

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису

УДК 528.93:551.46

КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ ЗЕМЛІ:
ВІД ДАВНЬОЇ ІСТОРІЇ ДО СЬОГОДЕННЯ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Галузь знань 10 – “Природничі науки”

Спеціальність 103 – “Науки про Землю”

Освітня програма – “Картографія, географічні інформаційні системи,
дистанційне зондування Землі”

Кваліфікаційна робота бакалавра

студентки 4 курсу

Гусевої Лідії Олександрівни

Науковий керівник –

доктор географічних наук, професор

Даценко Людмила Миколаївна

Допущено до захисту:

Протокол засідання кафедри № 12 від “27” травня 2025 року

Завідувач кафедри проф. Л.М. ДАЦЕНКО

Київ – 2025

РЕФЕРАТ

Ця бакалаврська робота присвячена комплексному дослідженню еволюції картографування океанів Землі в історичному аспекті: від перших спроб створення карт античними вченими до найсучасніших високотехнологічних інтерактивних он-лайн карт, що дозволяють відстежувати різні набори даних в режимі реального часу. Розглянуто значення картографування океанів для науки та людства, вплив історичних відкриттів та сучасність процесу вивчення океанічних глибин.

В ході виконання роботи було проаналізовано такі історичні епохи картографування, як морські карти давніх цивілізацій, епоху Великих географічних відкриттів та початок наукового картографування у XVIII-XIX ст. Окремо детально описано сучасні методи картографування, такі як гідроакустичні системи (ехолокація, багатопроменеві ехолоти, бокове сканування) та застосування геоінформаційних технологій для створення карт Світового океану.

Досліджено сучасні карти океанів, базові джерела даних (GEBCO, NOAA, EMODnet) та структуру океанографічних карт. Визначено перспективи та проблеми морського картографування, включаючи завдання у важкодоступних районах, вплив клімату та роль новітніх технологій, таких як штучний інтелект. Підкреслюється важливість міжнародної співпраці та глобальних ініціатив, спрямованих на всеосяжне картографування дна Світового океану до 2030 року.

Ключові слова: картографування океанів, морська картографія, батиметрія, дистанційне зондування, ГІС, GEBCO, SeaBed2030, історія картографування, сучасні методи.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ.	7
1.1. Перші спроби картографування океанів у давнину	7
1.2. Епоха Великих географічних відкриттів (XV–XVII ст.)	13
1.3. XVIII–XIX ст.: Початок наукового картографування океанів	18
1.4. XX ст.: Перехід до сучасних методів картографування	21
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ МЕТОДИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ	24
2.1. Дистанційне зондування океанів	24
2.2. Гідроакустичні методи картографування	31
2.3. Геоінформаційні технології у створенні карт Світового океану	42
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КАРТ ОКЕАНІВ	46
3.1. Базові джерела даних для морських карт	46
3.2. Класифікація та структура сучасних морських карт	51
3.3. Порівняння карт різних періодів	58
РОЗДІЛ 4. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ	64
4.1. Сучасні виклики у морському картографуванні	64
4.2. Новітні технології у картографуванні океанів	68
4.3. Майбутнє картографування океанів	72
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

ВСТУП

Картографування океанів є однією з найстаріших та водночас найактуальніших сфер сучасних наукових досліджень. Протягом століть людство прагнуло не лише дослідити поверхню Землі, а й досягнути її підводні простори. Світовий океан займає понад 70% поверхні планети, проте його глибини досі залишаються маловивченими. Еволюція картографування океанів від перших уявлень давніх народів до сучасних цифрових геоінформаційних систем відображає розвиток технічного прогресу, зміну наукових парадигм і глобальну потребу в збереженні та раціональному використанні океанічних ресурсів.

Метою цієї дипломної роботи є комплексне дослідження історичних етапів картографування океанів, методів, які використовувалися в різні періоди, досягнень сучасної науки в цій сфері, а також аналіз сучасних технологій та перспектив подальшого розвитку морської картографії в умовах глобальних кліматичних та екологічних викликів.

