

УДК 528.92

DOI: 10.31653/2306-5761.33.2022.111-121

CREATING A DIGITAL MODEL OF THE BOTTOM RELIEF**СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФА ДНА****V. Sikirin, Ph.D., Associate Professor, M. Golodov, Ph.D., Associate Professor****Сікірін В.Є., к.т.н., доцент, М.Ф. Голодов, к.т.н., доцент***National University Odessa Maritime Academy**Національний університет «Одеська морська академія»***ABSTRACT**

Scientific research considers the efficiency of digital technologies for processing hydrographic information. The form of presentation of data in a digital model and the type of technical data carrying, on which data are registered, focused on the goal of compact saving of the results of the capture and their transfer to different partners for the selection of their software and technical problems. Such an algorithm in every competitive situation, especially in conditions of a strongly divided bottom line, should have a property to find an appropriate equivalent between the detail of reflection of the relief in this scale, which provides the same status of peaks and falls and is a priority of the minimum depth, which is intended to ensure the safety of navigation.

Information about navigational problems and the camp of depths in these areas can be seen on the appropriate navigational charts. But in the surrounding areas of the sea with a folding relief of the bottom, knowledge of only point-holes is not enough for the safe navigation of ships. A more detailed picture can be taken from the digital model of the bottom topography, in order to give a more accurate description, character and understanding of the bottom navigational problems. The development of a digital model is possible based on the results of hydrographic surveys. In this article, the theoretical and practical aspects of the research and the real picture of the bottom topography of the ship-floating water areas are considered.

The effectiveness of digital technologies for processing hydrographic information is rich in what lies in the set organization of digital data. For the making of the digital relief model, a tree data structure was adopted.

Keywords: *digital model, hydrographic survey, hydroacoustic survey, seabed relief, sea navigation map, survey sea lines, software hydrographic survey.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливим чи практичними завданнями

Для забезпечення безпеки мореплавства важливе значення має знання донного рельєфу та розташування навігаційних небезпек на морському дні. Інформацію про навігаційні небезпеки і стан глибин в цих районах можливо отримати на відповідних навігаційних картах. Але в окремих районах моря зі складним рельєфом дна знання тільки точкових глибин недостатньо для безпечного плавання суден. Більш детальну картину з цього питання можливо отримати з цифрової моделі рельєфу дна, яка надає точне розташування, характер і розміри донних навігаційних небезпек. Розробка цифрової моделі можлива за результатами проведення гідрографічних досліджень. У данній статті розглядаються теоретичні і практичні аспекти проведення досліджень та отримання реальної картини рельєфу дна судноплавних акваторій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Аналіз літератури з проблем виконання детальної гідрографічної зйомки на морях і океанах, а також в обмежених районах плавання на підходах до морських портів, показав, що основні правила та рекомендації щодо проведення та точності гідрографічної зйомки викладені у роботах [1,2, 5, 6, 7].

У роботах [11,12,17,18] викладено питання розробки та використання спеціалізованого програмного забезпечення для виконання гідрографічних досліджень, а також обробки результатів досліджень та їх практичного використання на користь безпеки мореплавання.

Питанням розробки математичних моделей океанографічних процесів, що відбивають динамічний стан водного середовища, його впливу на безпеку плавання суден, присвячені роботи [9, 29-36]. Також у зазначених роботах проведено оцінку створення океанських цифрових макетів стану навколишнього середовища, схем розподілу океанографічних параметрів у різних районах Світового океану.

Публікації [3,4,14,16,17,18] дають інформацію щодо основних принципів створення цифрових моделей рельєфу морського дна (ЦМРМД), врахування у них мінімальних глибин, навігаційних небезпек, а також відображення їх у картографічному матеріалі. Ці роботи дають загальну інформацію про формування ЦМРМД. Для конкретної розробки подібної моделі необхідним є проведення відповідних гідрографічних досліджень, а також виконання обробки результатів досліджень з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Основною метою даної статті є розробка і презентація цифрової моделі окремих частин донного рельєфу в акваторіях гирла Бистре, Очаківського гирла та Соломонова рукава р. Дунай за результатами реальних гідрографічних досліджень. Дослідження надали можливість отримати дані про стан глибин, концентрацію ґрунту у верхньому шарі рельєфу дна, характер донних викладів, вплив замуленості річкового дна на безпеку судноплавства.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

З метою представлення і зберігання геометричної інформації, якою є також інформація щодо рельєфу морського дна, використовуються методи сплайн-функцій. Для побудови інтерполяційного сплайну необхідно вирішити систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Розмір системи визначається кількістю інтерполяційних умов і вона може бути достатньо великою. Однак для деяких типів сплайнів ця система розпадається на сукупність підсистем невеликого розміру.

