

УДК 534.2; 551.46; 681.883

Гідроакустичні технології екологічного моніторингу акваторій

С.І. Неверова, Л.В. Нестеренко

Неверова Світлана Іванівна – науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Нестеренко Любов Володимирівна – молодший науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Анотація. Комплексна обробка даних при екологічному моніторингу з використанням панорамних гідроакустичних засобів дозволяє отримати дистанційну детальну інформацію щодо особливостей рельєфу, динаміки зміни донних відкладів, типів ґрунтів та об'єктів, які лежать на дні та несуть загрозу виникнення навігаційної та екологічної небезпеки. Результати досліджень, отримані у вигляді гідролокаційних і фізико-хімічних даних, можуть бути використані при формуванні екологічних карт-планшетів і комплексної просторової моделі регіональної екологічної обстановки.

Ключові слова: екологічний моніторинг, гідроакустичні засоби, суднова мобільна науково-дослідна лабораторія, донні відкладення.

Вступ. Більшість акваторій України перебування під інтенсивним і широким спектром антропогенного та техногенного навантаження. Антропогенні дії (видобуток корисних копалин, скидання стічних вод, будівництво морських споруд і т.д.) в придонному шарі акваторій так або інакше визначають морфологію поверхні дна або характер її зміни в часі.

Практична значущість робіт з дослідження дна акваторій, обстеження гідротехнічних споруд, трубопроводів й інших підводних об'єктів, особливо на морському шельфі та у внутрішніх водоймах, постійно зростає у зв'язку з необхідністю попередження надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах і для моніторингу екологічної обстановки.

Дистанційні системи моніторингу дозволяють за короткий інтервал часу обстежити великі площі й в критичних ситуаціях більш безпечні, легко узгоджуються з телекомунікаційними системами і системами обробки інформації. Завдяки цьому можуть бути створені багатофункціональні автоматизовані системи та комплекси, які об'єднують датчики, підсистеми збору і первинної обробки моніторингової інформації.

Ця стаття є продовженням циклу виконаних досліджень [1–6] з метою удосконалення існуючих та розробки нових методів гідроакустичних технологій екологічного моніторингу окремих акваторій.

Останні доробки в галузі гідроакустичних методів і засобів екологічного моніторингу інших країн висвітлено в роботах [1–4, 6, 10, 15, 19–21].

Багато уваги приділяється геогідроекологічним дослідженням із застосуванням розвинутої останніми роками супутникової інформації [12, 16].

Метою статті є опис розробки методів і методології гідроакустичного способу екологічного моніторингу акваторій.

Завдання моніторингу акваторій, що вимагають швидкого виявлення та точної локалізації екологічно небезпечних об'єктів, можна класифікувати як оперативні. Отримані моніторингові дані можна використати для попередження екологічних катастроф або мінімізації їх наслідків для акваторії в цілому і, зокрема, у прибережній зоні.

До актуальних завдань дослідження акваторій слід віднести картування і кількісну оцінку форм рельєфу морського (річкового) дна, шельфу і внутрішніх водойм, а також обстеження і моніторинг стану підводних об'єктів як потенційних джерел забруднення акваторій і створення загрози життю населення.

Методика. Підготовка вихідних даних для планування та реалізації еколого-охоронних заходів ґрунтується на даних екологічного моніторингу та може ефективно здійснюватися за допомогою комплексування даних, отриманих від гідроакустичних засобів і традиційних методів відбору проб води і донних відкладень.

У Державній установі "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України" (далі – Гідрофізичний центр) розроблено методику екологічного моніторингу, яка дозволяє здійснювати моніторинг донних відкладень у відкритих водоймах, а сучасні інформаційні технології надають великі можливості для моніторингу морського середовища. Нині можлива побудова комплексних багатопозиційних і багатодіапазонних систем моніторингу, структурованих по виду носіїв і використовуваних фізичних полів.

Реалізація комплексності та оперативності океанологічних досліджень може бути досягнута інтеграцією на основі локальної комп'ютерної мережі усіх вимірювальних засобів та обладнання бортового науково-технічного комплексу в єдиний багатоцільовий автоматизований модульно-блоковий інформаційно-вимірювальний комплекс. Складовими частинами такого комплексу можуть бути: гідроакустичний, гідрологічний, гідрохімічний, геологічний, сейсмологічний, метеорологічний та інші модулі. Кожен з цих модулів характеризується відповідним інформаційним потоком [7].