Картографування океану є комплексною проблемою, важливим кроком на шляху прийняття обґрунтованих рішень у таких галузях, як управління ресурсами, зміни навколишнього середовища та збереження океану та включає також важливу інформацію для біологів, фахівців з припливів та інтернет-провайдерів.

Незважаючи на безперервний інтерес людства до океану, що покриває 71% поверхні Землі і існуючий прогрес у вивченні рельєфу дна океанів (на сьогодні вивчено не більше 20%), до теперішнього часу Світовий океан вивчений недостатньо.

Україна має багату історію картографії, а деякі з відомих українських вчених зробили значний внесок у морську картографію та дослідження морського дна (Гійом Левассер де Боплан, Степан Рудницький, Андрій Гордєєв, Тетяна Дудун, Олександр Бойко).

Актуальність вивчення Світового океану полягає у специфіці **об'єкта дослідження**: океани Землі картографовані суттєво гірше та недостатньо

детально порівняно з наземними ділянками планети. Це пов'язано насамперед із недоступністю морського дна для безпосереднього вивчення, труднощами, пов'язаними з підводним рельєфом, течіями та технічними ускладненнями регулярної зйомки морського дна, складністю освоєння чисельних методів та програмно-математичного апарату, необхідних для точних методів картографування.

Систематичне вивчення Світового океану на даний момент вимагає міждисциплінарного підходу, заснованого на використанні методів картографії, гідрографії, океанології, візуалізації та аналізу високоточних, доступних та надійних даних та теоретичних знань про процеси геотектоніки та геодинаміки, що впливають на формування морського дна океану.

Морська картографія - це наука та мистецтво створення карт морських територій, включаючи дно, берегову лінію та поверхневі особливості. Вона включає методи збору даних, обробки інформації та графічного зображення на картах для навігації та інших цілей.

Перспективи освоєння Світового океану полягають у наступних аспектах: 1) гносеологічний аспект пізнання Землі, її форм, еволюції та різноманітності процесів; 2) практичний аспект виявлення та визначення мінеральних та екологічних ресурсів Світового океану; 3) технічний аспект можливості морської навігації; 4) онтологічний аспект як система знань про океани. При цьому значення морських карт у пізнанні природи Світового океану має безпосереднє значення як джерело отримання нових даних, оскільки карти відображають та візуалізують стан знань про Землю в тій чи іншій тематичній сфері (наприклад, тектонічні, геологічні, батиметричні карти) і допомагають простежити еволюцію уявлень про будову дна океану.

Картографія в науках про Землю в цілому та в морському картографуванні зокрема, є головною формою узагальнення, моделювання та візуалізації даних, тобто способом зображення об'єктів та структурних елементів Землі та основою географічного методу досліджень. Карти є знаково-образними моделями Землі і тим самим є ключовими методами наук про

Землю. Карти дозволяють проводити якісний та кількісний аналіз геоданих, встановлювати просторові зв'язки між об'єктами та явищами.

Морська картографія має важливе значення для безпеки судноплавства, навігації, дослідження та вивчення морського середовища в частині підтримки просторових морських спостережень та управління масивними наборами даних; внеску у екологічний моніторинг Світового океану; управління та оцінки запасів мінеральних ресурсів у глибинах океану з метою стратегічного планування.

Об'єкт дослідження дипломної роботи – історичний процес картографування Світового океану.

Предмет дослідження – вивчення основних напрямів прогресу у розвитку методів картографування Світового океану в історичному аспекті.

Наукова значимість дослідження полягає у відсутності систематизованого огляду розвитку морської картографії, яка має довгу й багату історію.

Завдання дипломної роботи:

- Проаналізувати історичні етапи розвитку картографування океанів Землі;
- Дослідити вплив науково-технічного прогресу на процес картографування океанів;
- Охарактеризувати сучасні методи для картографування океанічного дна;
- Розглянути перспективи розвитку картографування океанів.