У цьому випадку для розрахунку кожного з параметрів сплайна використовується лише декілька інтерполяційних умов, що суттєво спрощує завдання. Такі сплайни називаються локальними. До їх числа відноситься інтерполяційний сплайн двох змінних першого ступеня, який геометрично являє собою складну поверхню у вигляді багатокутника. Таким чином, для формування цифрової моделі рельєфу (ЦМР) морського дна необхідно на основі інформації, отриманої у процесі гідрографічних досліджень виявити вершини і ребра багатокутника, що апроксимує поверхню морського дна.

Ефективність цифрових технологій обробки гідрографічної інформації багато в чому залежить від прийнятої організації цифрових даних. Для формування ЦМР прийнята деревовидна структура даних.

Оскільки виконання зйомки рельєфу дна здійснюється на галсах, для спрощення завдання пошуку даних при формуванні ЦМР отримана у процесі зйомки інформація одразу сортується за галсами. Після завершення чергового галсу фіксується певний профіль морського дна. Кожна точка цього профілю характеризується тримірними координатами: глибиною z і географічними (прямокутними) координатами $\varphi, \lambda (x, y)$, що є елементами цифрової моделі профілю (ЦМП).

Геометричні елементи ЦМП є вершинами багатокутника і ребра, орієнтовані вздовж лінії галсу. Профіль морського дна, відбудований на основі цих елементів, є ламаною у тривимірному просторі. ЦМП формується на основі елементів трьох цифрових моделей:

- Цифрової моделі зміни глибини (ЦМЗГ);
- Цифрової моделі зміни широти (ЦМЗШ);
- Цифрової моделі зміни довготи (ЦМЗД).

Кожна з перерахованих моделей є сукупністю цифрових значень елементів, що фіксується у процесі зйомки (глибина, широта, довгота), моментів часу їх фіксації і правил обробки цієї інформації, що дозволяють однозначно і з необхідною точністю отримати проміжні значення елементів.

Форма представлення даних у цифровій моделі і тип технічного носія інформації, на якому ці дані реєструються, орієнтовані на цілі компактного зберігання результатів зйомки і їх передавання різним споживачам для використання у власних програмно-технічних засобах.

Щоб надати можливість працювати з даними цифрової моделі гідрографу, штурману необхідно перетворити їх у форму графічної моделі і вивести дані зйомки на планшет, карту, екран монітору і т.д. У цій процедурі візуалізації цифрової моделі важливою технологічною операцією є відбір значень глибин для отримання його адекватного відображення. Пріоритетність відбору глибин наступна:

- мінімальні і максимальні глибини;
- глибини у точках зміни крутизни (перегинів) схилів;
- глибини через рівні інтервали часу [1, p.116].

При цьому очевидною є вимога, щоб відібрані значення глибин при нанесенні їх на планшет заданого масштабу не накладались один на одного. Саме ця вимога, вступаючи у протиріччя із вимогою детальності зображення рельєфу, перетворює на проблемне тривіальне завдання сортування даних за вказаними ознаками під час створення алгоритму її формалізованого вирішення на електронно-обчислювальній машині. Дійсно, такий алгоритм у кожній конкурентній ситуації (особливо в умовах сильно розділеного рельєфу) повинен мати властивість визначати належну пріоритетну значимість між детальністю відображення рельєфу у цьому масштабі, що передбачає однаковий статус вершин і впадин і пріоритетом мінімальних глибин, що забезпечують безпеку мореплавства.

Однак, як показує аналіз матеріалів автоматизованої зйомки глибин, не виключається той факт, коли на користь найменшої глибини, проте зовсім не значної для безпеки мореплавства, ігнорується більш інформативна впадина, а детальність і точність відтворення рельєфу від цього погіршуються. Суттєвим недоліком є також те, що цей алгоритм не передбачений для відбору даних за площею, а це вкрай необхідно при наявності галсів, що перетинаються, а особливо при зйомці рельєфу дна багатопроменим ехолотом.

Уникнути вищевказаних недоліків можливо, якщо орієнтувати алгоритм на відбір глибин за площею, а також конкретизувати і ввести додаткові ознаки і кількісні критерії, що забезпечують можливість більш детального аналізу елементів рельєфу дна. Система таких ознак і критеріїв повинна визначати:

- належність значення глибини до тієї або іншої форми рельєфу дна і ступінь його важливості для створення адекватної графічної моделі;
- рівень переваги цього значення над сусідніми за критерієм точності у випадку нерівно точних вимірів глибин;
- важливість цього значення глибини для забезпечення безпеки судноплавства.

