Nasiedkin, Ye.I., Fedoseienkov, S.H., Ivanova, H.M., Dovbysh, S.M. (2016). Restoration and adaptation of the sedimentation process monitoring project at the "Zaporizhzhia" landfill. *Geology and mineral resources of the world ocean*, 3, 89–94.

Mytropolskyi, O.Yu., Nasiedkin Ye.I., Ivanova H.M., Kuraieva, I.V., Voitiuk, Yu.Yu., Fedoseienkov, S.H. (2017). Monitoring of the state of river sediments within industrial centres (on the example of Zaporizhzhia city). *Mineralogical Journal*, 39(3), 75–84. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.03.075> [in Ukrainian].

Ostrovsky, I., Tegowski, J. (2010). Hydroacoustic analysis of spatial and temporal variability of bottom sediment characteristics in Lake Kinneret in relation to water level fluctuation. *Geo-Marine Letters*, 30, 261–269. <https://doi.org/10.1007/s00367-009-0180-4>.

Papenmeier, S., Darr, A., Feldens, P., Michaelis, R. (2020). Hydroacoustic Mapping of Geogenic Hard Substrates: Challenges and Review of German Approaches. *Geosciences*, 100. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030100>.

Yemelianov, V.O., Nasiedkin Ye.I., Fedoseienkov, S.H. (2019). Regarding the prospects of researching the ecological state of geological and ecological systems of bottom sediments of open water bodies by geophysical methods. *Conference "Achievements and Development of the Geological Sciences in Ukraine"*, 2019 May 14–16, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].

Отримано редакцію журналу / Received: 14.02.23

Прорецензовано / Revised: 13.06.23

Схвалено до друку / Accepted: 31.08.23

Volodymyr YEMELIANOV¹, DSc (Geol. & Mineral.), Prof., Corresponding member of NAS of Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-8972-0754

e-mail: eva@nas.gov.ua

Yevhen NASIEDKIN², PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0003-2633-9291

e-mail: nasedevg@ukr.net;

Serhii FEDOSEIENKOV³, PhD (Geol.)

e-mail: fedoseienkov@nas.gov.ua

Tetiana KOSHLIAKOVA⁴, PhD (Geol.), Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0001-8551-3531

e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com

¹State Scientific Institution "Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

²Institute of geological sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

⁴M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

APPLICATION OF HYDROACOUSTIC METHODS IN GEOCHEMICAL RESEARCH OF POLLUTANTS DISTRIBUTION IN THE SURFACE LAYER OF BOTTOM SEDIMENTS

The article presents the results obtained during the long-term field studies of the characteristics of the sedimentary matter metal-containing component distribution within the territories of industrial cities, in particular, Zaporizhzhia city. Based on field contact and remote studies, one of the aspects of the problem was studied, namely the peculiarities of iron concentrations distribution in the surface layer of bottom sediments of the Dnipro river. Key practical approaches to the application of a new complex method of field observations are outlined, which combine the possibilities of express planar surveying with the determination of geochemical characteristics of river sediments. The methodology of combining contact geochemical studies of iron distribution in surface bottom sediments with the performance of a side view of a remote route survey using sonar is substantiated. Herewith, the possibility of determining the lithological differences of the surface layer of bottom sediments under the conditions of determining the average concentrations of iron for the main material types of sediments is assumed. The results of two-year research based on the data of fieldwork revealed promising perspectives for the development of such a complex of observations in the case of systematization of the direction, additional testing of the technological component in various test areas of the water area, as well as the development of an appropriate methodological foundation.

Keywords: environmental geology, bottom sediments, remote route survey, hydroacoustic methods, contact geochemical studies.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.