Практична важливість цієї роботи полягає у тому, що вивчення історичних аспектів та еволюції методів морського картографування має важливе значення для України, яка є приморською державою з великою морською економікою та стратегічною важливістю Чорного моря. Вона забезпечує мореплавання, сприяє безпеці морського транспорту, допомагає досліджувати та використовувати морські ресурси, а також має важливе значення для обороноздатності країни.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ

1.1. Перші спроби картографування океанів у давнину.

- *Морські карти Давньої Греції та Риму*

Стародавній період, починаючи з Античності, є часом становлення загальногеографічних знань про Землю. Методи вивчення Океану в даний період обмежені практичними цілями (виявлення навігаційних небезпек для підтримки забезпечення плавань, знаходження промислових об'єктів), близькістю об'єкта вивчення (переважно вивчення прибережних акваторій та мілководдя), простотою та примітивністю методів (виміри глибин вимірюють ручним лотом). Перша картографічна проекція, що збереглася в документованому вигляді, розроблена в I ст. н.е. давньогрецьким вченим Клавдієм Птолемеєм.

Атлас світу і 26 більш докладних карт земної поверхні, що додавалися до трактату «Географія» (10 регіональних карт Європи, 4 карти Африки, 12 карт Азії) було створено близько 150 р. н. е. На картах перелічено близько 8000 міст і місцевостей із зазначенням їх географічних координат. На відміну від трактату, оригінали самих карт не збереглися. До Доби великих географічних відкриттів, Атлас Птолемея слугував для європейців основним джерелом географічних відомостей. На основі його описів картографам епохи Відродження вдалося реконструювати втрачену карту світу (Рис.1.1.).

Насправді зазначена праця – перший атлас світу з довгим текстовим вступом у предмет картографії, аніж трактат із географії. Тут вперше були сформульовані обов'язки укладача карт, його обмеження та природа матеріалів, з якими йому доводиться працювати. Методи картування світу, запроваджені Клавдієм Птолемеєм, є фундаментальними принципами сучасної геодезії.

Тим не менш, Атлас Світу, створений Птолемеєм, зробив значний внесок у розвиток знань про світ з використанням математичних розрахунків та методів моделювання Землі [1].



Рис.1.1. Карта Птолемея. (Джерело-Wikipedia)

Птолемей з усіх сучасників згадує лише фінікійця Марина Тирського (бл. 130-70 рр.), який вважається основоположником сучасної математичної картографії. У літературі немає жодних вказівок на те, що було складено ще хоча б одну подібну до «Географії» систематизовану колекцію карт, виняток становлять карти Марина, про які майже нічого не відомо [1]. «Карти» Марина, про які писав Птолемей, були морськими картами лише за назвою, хоча на них позначені відстані між пунктами, при чому позначені по воді, але їх не можна розглядати як засоби навігації в будь-якому сенсі. Марин також обґрунтував поняття широти і довготи і розрахував координати кількох тисяч географічних об'єктів Європи, Африки та Азії. Зокрема, на його картах уперше для Римської імперії з'являється зображення Китаю. Марин Тирський є винахідником досі використовуваної, але технічно модифікованої рівнопрямій проекції [2].

- *Середньовічні портолани та карти арабських географів*

Перші відомі карти-портолани, що датуються XIV століттям, - це карти Середземного та Чорного морів. Найстаріша з відомих карт, яка підписана і датована, виготовлена П'єтро Весконте (італ. Petrus Vesconte) з Генуї, в 1311 році (Рис. 1.2.). Цей рік і вважається початком професійної картографії. Перші карти-портолани були виготовлені в Італії та на острові Майорка [3].