Результати. Використання панорамних гідроакустичних систем дозволяє обґрунтовано і цілеспрямовано визначати найбільш інформативні місця і горизонти для відбору репрезентативного натурального матеріалу, уточнювати схеми промірних галсів, особливо в разі важкодоступних для безпосереднього спостереження ділянок акваторій, а також істотно підвищити достовірність і продуктивність отримання екологічної інформації за допомогою обробки результатів аналізу кореляційної залежності між типом ґрунтів, характером нерівностей на поверхні дна та їхнім фізико-хімічним складом.

Панорамна зйомка дна по площі дає можливість одночасно здійснити реєстрацію рельєфу дна, виявити на дні затонулі об'єкти, в т.ч. малорозмірні і замулені, і виконати стратифікацію водної товщі і донних відкладень, що дає інформацію про їхню структуру, а також з певною вірогідністю про типи ґрунту і відкладень (геолокаційний портрет дна).

За результатами гідроакустичної зйомки дна визначають характерні точки, в яких використовують традиційні методи і засоби взяття проб води та ґрунту для подальшого фізико-хімічного аналізу.

Гідроакустичне профілювання верхніх шарів донних відкладів проводять з метою виявлення структури неуцілених донних відкладів і подальшої оцінки й прогнозування масштабів їх забруднення.

Стратифікацію верхніх шарів донних відкладів на обстежуваній ділянці акваторії також виконують гідроакустичним комплексом шляхом інструментальної оцінки характеру їх вертикального профілю. Гідроакустики застосовують параметричний профілограф, принцип дії якого заснований на нелінійній взаємодії акустичних хвиль накачування при поширенні в одному напрямку [15]. Параметрична антена має високоефективну направленість на низьких частотах, широкий діапазон випромінюваних частот, малогабаритність.

Фізичну основу гідроакустичного методу складають: явище практично прямолінійного поширення звуку, що дозволяє визначати дальність до об'єкта за часовим запізненням ехосигналу відносно моменту початку зондування; зв'язок енергетичних і спеціальних параметрів відбитих сигналів з фізичною природою об'єктів локації.

У зв'язку з цим досліджувані методом ехолотування характеристики підводних об'єктів і донної поверхні підрозділяють на дві основні групи. До першої групи належать просторові координати об'єктів (елементів дна). Друга група об'єднує фізичні (фізико-механічні) характеристики об'єктів (елементів) лоціювання, які визначаються на основі аналізу оцінок спектрально-енергетичних параметрів ехосигналів.

Щільність розподілу ймовірності оцінки дальності, що відноситься до першої групи характеристик, може бути записана:

$$W(\hat{H}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_H} \exp\left(-\frac{(H - \cos\theta c_0 \Delta t / 2)^2}{2\sigma_H^2}\right),$$

де σ_H – середня квадратична похибка визначення глибини;

σ_H^2 – дисперсія оцінюваної глибини;

θ – кут нахилу акустичного променя відносно вертикалі;

c_0 – швидкість звуку на горизонті розташування акустичних антен.

Інтенсивність граничної реверберації, що визначає другу групу параметрів, описується виразом [22]:

$$I_{ep.ves}(\alpha) = \frac{m(\alpha_0)W_a\gamma}{16\pi^2 \operatorname{tg}\alpha_0} R^4(\alpha) \int_{-\pi}^{\pi} R^4(\varphi) d\varphi \int_r^{r+c\tau/2} \frac{10^{-0,2\beta r}}{r^3} dr,$$

де α_0 – кут падіння акустичного променя на поверхню;

$m(\alpha_0)$ – коефіцієнт зворотного розсіяння;

W_a – випромінювана акустична потужність;

- γ – коефіцієнт концентрації антени;
- β – коефіцієнт загасання звуку в середовищі;
- τ – тривалість зондуючого імпульсу;
- r – похила дальність;
- $a = 90^\circ - a_0 - \theta_a$.

Обстеження ділянки будь-якої акваторії фахівці Гідрофізичного центру виконують гідроакустичним комплексом власної розробки шляхом інструментальної оцінки характеру рельєфу дна в міжгалсових проміжках. Гідроакустичний комплекс включає: гідролокатори бокового огляду для роботи при глибинах під гідроакустичними антенами до 100 м і 500 м, ехолот та гідроакустичний профілограф, модуль сполучення цих засобів з ПК та *GPS* для забезпечення збору, обробки та зберігання інформації, розроблене необхідне програмне забезпечення.

В [17–18] детально описано судновий комплекс модульних лабораторій науково-дослідницького судна "Гідробіолог" НАН України, що складається з семи лабораторій, у т.ч. лабораторії гідроакустики (рис. 1), лабораторії морської геології, лабораторії річкової геології.