Для програмного визначення вимірних значень глибин достатньо виділити такі елементи рельєфу:

1. Регіональні вершини і впадини.
2. Локальні вершини і впадини (рис.4).
3. Точки рельєфу в області зміни крутизни нахилів.
4. Інші точки рельєфу дна.

Нумерація груп, форм і елементів рельєфу, наведена у переліку визначає одночасно і ступінь їх значимості. При цьому оскільки для задоволення вимог максимально можливої деталізації рельєфу дна вершини і впадини є рівноцінними, то вони об'єднані у загальні групи і поділяються лише на регіональні і локальні, що мають різні ступені значимості [3, р.79].



Рис. 1. Залишки затопленого судна на дні Очаківського гирла р. Дунай [4]

Зазначені вище питання щодо збору інформації для створення цифрової моделі рельєфу морського дна залежать від планування і організації гідрографічної зйомки, що реалізується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ).

Планування гідрографічної зйомки з використанням ПЗ

Розглянемо конкретний набір призначених для користувача-гідрографа функцій програми планування гідрографічної зйомки. Планування зйомки в графічному і текстовому режимі включає наступні функції:

1. Автоматична побудова регулярної сітки прямих промірних галсів з вибором головного напрямку галсів і міжгалсової відстані.
2. Планування промірних галсів довільної конфігурації.
3. Додавання / видалення / вставка точок на галсі.
4. Визначення допустимого бокового відхилення від лінії заданого галса.
5. Встановлення параметрів циркуляції при досягненні точки кінця галса або лінійного відрізка галса.
6. Установка параметрів сигналізації про наближення до точок початку маневру для переходу на наступний галс або лінійний відрізок галса.
7. Комбінація регулярної сітки і довільних галсів.
8. Видалення і додавання будь-яких галсів.
9. Відображення схеми проміру в процесі редагування галсів.

У рамках програмного забезпечення можливо: видалення об'єкта проміру, перейменування об'єкта проміру і прийом даних від однопроменевого або багатопроменевого ехолоту. Для аналогових ехолотів з темпом передачі глибин 1 секунда може бути використаний пристрій з'єднання з лагом, компасом, ехолотом. Темп передачі глибин від 0.1 сек. Крім того, виконуються наступні функції:

1. Корекція даних ехолота для обліку систематичних похибок пов'язаних з поглибленням вібратора ехолота і зміною осадки судна.

2. Прийом даних від системи позиціонування по протоколу IEC 61162-1 (NMEA-0183) з будь-якими стандартними повідомленнями для радіонавігаційних і супутникових систем GPS / DGPS, DECCA, LORAN-C.

3. Імпорт підкладки навігаційних карт в різних форматах (DXF, DGN, S-57, TIF, MrSid, APK та ін.).

4. Конфігурація використовуваного для зйомки обладнання (датчики) із зазначенням типу, який допоможе підключити датчики інформації при зсувах (офсети) датчиків.

5. Створення планових галсів за допомогою ручного введення; сітки взаємно перпендикулярних ліній; модуля CHANNEL DESIGN (Проектування каналів), який автоматично створює планові галси і поперечні перерізи профілів для каналів і басейнів розвороту; модуля ADVANCED CHANNEL DESIGN (Розширене проектування каналів), який дозволяє створювати складні 3D поверхні для каналів складної форми і інших об'єктів [18, р. 57].

Виконання гідрографічної зйомки з використанням ПЗ.

Автоматичний збір і архівація даних від ехолота, системи позиціонування, а також маршрутних координат щодо поточного запланованого галсу і відміток часу для подальшої обробки включають:

1. Первинні дані проміру у вигляді записів по галсам.
2. Глибини з дискретністю від 0.1 секунди.
3. Координати з дискретністю від 0.5 секунди (визначається параметрами координуючої системи).
4. Дані про опорні точки на галсі, щодо яких розраховується бічне відхилення від лінії заданого галса.
5. Результати обробки гідрографічної зйомки.
6. Автоматична зміна галсів при виконанні зйомки.
7. Ручний вибір галсів зйомки.
8. Відображення вимірних глибин.
9. Відображення плану акваторії зйомки.
10. Відображення поточного галсу зйомки.
11. Індикація про припинення надходження даних від ехолота.
12. Індикація про припинення надходження даних від системи позиціонування з перемиканням на допоміжну систему позиціонування і індикацією статусу системи позиціонування, включаючи ознаку диференційного режиму.

Збір глибин в спеціальний картографічний пласт (спеціальну карту) забезпечується:

1. Редагуванням глибин спеціальною програмою «Редактор».
2. Відображенням глибин окремим картографічним пластом.
3. Побудовою тривимірного рельєфу за отриманими даними.