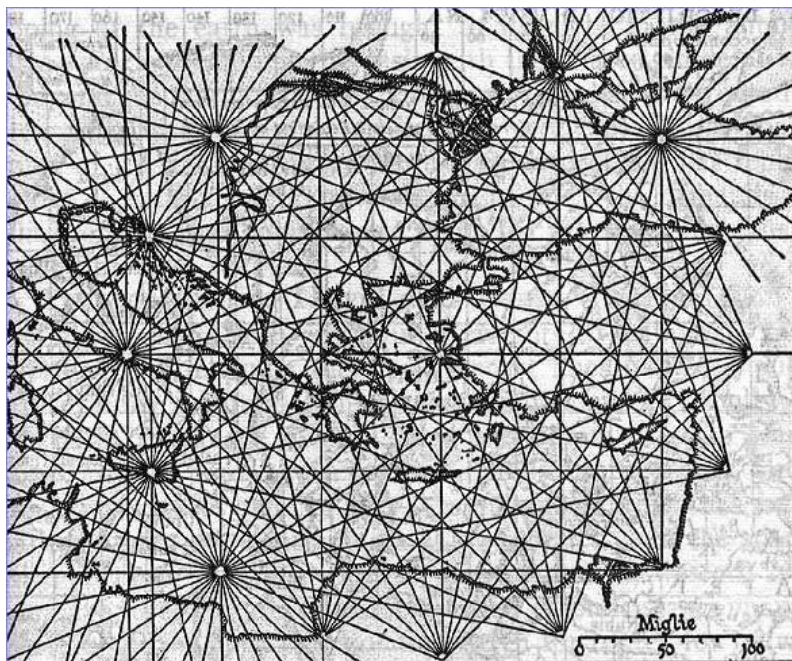


Рис.1.2. Перший підписаний портолан П'єтро Вєсконте (1311). (Джерело-
Wikipedia)

Спочатку портолани (або карти відшування гавані) карти малювали як додатки до стародавніх прибережних лоцій (периплів). Така прибережна лоція була текстовим описом, покликаним допомагати морякам безпечно проводити судна вздовж певних ділянок узбережжя в гавані зі складними підходами. У ній описувалося розташування рифів і мілин, а також помітних орієнтирів на березі, за якими мореплавець міг судити про те, де знаходиться. Карта-портолан як додаток до такої лоції виникла через необхідність мати перед очима наочніший матеріал, що відображає складності навігації в даних водах. Таким чином, карта-портолан була прибережною картою, яку склали моряки виключно на підставі досвіду та знання місцевих особливостей, тобто берегів і гаваней, корисних для переходу з одного місця в інше. У цьому їхня принципова відмінність від ранніх карт світу загалом і від карт країн і провінцій, які склалися академічно і строго з науки для невеликого кола вчених. З невеликої кількості документів, що дійшли до нашого часу, можна зробити висновок, що спочатку морське картографування формувалося незалежно і практично не перетиналося з еволюцією загальногеографічних карт. Крім деяких відстаней, що з'явилися на картах з легкої руки Марина і

Птолемея, між укладачами морських карт і географами, які займалися складанням карти світу, було мало спільного [1].

Розвиток портоланів, характерною особливістю яких була виняткова точність та надійність, був обумовлений застосуванням магнітного компасу та астролябії, які дозволили точно визначати координати та напрямки навігації. Зв'язок портолан з астрономічними спостереженнями підкреслюється відображеною на картах зміною магнітного полюса Землі щодо становища Полярної зірки, тобто її географічного полюсу. Ці спостереження демонструють, що картографи середньовіччя розуміли зв'язок між магнітним полем Землі, положенням Полярної зірки та географічними орієнтирами, та використовували ці знання для створення більш точних та корисних карт.