Рис. 1. Функціональна схема суднової модульної науково-дослідної лабораторії гідроакустики

Основні технічні характеристики гідроакустичних засобів суднової модульної науково-дослідної лабораторії гідроакустики наведено у табл.

Комплексний принцип створення суднової модульної науково-дослідної лабораторії гідроакустики з технічною, програмною, інформаційною та організаційною сумісністю всіх підсистем між собою дозволяє в експедиційних дослідженнях забезпечити автоматизацію процесу збору, первинної, попередньої та остаточної обробки інформації при вивченні рельєфу дна і донних відкладів.

Для налагодженої взаємодії та оперативного обміну даними, а також збору, накопичення

і наступної передачі до Банку океанографічних даних НАН України суднова лабораторія гідроакустики об'єднана з іншими лабораторіями в локальну суднову комп'ютерну мережу [17].

Таблиця – Основні технічні характеристики гідроакустичних засобів суднової модульної науково-дослідної лабораторії гідроакустики

	ГБО-100М	ГБО-50	Ехолот ЕМ-100	Профілограф
Робоча частота, кГц	96; 104	470	230	3; 5; 10
Діапазони дальності (на один борт), м	100; 200; 400; 800	50; 100		100
Діапазон глибин, м	до 100	до 100	до 100	
Розрізнявальна здатність, м	0,25–2,0	1,0–0,05	0,025–0,1	0,15
Тривалість зондувального імпульсу, мс	0,1; 0,5; 1,0;	0,5; 1,0; 2,0	0,1	0,1; 0,3; 0,5; 1
Максимальна електрична потужність, що підводиться до антени, Вт	до 1000	до 400	5	до 150

Під час виконання семи комплексних науково-дослідних експедицій здійснено тестування функцій цієї лабораторії, виконано апробацію оптимальних методик проведення спостережень та науково-технічне оновлення методів й програмно-технологічних засобів збору, аналізу, передачі і зберігання гідрофізичних даних, отримано такі результати:

- проведено площинну гідроакустичну зйомку дна та водної товщі загальною площею більше ніж 400 км², що дало змогу виявити та дослідити затоплені об'єкти природного та техногенного походження. Зареєстровано понад 100 характерних об'єктів штучного та природного походження;

- визначено географічні координати та розміри виявлених об'єктів, побудовано 3D-схеми інтенсивностей відбитого сигналу (рис. 2–3);

- отримано інформацію про стан донних відкладів обстеженого полігону, при цьому зареєстровано структури верхньої частини осадової товщі потужністю 2–5 м залежно від щільності (рис. 4–5);

- 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;

- побудовано математичні моделі (полігони геоакустичних даних);

- отримані геофізичні параметри упорядковано та передано в судновий фрагмент Банку океанографічних даних.

На річці Дніпро, внаслідок динамічного стану гідросистеми, а також завдяки активному впливу техногенних чинників, розріз донних відкладень характеризується великою мінливістю й розмивом частини шарів. Освітлені (акустично прозорі) слабостратифіковані товщі вказували на їх петрофізичну однорідність (гомогенність), що було також підтверджено літологічним аналізом проб донних відкладів.

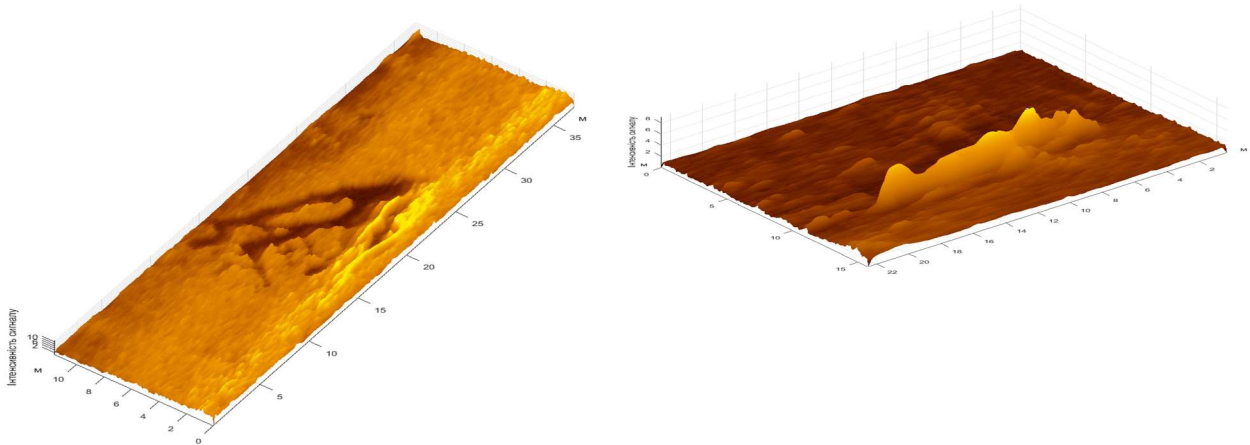


Рис. 2. 3D-інтенсивності відбитих сигналів від виявлених протяжних об'єктів на дні довжиною близько 10–11 м (експедиція "Дунай–2019")