Також здійснюється запис глибин і координат в «чорний ящик» з можливістю програвання вимірних глибин в обраному масштабі часу (від 1:1 до 1:20) в прямому і зворотному напрямку.

Необхідною функцією є побудова тривимірної моделі рельєфу з використанням обраного району і всіх картографічних даних, що відображаються в цьому районі, а також відображення символу гідрографічного судна на тривимірному рельєфі в реальному масштабі часу.

Проведення досліджень для створення ЦМР р. Дунай

Для отримання цифрової моделі рельєфу дна та стану лімітуючих глибин в дельті р. Дунай у 2018 році було проведено гідрографічні і гідроакустичні дослідження в акваторії гирла Бистре, Очаківського гирла і Соломонова рукава.

Виконувалася площинна гідрографічна і гідроакустична зйомка акваторій для виявлення на їхньому дні та у водній товщі об'єктів природного і штучного походження, в тому числі підводних потенційно небезпечних об'єктів, а також визначення географічних координат та розмірів знайдених об'єктів, побудова 3-D схем інтенсивності відбитого сигналу, побудова відповідних геоморфологічних інформаційних моделей для різних ділянок дна акваторії р. Дунай з урахуванням її структурних характеристик.

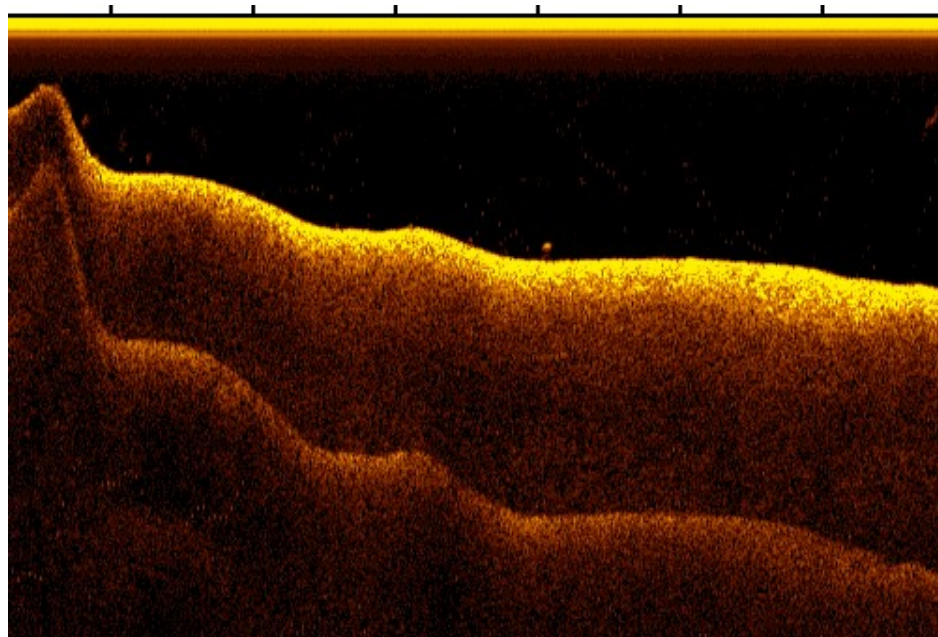


Рис. 2. 3D модель – акустично прозорі товщі донного рельєфу Очаківського гирла [4]

У результаті гідрографічних і гідроакустичних досліджень рельєфу дна та донних відкладів за площею та розрізненням за характеристиками відбитих сигналів проведено вивчення донного рельєфу та геофізичних параметрів (глибини, геоакустичні характеристики та типи донних відкладів).

За допомогою програмного забезпечення та цифрових математичних моделей були побудовані відповідні геоморфологічні моделі дна (рис.2,3).

Також було отримано інформацію про стан донних ґрунтів всієї площі полігону з результатів обробки профілограм за методикою дистанційної профільної ґрунтової зйомки дна, зареєстровано структури верхньої осадової товщі потужністю 2-5 м залежно від щільності за допомогою гідроакустичного профілювання.

За даними гідрогеоакустичної зйомки було отримано літологічну класифікацію верхнього шару донних відкладів.