Стандартні портолани, виготовляли в основному картографи та навігатори Каталонії та північного сходу Іспанії та Італії. Існують деякі припущення, що стандартна карта виникла у Генуї як компіляція невеликих карток обмежених ділянок узбережжя. Їх запровадили місцеві рибалки і шкіпери дрібних каботажних суден, які постійно ходили вздовж тих самих знайомих місць. Цю карту майже завжди малювали на пергаменті або на цілісній шкурі, або на окремих шматках (листах), які приклеювали до тонких дошок і об'єднували в портоланний атлас. Виконували її завжди дуже ретельно, лінії проводили тонкі та чіткі. Майже всі екземпляри, що збереглися, розфарбовані; при цьому у виборі кольорів існували усталені традиції.

Хоча карти-порталани створювалися виключно для моряків, на ранніх з відомих екземплярів відстуня роза вітрів. У каталонському портоланному атласі, датованому 1375 роком, є всього одна роза вітрів, а портолани Пінеллі малювалися на готовій сітці румбових ліній, або локсодромів, що утворюють базову сітку. На такій сітці було зручно працювати копіїсту, а навігатор міг спрямовувати по ній свій корабель. Кольори тут теж стандартизувалися для зручності. Вісім головних вітрів та румбові лінії проводили чорним кольором; половинні вітри - зеленим, а четверті - червоним.

Найбільш повні портоланні атласи XIV та XV ст. включали:

- 1) карту світу, зазвичай овальну;
- 2) морські карти місцевого характеру, наприклад, карти окремих бухт та коротких ділянок берегової лінії;
- 3) окремі карти Адріатики, Егейського та іноді Каспійського морів;
- 4) карту Середземномор'я (стандартну).

Часто в атласі містилися також нариси до лоцій, календарі як астрономічні, так і астрологічні і іноді таблиці місячних циклів. Всі ці відомості, поряд з медичними та астрологічними порадами, входили в «Морський альманах» середньовічного моряка. У 1436 р. Андреа Б'янко, командир венеціанської галери, склав портоланний атлас, до якого поряд із традиційними таблицями включив вказівки щодо навігаційного обчислення шляху - як під час підйому галсами проти вітру, так і під час руху за вітром. А у верхньому кутку однієї з його карт знаходиться таблиця різниць широт і відступів та короткі вказівки, як нею користуватися [1].



Рис.1.3. Карта Андреа Б'янко (1436). (Джерело-Wikipedia)

Портолани – перші морські карти, що створювались в першу чергу для потреб морської навігації. Розрізняють портолани двох шкіл — «італійської» картографічної школи і «майорканської» (або «каталонської») картографічної школи. Представниками італійської школи були переважно картографи

морських республік - Генуї та Венеції, представниками каталонської школи — єврейські та християнські картографи з майорканської Пальми та Барселони. На портоланах італійської школи внутрішня територія суші не зазначається зовсім або зазначається дуже обмежено. Натомість на «майорканських» портоланах, крім традиційних контурів узбережжя і островів додатково нанесені схематичні зображення деяких гірських хребтів, річок та інших внутрішніх географічних об'єктів.

Як було зазначено вище, портолани є навігаційними картами, якими здебільшого користувалися купці та мореплавці, і в першу чергу на них вказувалися важливі для навігації об'єкти — узбережжя морів і острови, що знаходяться в цих морях.

У X столітті арабська картографія, що почала стрімко розвиватися переживає справді золоту епоху з серією карт «Атлас мусульманського світу». Методологію опису мусульманського світу, запроваджену вихідцем з Балха (аль-Балхі), підхопив і розвинув перський вчений з Ірану (аль-Істахрі), на чій роботи своєю чергою спирався географ і великий мандрівник, народжений у Багдаді (Ібн Хавкал) [5].