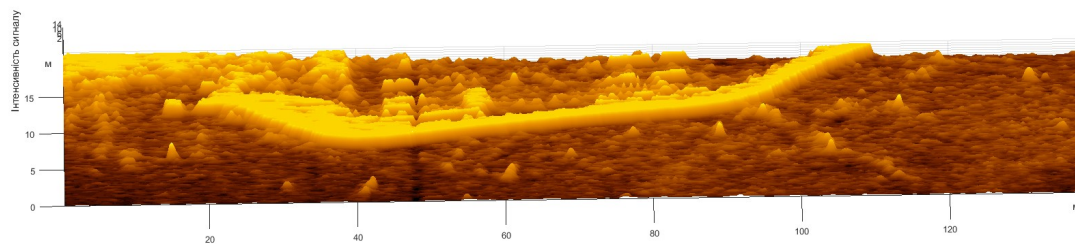


Рис. 3. 3D-інтенсивності відбитого сигналу від виявленого об'єкта правильної форми (експедиція "Чорне море–2019")

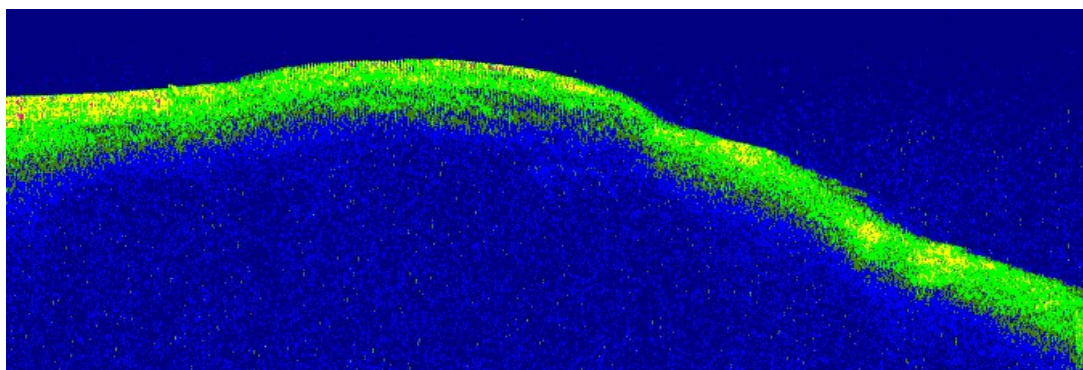


Рис. 4. Фрагмент профілограми – акустично прозорі слабостратифіковані товщі (експедиція "Дніпро–2018")

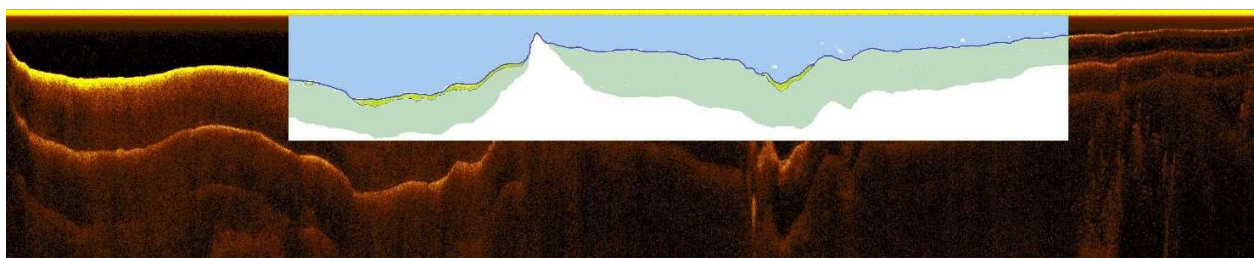


Рис. 5. Обробка інформації профілограм щодо виділення областей донних відкладів однорідних за фізико-механічними характеристиками (експедиція "Дунай–2018")

Дані щодо середньої густини та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів, отримані в результаті проведених натурних досліджень полігону в межах акваторії р. Дніпро, свідчать про замулення річища Дніпра на дослідженій ділянці. Виходячи з основних закономірностей осадконакопичення, ці зони найбільш сприятливі для накопичення осадового матеріалу дрібних та тонких класів.