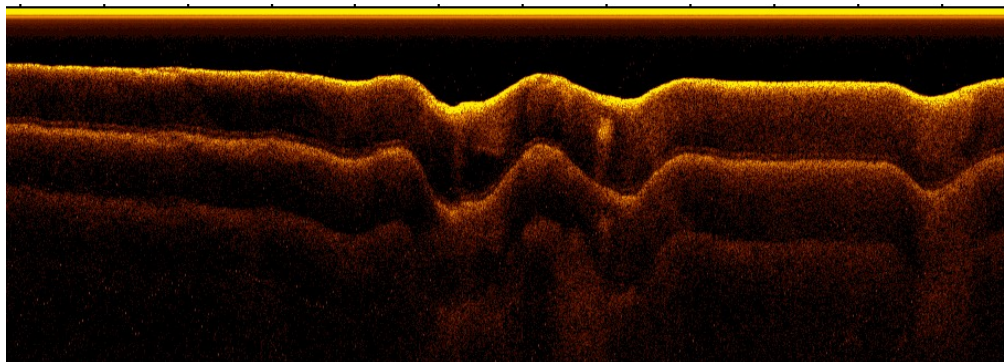


Рис. 3. Структура шарів донних відкладів Соломонова рукава [4]

Слід зазначити, що загалом в отриманих ехо-сигналах дна міститься інформація про тонку шарувату структуру донних відкладів з роздільною здатністю до 0,3 м. Отримані дані є унікальними і потребують додаткового подальшого вивчення для проведення детальної стратифікації річкових донних відкладів та характеру рельєфу дна на всій протяжності української частини р. Дунай.

В акваторіях гирла Бистре, Очаківського гирла та Соломонова рукава р. Дунай розрізи осадів загалом відповідають більш спокійним гідродинамічним умовам накопичення. У них

спостерігаються ритми з природним характером седиментогенезу, який відображає коливання поверхні водотоку.

Дані щодо середньої густини та зміни концентрації мулів у верхньому шарі донних відкладів у результаті проведених натурних досліджень полігону в межах акваторій р. Дунай свідчать про замулення річкового дна на дослідженій ділянці. Замулення, у свою чергу, призводить до накопичення значних фракції донних осадів та зміни глибин, серед яких мають місце навігаційні небезпеки (рис.1).

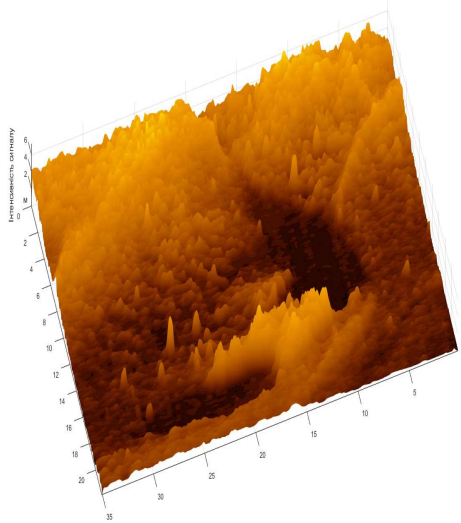


Рис. 4. Донна впадина, гирло Бистре [4]

У програмному забезпеченні була вирішена задача уніфікації засобів спостереження щодо форматів видаваної інформації, алгоритмічного і програмного забезпечення управління роботою пристроїв і обробки інформації, підтримки єдиного протоколу передачі даних.

Створене програмне забезпечення, що реалізує всі необхідні функції об'єднання різних пристроїв, комплексування і обробки їхньої інформації, зберігання і видачі обробленої інформації при обстеженні в узгодженому форматі дозволяє більш ефективно виконувати наукові дослідження і економити час, позбавляючи дослідників рутинної роботи при складанні звітних матеріалів [2, р.276].

Між модулями і блоками-елементами мобільного гідрографічного і гідроакустичного комплексу передавалася різноманітна за форматами інформація для синхронізації прийому даних, комплексування інформації і прив'язки до географічних координат.

Роботою комплексу управляє програма-сервер реального часу ПК1. Програма виконує установку режимів роботи модуля, отримання даних від зовнішніх інтерфейсів ПК, первинну обробку, відображення, реєстрацію, прив'язку інформації до інформації приймача GPS і комплексування інформації засобів гідроакустичного модуля (ехолота, ГБО, профілографа) і даних приймача GPS.

Комп'ютер ПК2 використовується для задач псевдореальної обробки і рознесеної реєстрації гідрографічних даних. Передача даних в комп'ютер ПК1 здійснювалася через інтерфейс USB. Швидкість передачі даних через шину USB 2.0 - 60 Мб/с (максимальна), на повній швидкості - 1,5 Мб/с. Швидкість передачі даних по локальній мережі Ethernet 10/100/1000 Мб/с (в контролерах реалізована 30 Мб/с).

При чотирьох каналах гідрографічного і гідроакустичного модулів (лівий і правий борт гідролокатор бічного огляду, ехолот, профілограф) + каналу GPS, кількості вибірок на канал - 1024,8 бітах у вибірці, кількість переданих даних за один цикл випромінювання / прийому становила 4096 Б, швидкість передачі 30797 Б/с. Час передачі даних через інтерфейс USB 2.0 (максимальна швидкість) - 0,065 мс, по локальній мережі Ethernet (100 Мб/с) - 0,31

мс (3,1 мс при 10 Мб/с). Кількість записуваних даних на жорсткий диск комп'ютера, що управляє, становить ≈ 30797 байт за секунду або 110 869 200 байт за годину, 2,26 Гб за добу [4, р.16].