Ці карти не мають нічого спільного з Птолемеєвими моделями. Атлас мусульманського світу містить 21 карту, перша з яких — сферична карта світу. Потім ідуть шість карт, що зображують Аравію, Перське море, Магриб, Єгипет, Сирію і Румейське море (Середземне море). Останні чотирнадцять карт присвячені центральній і східній частинам мусульманського світу. Картографічна діяльність арабських географів торкалася переважно сходу арабського світу, і частково західної його частини. Останній період в арабській картографії, до якого відносять роботи аль-Ідрізі (XII ст.) більше стосується мусульманського заходу. Після навчання в Кордові аль-Ідрізі оселяється на Сицилії, де король Роджер II замовляє йому гігантську планісферу з докладним тлумаченням. Більш відома як «Книга Роджера» (Кітаб Руджар) дозволила західним географам розширити коло знань, а також допомогла португальським мореплавцям дослідити в XV столітті до того часу невідомі землі. Срібна

планісфера була втрачена, але карти та книга збереглися [6]. Наразі достоменно відомо, що аль-Ідрізі на перехресті християнського та мусульманського світів створив атлас відомого йому світу, і деякі карти в ньому вже були кольоровими (Рис.1.3.).



Рис.1.3. Реконструкція Рожерової карти аль-Ідрізі (1154). (Джерело-Wikipedia)

Його атлас, який вважається найзначнішим зразком арабської картографії, мав також величезний успіх на Заході впродовж усього Середньовіччя [6].

Проте, незважаючи на всі перелічені вище праці, внесок арабських вчених у розвиток картографії залишається дуже скромним.

1.2. Епоха Великих географічних відкриттів (XV–XVII ст.).

• *Внесок португальських та іспанських мореплавців*

Епоха Великих географічних відкриттів тісно пов'язана з проривом у сфері картографії у XV-XVI ст.

Систематичні морські дослідження на початковому етапі Епохи великих географічних відкриттів здійснювались португальцями та іспанцями, згодом - англійцями, голландцями та французами. Європейські дослідження за межами Середземного моря почалися з морських експедицій Португальського королівства на Канарські острови в 1336 році, а протягом XV століття португальці відкрили атлантичні архіпелаги Мадейра та Азори,

дослідили узбережжя Західної Африки та нарешті в 1498 році відкрили морський шлях до Індії. Експедиція Васко да Гама започаткувала португальську морську та торгову присутність у в Індійському океані від узбережжя Суахілі в Східній Африці до Китаю та Японії. Головною подією Епохи великих географічних відкриттів стали організовані Іспанією між 1492 і 1504 роками трансатлантичні плавання Христофора Колумба, під час яких була відкрита невідома до цього частина світу - Новий світ або Америка і розпочата її колонізація. Трьома десятиліттями пізніше, в 1519-1522 роках іспанська експедиція Магеллана-Елькано здійснила першу навколосвітню подорож, що стало загальносвітовим досягненням у сфері знань про побудову світу. Ці плавання та відкриття спонукали інші численні європейські морські експедиції через Атлантичний, Індійський і Тихий океани, а також сухопутні експедиції європейців в Америці, Азії та Африці. Європейське мореплавання до другої половини XV століття переважно відбувалось у вигляді каботажного (прибережного) плавання, під час якого моряки керувались картами-портоланами. Ці карти вказували перевірені морські маршрути, орієнтовані на прибережні орієнтири: моряки виходили з відомої точки, стежили за компасом і намагалися визначити своє місцезнаходження за орієнтирами на березі. Для перших досліджень океану західноєвропейці використовували компас, а також нові прогресивні досягнення в картографії та астрономії. Арабські навігаційні інструменти, такі як морська астролібія, квадрант та астрономічні таблиці Зіджі, використовувалися для астрономічної навігації.



Рис.1.4. Карта Хуана де ла Коса (1500). (Джерело-Wikipedia)

Карта Хуана де ла Коса - єдина карта, що дійшла до нашого часу, складена безпосереднім учасником перших експедицій Христофора Колумба [9]. Ця карта є найстарішою, де абсолютно безперечно представлена Америка. Датування карти Хуана де ла Коса не викликає суперечок, вона відображає географічні відкриття Португалії, Іспанії та Англії станом на останні роки XV ст. Відповідно до традицій картографів на карту нанесені румби, типові для портуланів цього часу. На карті також представлена більшість Старого Світу. Карта відображає не тільки відкриття іспанців, а й відкриття експедиції 1497-1499 років Васко да Гама, а також відкриття експедицій 1497-1499 років Джона Кабота.