Через накопичення і зростання концентрації забруднюючих речовин в донних відкладах існує постійна небезпека порушення цілісності морського ґрунту з каламученням відкладів, насичених токсичними речовинами, що може призвести до погіршення екологічного стану, отруєння біоти, зростання захворюваності і смертності населення.

Розроблена гідроакустична методика екологічного моніторингу і комплекс модульних суднових океанографічних лабораторій дозволяють здійснювати моніторинг дна у відкритих водоймах і фізико-хімічний аналіз води і донних відкладень з прив'язкою до координат, надає достовірну та оперативну інформацію про поточний і прогнозований рівень забруднення річок і морів з метою подальшого вжиття необхідних заходів і планування заходів з боротьби із забрудненням акваторії.

Лабораторія гідроакустики дозволила провести дослідження окремих районів річок Дніпро, Дунай і Прип'ять, окремих ділянок Чорного моря і отримати якісно нові дані:

- детального дослідження рельєфу дна, стану і характерних особливостей донних відкладень, підводних технічних споруд;
- стратифікації осадових шарів і водного середовища, дистанційного пошарового визначення типів ґрунтів;
- про виявлення затонулих і затоплених об'єктів штучного походження, які можуть бути локальними джерелами забруднення;
- відповідно до сучасних вимог і можливостей геоінформаційних технологій створено електронні карти, що відображають специфіку русел при побудові цифрових моделей рельєфу.

Практична значимість. Комплексне дослідження структури верхніх шарів донних відкладень і рельєфу донної поверхні дозволяє в значній мірі усунути неоднозначність в інтерпретації акустичного зображення морського дна, що досягається співставленням результатів експедиційних вимірювань, отриманих від гідроакустичних засобів, із даними лабораторій геології. Результати досліджень, отримані у вигляді гідролокаційних і фізико-хімічних даних можуть бути використані при формуванні екологічних карт-планшетів і комплексної просторової моделі регіонального екологічного стану акваторій.

Висновки. Мобільний гідроакустичний комплекс модульних суднових науково-дослідних лабораторій має велику практичну значимість, є вискоєфективним автоматизованим інформаційно-вимірювальним засобом екологічного моніторингу водного середовища.

Отримані дані суднової модульної науково-дослідної лабораторії гідроакустики створеної з урахуванням сучасних технологій і дають інформацію про проведені дослідження як фахівцям в галузі гідроакустики, так і широкій громадськості. З урахуванням помітного зростання вартості суднового часу, основним напрямом і пріоритетом розвитку морських

технологій в сучасних умовах стала комплексність та оперативність виконання досліджень, на зразок таких, які виконуються в лабораторії гідроакустики.

Комплексний підхід на основі дистанційних гідроакустичних методів відкриває нові можливості для ефективного моніторингу стану донних відкладень, дозволяє найбільш повно використовувати всю корисну інформацію, що міститься в звукових полях. Застосування технологій гідроакустичних досліджень дає можливість отримати відомості про стан середовища на великих площах, значно скоротити час проведення моніторингових робіт та підвищити їх ефективність.