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

Таким чином, комплексний підхід на основі дистанційних методів дослідження рельєфу дна відкриває нові можливості ефективного моніторингу стану донних відкладів, дозволяє найбільш повно використовувати всю корисну інформацію, що міститься у полях донного рельєфу. Використання технологій гідрографічних і гідроакустичних досліджень дозволяє отримати відомості щодо стану досліджуваного середовища на великих площах, значно скоротити час проведення робіт та підвищити їхню ефективність.

Отримана гідрографічна і гідроакустична інформація доповнила гідрографічний фрагмент бази даних, що дозволяє провести комплексну порівняльну оцінку геоморфологічних особливостей р. Дунай і сприятиме навігаційно-гідрографічному забезпеченню безпеки судноплавства на ГСХ «Дунай–Чорне море».

В якості перспективи роботи по даному напрямку розглядається продовження гідрографічних досліджень рельєфу дна р. Дунай з метою побудови цифрового профілю головного судноплавного фарватеру української частини р. Дунай.

ЛІТЕРАТУРА

1. Посібник з гідрографії Міжнародної Гідрографічної організації, т. 1, т. 2 /МГО/ Монако - 2006 р./ 246 с., 303 с.
2. Симоненко С.В., Голодов М.Ф. Гідрографія моря. ДУ «Держгідрографія»/ Київ – 2015 р., практичний посібник – 296 с.
3. Створення візуальної цифрової моделі рельєфу дна на основі відбору глибин. Записки по гідрографії, Л – 1989 р. – 79 с.
4. Звіт про проведення комплексної річкової науково-дослідної експедиції на р. Дунай. ДУ «Держгідрографія», НАН України, Київ – 2018 р., - 111 с.
5. Правила гидрографической службы №4. Съёмка рельефа дна. ГУНиО – Ленинград, 1981 – 325 с.
6. Правила гидрографической службы №5. Составление и издание морских карт. ГУНиО - Ленинград, 1989 – 338 с.
7. Коломийчук Н.Д. Гидрография. – ВВМУ им. Фрунзе – Ленинград, 1988 – 362 с.
8. Алексин В.Г., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания, Одесская национальная морская академия – Одесса, «Транслит», 2009 – 517 с. (ОНМА).
9. Океанографический Атлас Черного и Азовского морей. Еремеев В.Н., Симоненко С.В., Голодов Н.Ф. – Киев.:ГУ «Госгидрография», 2009. – 356 с.
10. Симоненко С.В., Гладких І.І. Електронні навігаційні карти / Симоненко С.В./ – учебное пособие, Одесса, ОНМА, 2007. 60 С.
11. Симоненко С.В., Гладких І.І. Картографические проекции / Симоненко С.В./ – учебное пособие, Одесса, ОНМА, 2007. 40 С.
12. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 287 с.
13. Национальна морская политика и гидрографические службы – Монако, МГО, 2002. – 34 с.
14. Гончаров В.П. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. 1972 – М. вид.

- Наука. – 165 с.
15. Ильин Ю.П. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1. Азовское море, Том 2. Черное море. Севастополь, 2012. – 420 с.
 16. Роберт Дж. Урик. Основы гидроакустики. – Ленинград, Судостроение, 1978 – 445 с.
 17. Изаак И.Э. Общие принципы выполнения съемки рельефа дна многолучевым эхолотом. – Киев, Вестник Госгидрографии, 2006 – 15 с.
 18. Hydrographic Software Нурпак, Training Notes – Presentations, Sample Projects - 2014. – НУРАК, inc. USA. P.85.
 19. Shachas P., Chucwuma A., Parrish C. Satellite-derived Bathymetry, – Hydro International, IHO Monaco – 2013, p.16-19.
 20. Mark Pronc, Exciting Applications for Lidar, - Hydro International, IHO Monaco – 2013, p.12-15.
 21. Marine Environmental Assessment of the Black Sea / Working material / Regional Technical Co-operation Project RER / 2/003 – IAEA, Vienna, Austria, 2004 – 358 p.
 22. Standard of Hydrographic Survey S-44 / Special Publications / IHO, Monaco – 2008 – 49 p.
 23. Building and Projection/Rules of Hydrographic Survey. – Engineering US Army Department, 2004 – 125 с.
 24. A.F. Blumberg, G.L. Mellor A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model N. Heaps (Ed.), Three-dimensional Coastal Ocean Models, American Geophys. Union (1987), pp. 1-16
 25. O. Andrejev, K. Myrberg, A. Andrejev, M. Perttilä Hydrodynamic and chemical modelling of the Baltic Sea – a three-dimensional approach Meri – Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, 42 (2000)
 26. L. Tuomi, K. Myrberg, A. Lehmann The performance of the parameterisations of vertical turbulence in the 3D modelling of hydrodynamics in the Baltic Sea Cont. Shelf Res., 50–51 (2012), pp. 64-79
 27. Armstrong, E.M., Wagner, G., Vazquez-Cuervo, J., Chin, T.M., 2012. Comparisons of regional satellite sea surface temperature gradients derived from MODIS and AVHRR sensors. Int. J. Remote Sensing 33 (21), 6639–6651.
 28. Darkes, G., Spence, M., 2008. Cartography – An Introduction. The British Cartographic Society, London.
 29. Chen, C., Beardsley, R.C., Cowles, G., 2011. An Unstructured Grid Finite-Volume Coastal Ocean Model: FVCOM User Manual. University of Massachusetts, Dartmouth, USA p. 315.
 30. Davies, A.M., Hall, P., 2002. Numerical problems associated with coupling hydrodynamic models in shelf edge regions: the surge event of February 1994. Appl. Math. Model. 26 (8), 807–831.
 31. Holt, J.T., James, I.D., 2001. An s coordinate density evolving model of the northwest European continental shelf 1, Model description and density structure. J. Geophys. Res. 106 (C7), 14,015–014,034.
 32. Taylor, K., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys. Res. 106 (D7), 7183–7192.
 33. Vanhoutte-Brunier, A., Fernand, L., Me´ nesguen, A., Lyons, S., Gohin, F., Cugier, P., 2008. Modelling the *Karenia mikimotoi* bloom that occurred in the western English Channel during summer 2003. Ecol. Model. 210 (4), 351–376.

34. Wilmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63, 1309–1313.
35. Xing, J.X., Davies, A.M., 1998b. A three-dimensional model of internal tides on the Malin-Hebrides shelf and shelf edge. *J. Geophys. Res. Oceans* 103 (C12), 27821–27847. D. Aleynik et al. / *Harmful Algae* 53 (2016) 102–117
36. Laura Tuomia, Elina Miettunenb, Pekka Aleniusa, Kai Myrbergbc Evaluating hydrography, circulation and transport in a coastal archipelago using a high-resolution 3D hydrodynamic model *Journal of Marine Systems* Volume 180, April 2018, Pages 24-36 <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.12.006>

REFERENCES

1. Posibnyk z hidrografii Mizhnarodnoi Hidrografichnoi orhanizatsii, t. 1, t. 2 /MHO/ Monako - 2006 r./ 246 s., 303 s.
2. Symonenko S.V., Holodov M.F. Hidrografia moria. DU «Derzhhidrografia»/ Kyiv – 2015 r., praktychnyi posibnyk – 296 s.
3. Stvorennia vizualnoi tsyfrovoy modeli reliefu dna na osnovi vidboru hlybyn. Zapysky po hidrografii, L – 1989 r. – 79 s.
4. Zvit pro provedennia kompleksnoi richkovoї naukovo-doslidnoi ekspedytsii na r.Dunai. DU «Derzhhidrografia», NAN Ukrainy, Kyiv – 2018 r., - 111 s.
5. Pravyla hydrografycheskoї sluzhby №4. Sʹemka relefa dna. HUNyO – Lenynhrad, 1981 – 325 s.
6. .Pravyla hydrografycheskoї sluzhby №5. Sostavlenye y yzdanye morskykh kart. HUNyO - Lenynhrad, 1989 – 338 s.
7. Kolomyichuk N.D. Hydrografia. – VVMU ym. Frunze – Lenynhrad, 1988 – 362 s.
8. Aleksyshyn V.H., Symonenko S.V. Obespechenye navyhatsyonnoi bezopasnosti plavaniya, Odesskaia natsyonalnaia morskaiia akademyia – Odessa, «Translyt», 2009 – 517 s. (ONMA).
9. Okeanografycheskyi Atlas Chernoho y Azovskoho morei. Eremeev V.N., Symonenko S.V., Holodov N.F. – Kyev.:HU «Hoshydrografia», 2009. – 356 s.
10. Symonenko S.V., Hladkykh I.I. Электронные navyhatsyonnye karty / Symonenko S.V./ – uchebnoe posobyе, Odessa, ONMA, 2007. 60 S.
11. Symonenko S.V., Hladkykh I.I. Kartografycheskye proektsyy / Symonenko S.V./ – uchebnoe posobyе, Odessa, ONMA, 2007. 40 S.
12. Sorokyn A.Y. Hydrografycheskye yssledovaniya Myrovoho okeana / Sorokyn A.Y. – L.: Hydrometizdat, 1980. – 287 s.
13. Natsyonalna morskaiia polytyka y hydrografycheskye sluzhby – Monako, MHO, 2002. – 34 s.
14. Honcharov V.P. Relief dna y hlubynnoe stroenye Chernomorskoї vpadyny. 1972 – M. vyd. Nauka. – 165 s.
15. Ylyn Yu.P. Hydrometeorolohycheskye uslovyia morei Ukrainy. Tom 1. Azovskoe more, Tom 2. Chernoe more. Sevastopol, 2012. – 420 s.
16. Robert Dzh.Uryk. Osnovy hydroakustyky. – Lenynhrad, Sudostroenye, 1978 – 445 s.
17. Yzaak Y.Э. Obshchye pryntsury vypolneniya sʹemky relefa dna mnoholuchevym эkholotom.- Kyev, Vestnyk Hoshydrografyy, 2006 – 15 s.
18. Hydrographic Softwear Hypack, Training Notes – Presentations, Sample Projects - 2014. – HYPACK, inc. USA. P.85.