Перелік використаних джерел

1. Аббасов И.Б. Современные тенденции мониторинга водной среды в прибрежных акваторий. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. Вып. 1. С. 29–39.
2. Артёмов Ю.Г., Садогурский С.Е., Плугатарь Ю.В., Белич Т.В., Садогурская С.А., Евтушенко Д.Б. О некоторых методических аспектах гидроакустического мониторинга морского макрофитобентоса. *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность*. сб. ст. по матер. междунар. науч.-практ. конф. (Севастополь, 23–26 сентября 2019 г.), 2019. С. 190–193.
3. Блінцов О.В., Сірівчук А.С. Концепція роботизованого моніторингу підводного середовища на основі застосування прив'язних підводних апаратів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 6(3). С. 16–21.
4. Воронин В.А., Пивнев П.П., Тарасов С.П. Широкополосные гидроакустические антенны систем экологического мониторинга водной среды и придонных осадочных пород. *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 39 (4–2). С. 26.
5. Гаврилов А.М., Трехин А.Н. Экологический мониторинг загазованных участков дна водоемов средствами гидроакустики. *Вестник Таганрогского государственного университета*. 2014. Т. 19, Вып. 5. С.1659–1661.
6. Голод О.С., Гончар Ю.А., Донченко С.И., Мартынюк Г.А. Методика измерения отраженного подводным объектом сигнала и определение его эквивалентного радиуса. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2006. № 3. С. 96–102.
7. Гончар А.И., Донченко С.И., Шлычек Л.И., Шундель А.И. Автоматизированный многофункциональный комплекс мониторинга акваторий. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2005. № 13. С. 406–411.
8. Гончар А.И., Донченко С.И., Шлычек Л.И., Шундель А.И. Использование гидроакустических технологий для экологического мониторинга акваторий. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2006. № 14. С. 164–170.
9. Гончар А.И., Шлычек Л.И. Проблемы развития панорамных акустических систем (в обеспечение навигационной и экологической безопасности). *Российское судостроение и судоходство, деятельность портов, освоение океана и шельфа НЕВА–2007*: тезисы докл. девятой междунар. конф. Санкт-Петербург. 2007. С. 116–119.
10. Гончар А.И., Ключан Ю.А., Шлычек Л.И., Донченко С.И. Гидроакустический метод экологического мониторинга акваторий вблизи портов. *Судоходство*. 2002. № 6. С. 21.
11. Гончар А.И., Писанко И.Н., Шлычек Л.И., Донченко С.И. Аспекты использования гидроакустических комплексов для экологического мониторинга акваторий. *Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана* : тр. междунар. науч. конф. (Запорожье, 13 мая 2003 г.). 2003. С. 206–210.
12. Донченко С.І., Нестеренко Л.В., Худоконь В.В., Шундель О.І. Програмні засоби реального часу інформаційно-вимірювального комплексу моніторингу акваторій. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2007. № 4. С. 72–77.
13. Єремєєв В.М., Щипцов О.А., Гордєєв А.Ю., Федосєєнков С.Г., Стефанов Г.С. Судновий комплекс модульних науково-дослідних лабораторій науково-дослідницьких суден "Гідробіолог" та "Анатолій Гончар" НАН України. *Океанографічний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*, 2019. № 1(12). С. 132–155.

14. Жежнич П.І., Осика В.О. Геоінформаційні системи на основі просторово-часових моделей даних. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка" : Інформаційні системи та мережі*. 2010. № 689. С. 149–157.
15. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. М: Радио и связь, 1986. 448 с.
16. Ожиганова М.И., Гончаренко Д.Г. Гидроакустический контроль экологического состояния сточных вод. *Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості*. 2013. Вып. 3. С. 216–221.
17. Розман Б.Я., Елкин А.В. Гибридный радиоуправляемый комплекс для дистанционного подводного мониторинга в режиме реального времени *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Технические науки*. 2019. № 10 (ч. 1). С. 175–178.
18. Свинобоев Н.Н., Тарасов С.П., Чулков В.Л. Экологический мониторинг водных бассейнов с использованием гидроакустических технологий. *Известия ТРТУ. Технические науки*. 2006. № 12 (67). С. 43–46.
19. Солдатов Г.В., Тарасов С.П. Экологические мониторинговые исследования водной среды обитания методом гидроакустической диагностики. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2009. № 99 (10). С. 228–233.
20. Тимченко Ю.А., Птиця Ю.Г. Мобільний гідрологічний (океанографічний) комплекс модульних суднових лабораторій науково-дослідницького судна "Гідробіолог" НАН України. *Океанографічний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*, 2020. № 2(13). С. 92–100.
21. Томченко О.В., Хижняк А.В., Федоровський О.Д. Гідроекологічні дослідження на основі комплексної оцінки. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: зб. наук. пр. XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2015. С. 58–64.
22. Zagorodnya S.A., Novokhatska N.A., Okhariev V.O., Popova M.A., Radchuk I.V., Trysnyuk T.V., Shumeiko V.O., Atrasevych O.V. GIS-based assessment of anthropogenic influence in Western Polissya region limnological ecosystems. *Екологічна безпека та природокористування*. 2018. Вип. 2. С. 23–33.

Hydroacoustic technologies for environmental monitoring of waters

S.I. Nevierova, L.V. Nesterenko

Nevierova, Svitlana Ivanovna – Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; E-mail: sidzp2019@gmail.com

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

Abstract. The use of panoramic hydroacoustic methods for ecological monitoring enables the collection of detailed information about the relief features, bottom soils, and inundated objects, which can pose navigational or ecological risks. The processing of complex data obtained through hydroacoustic means and physico-chemical analysis provides valuable insights. The research results can be used to create environmental maps and integrated spatial models that present regional environmental information.

Key words: environmental monitoring, hydroacoustics, marine mobile research laboratory, sediments.

References

1. Abbasov IB. Sovremennye tendentsii monitoringa vodnoy sredy v pribrezhnykh akvatoriyaх. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon moray* [Modern trends in the monitoring of the aquatic environment in coastal areas Ecological safety of the coastal and shelf zones of the sea]. 2019;1:29–39 [in Russian].
2. Artemov YuG, Sadogurskiy SYe, Plugatar YuV, Belich TV, Sadogurskaya SA, Yevtushenko DB. O nekotorykh metodicheskikh aspektakh gidroakusticheskogo monitoringa morskogo makrofitobentosa [On

some methodological aspects of hydroacoustic monitoring of marine macrophytobenthos]. Proceedings of the Conference Environmental, industrial and energy security; 2019 Sep 23–26; Sevastopol. 2019. p. 190–193 [in Russian].

3. Blintsov OV, Sirivchuk AS. Kontsepsiia robotyzovanoho monitorynhu pidvodnoho seredovysshcha na osnovi zastosuvannia pryviaznykh pidvodnykh aparativ. Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [The concept of robotic monitoring of the underwater environment based on the use of tethered underwater vehicles. Eastern European journal of advanced technologies]. 2014;6(3):16–21 [in Ukrainian].

4. Voronin VA, Pivnev PP, Tarasov SP. Shirokopolosnye gidroakusticheskie anteny sistem ekologicheskogo monitoringa vodnoy sredy i pridonnykh osadochnykh porod. Inzhenernyy vestnik Dona [Broadband hydroacoustic antennas for environmental monitoring systems of the aquatic environment and bottom sedimentary rocks. Don Engineering Gazette]. 2015;39(4–2):26 [in Russian].

5. Gavrilov AM, Trekhin AN. Ekologicheskii monitoring zagazovannykh uchastkov dna vodoemov sredstvami gidroakustiki. Vestnik Taganrofskogo gosudarstvennogo universiteta [Ecological monitoring of polluted areas of the bottom of reservoirs by means of hydroacoustics. Bulletin of the Taganrog State University]. 2014;19(5):1659–1661 [in Russian].

6. Golod OS, Gonchar YuA, Donchenko SI, Martynyuk GA. Metodika izmereniya otrazhennogo podvodnym obektom signala i opredelenie ego ekvivalentnogo radiusa [Method for measuring the signal reflected by an underwater object and determining its equivalent radii]. Hydroacoustic journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean). 2006;3:96–102 [in Russian].

7. Gonchar AI, Donchenko SI, Shlychek LI, Shundel AI. Avtomatizirovannyi mnogofunktsionalnyy kompleks monitoringa akvatoriy [Automated multifunctional complex for monitoring water areas]. Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa. 2005;13:406–411 [in Russian].

8. Gonchar AI, Donchenko SI, Shlychek LI, Shundel AI. Ispolzovanie gidroakusticheskikh tekhnologiy dlya ekologicheskogo monitoringa akvatoriy. Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa [The use of hydroacoustic technologies for environmental monitoring of water areas. Coastal and offshore environmental security and integrated management of shelf resources]. 2006;14:164–170 [in Russian].

9. Gonchar AI, Shlychek L.I. Problemy razvitiya panoramnykh akusticheskikh sistem (v obespechenie navigatsionnoy i ekologicheskoy bezopasnosti) [Problems of development of panoramic acoustic systems (to ensure navigation and environmental safety)]. Proceedings of the IX International science and practice conference Russian shipbuilding and shipping, port activity, ocean and shelf development NEVA-2007. Sankt-Peterburg, RU. 2007:116–119 [in Russian].

10. Gonchar AI, Klochan YuA, Shlychek LI, Donchenko SI. Gidroakusticheskiy metod ekologicheskogo monitoringa akvatoriy vblizi portov. Sudokhodstvo. [Hydroacoustic method of environmental monitoring of water areas near ports. Shipping]. 2002;6:21 [in Russian].

11. Gonchar AI, Pisanko IN, Shlychek LI, Donchenko SI. Aspekty ispolzovaniya gidroakusticheskikh kompleksov dlya ekologicheskogo monitoringa akvatoriy [Aspects of the use of hydroacoustic systems for environmental monitoring of water areas]. Proceedings of the Conference of Problems, Methods and Means of Research of the World Ocean; 2003 May 13; Zaporozhe, UA: SEC PAS NAS of Ukraine; 2003. p. 206–210 [in Russian].