19. Shachac P., Chucwuma A., Parrish C. Satellite-derived Bathymetry, – Hydro International, IHO Monaco – 2013, p.16-19.
20. Mark Pronc, Exciting Applications for Lidar, - Hydro International, IHO Monaco – 2013, p.12-15.
21. Marine Environmental Assessment of the Black Sea / Working material / Regional Technical Co-operation Project RER / 2/003 – IAEA, Vienna, Austria, 2004 – 358 p.
22. Standard of Hydrographic Survey S-44 / Special Publications / IHO, Monaco – 2008 – 49 p.
23. Building and Projection/Rules of Hydrographic Survey. – Engineering US Army Department, 2004 – 125 c.
24. A.F. Blumberg, G.L. Mellor A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model N. Heaps (Ed.), Three-dimensional Coastal Ocean Models, American Geophys. Union (1987), pp. 1-16
25. O. Andrejev, K. Myrberg, A. Andrejev, M. Perttilä Hydrodynamic and chemical modelling of the Baltic Sea – a three-dimensional approach Meri – Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, 42 (2000)
26. L. Tuomi, K. Myrberg, A. Lehmann The performance of the parameterisations of vertical turbulence in the 3D modelling of hydrodynamics in the Baltic Sea Cont. Shelf Res., 50–51 (2012), pp. 64-79
27. Armstrong, E.M., Wagner, G., Vazquez-Cuervo, J., Chin, T.M., 2012. Comparisons of regional satellite sea surface temperature gradients derived from MODIS and AVHRR sensors. Int. J. Remote Sensing 33 (21), 6639–6651.
28. Darkes, G., Spence, M., 2008. Cartography – An Introduction. The British Cartographic Society, London.
29. Chen, C., Beardsley, R.C., Cowles, G., 2011. An Unstructured Grid Finite-Volume Coastal Ocean Model: FVCOM User Manual. University of Massachusetts, Dart-mouth, USA p. 315.
30. Davies, A.M., Hall, P., 2002. Numerical problems associated with coupling hydrodynamic models in shelf edge regions: the surge event of February 1994. Appl. Math. Model. 26 (8), 807–831.
31. Holt, J.T., James, I.D., 2001. An s coordinate density evolving model of the northwest European continental shelf 1, Model description and density structure. J. Geophys. Res. 106 (C7), 14,015–014,034.
32. Taylor, K., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys. Res. 106 (D7), 7183–7192.
33. Vanhoutte-Brunier, A., Fernand, L., Me´ nesguen, A., Lyons, S., Gohin, F., Cugier, P., 2008. Modelling the *Karenia mikimotoi* bloom that occurred in the western English Channel during summer 2003. Ecol. Model. 210 (4), 351–376.
34. Wilmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc. 63, 1309–1313.
35. Xing, J.X., Davies, A.M., 1998b. A three-dimensional model of internal tides on the Malin-Hebrides shelf and shelf edge. J. Geophys. Res. Oceans 103 (C12), 27821–27847. D. Aleynik et al. / Harmful Algae 53 (2016) 102–117 117
36. Laura Tuomia, Elina Miettunenb, Pekka Aleniusa, Kai Myrbergbc Evaluating hydrography, circulation and transport in a coastal archipelago using a high-resolution 3D hydrodynamic model Journal of Marine Systems Volume 180, April 2018, Pages 24-36
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.12.006>