12. Donchenko SI, Nesterenko LV, Khudokon VV, Shundel OI. Prohramni zasoby realnoho chasu informatsiino-vymiriuvalnogo kompleksu monitorynhu akvatorii [Real-time software tools of the information and measurement complex of water area monitoring]. Hydroacoustic journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean). 2007;4:72–77 [in Ukrainian].

13. Yeremeiev VM, Shchypstov OA, Hordieiev AYu, Fedoseienkov SH, Stefanov HS. Sudnovyi kompleks modulnykh naukovu-doslidnykh laboratorii naukovu-doslidnytskykh suden "Hidrobioloh" ta "Anatolii Honchar" NAN Ukrainy. Okeanohrafichni zhurnal (Problemy, metody ta zasoby doslidzhen Svitovoho okeanu) [Ship complex of modular research laboratories of research vessels "Hydrobiologist" and "Anatoliy Gonchar" of the National Academy of Sciences of Ukraine. Oceanographic Journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean)]. 2019;1(12):132–155 [in Ukrainian].

14. Zhezhnych PI, Osyka VO. Heoinformatsiini systemy na osnovi prostorovo-chasovykh modelei danykh. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika": Informatsiini systemy ta merezhi [Geoinformation systems based on spatio-temporal data models. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University: Information systems and networks]. 2010;689:149–157 [in Ukrainian].

15. Monzingo RA, Miller TU. Adaptivnye antennye reshetki. Vvedenie v teoriyu [Adaptive Array. Introduction to Theory]. Moskva: Radio i svyaz; 1986. 448 p. [in Russian].
16. Ozhiganova MI, Goncharenko DG. Gidroakusticheskiy kontrol ekologicheskogo sostoyaniya stochnykh vod. Zbirnik naukovikh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoi energii ta promislivosti [Hydroacoustic control of the ecological state of wastewater. Collection of scientific works of the Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry]. 2013;3:216–221 [in Russian].
17. Rozman BYa, Yelkin AV. Gibridnyy radiupravlyaemyy kompleks dlya distantsionnogo podvodnogo monitoringa v rezhime realnogo vremeni. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy. Tekhnicheskie nauki [Hybrid radio-controlled complex for real-time remote underwater monitoring. International Journal of Applied and Basic Research. Technical science]. 2019;10(1):175–178 [in Russian].
18. Svinoboev NN, Tarasov SP, Chulkov VL. Ekologicheskii monitoring vodnykh basseynov s ispolzovaniem gidroakusticheskikh tekhnologiy. Izvestiya TRTU. Tekhnicheskie nauki [Ecological monitoring of water basins using hydroacoustic technologies. Izvestiya TRTU. Technical science]. 2006;12(67):43–46 [in Russian].
19. Soldatov GV, Tarasov SP. Ekologicheskie monitoringovye issledovaniya vodnoy sredy obitaniya metodom gidroakusticheskoy diagnostiki. Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Ecological monitoring studies of the aquatic environment by the method of hydroacoustic diagnostics. Proceedings of the Southern Federal University. Technical science]. 2009;99(10):228–233 [in Russian].
20. Tymchenko YuA, Ptytsia YuH. Mobilnyi hidrolohichnyi (okeanografichnyi) kompleks modulnykh sudnovykh laboratorii naukovo-doslidnytskoho sudna "Hidrobioloh" NAN Ukrainy. Okeanografichnyi zhurnal (Problemy, metody ta zasoby doslidzhen Svitovoho okeanu) [Mobile hydrological (oceanographic) complex of modular ship laboratories of the research vessel "Hydrobiologist" of the National Academy of Sciences of Ukraine. Oceanographic Journal (Problems, methods and means of research of the World Ocean)]. 2020;2(13):92–100 [in Ukrainian].
21. Tomchenko OV, Khyzhniak AV, Fedorovskyi OD. Hidroekolohichni doslidzhennia na osnovi kompleksnoi otsinky [Hydroecological studies based on comprehensive assessment]. Proceedings of the XIV International science and practice conference Modern information technologies for management of environmental safety, nature management, measures in emergency situations; Kyiv, UA; 2015. p. 58–64 [in Ukrainian].
22. Zagorodnya SA, Novokhatska NA, Okhariev VO, Popova MA, Radchuk IV, Trysnyuk TV, Shumeiko VO, Atrasevych OV. GIS-based assessment of anthropogenic influence in Western Polissya region limnological ecosystems. Environmental safety and nature management. 2018;2:23–33 [in Ukrainian].

Стаття надійшла 12.10.2021