В XIV столітті латинський переклад «Географії» Птолемея потрапив до Італії з Константинополя. Повторне відкриття римських географічних знань стало важливою подією як для розвитку картографії, так і для європейського світогляду, хоча й підкріплювало хибну ідею про те, що Індійський океан не мав сполучення з Атлантичним.

У зв'язку з цим, окремої згадки в історії морської картографії XVI ст. заслуговує Герхард Меркатор, знаменитий фламандський картограф, який вперше застосував рівнокутну циліндричну проекцію при складанні навігаційної карти світу на 18 аркушах (1569) з використанням нового на той момент способу зображення координатної сітки (паралелей і меридіанів), що

стало революційним методом відображення Землі. Проекція Меркатора залишилася універсальною і використовується для картографування морських навігаційних і аеронавігаційних карт. Серед інших його здобутків варто відзначити карту світу (1538), на якій він вперше в Європі показав місцезнаходження Антарктиди та прилеглі акваторії (південь Атлантичного та Індійського океанів) [7].

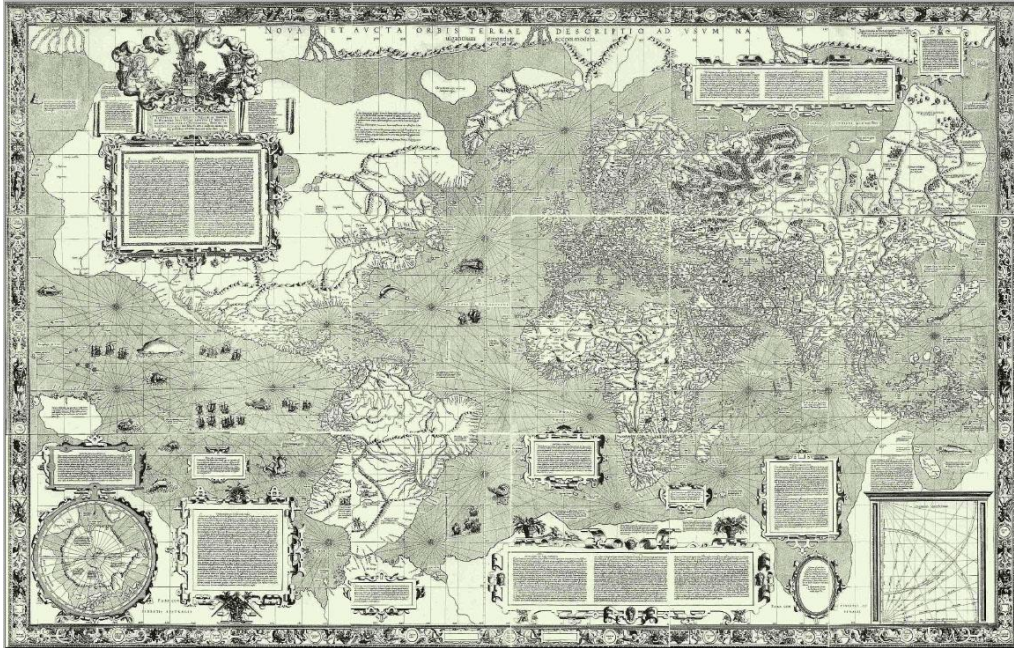


Рис. 1.5. Карта світу Меркатора (1569). (Джерело-Wikipedia)

Ця епоха також відзначена стрімко збільшеним числом океанічних плавань, які сприяли отриманню нових знань про Світовий океан, зокрема, було встановлено єдність та гідрографічна пов'язаність всіх океанів у єдиному Світовому океані. Проте, вивчення глибин і абиссальей досі переважно обмежувалося прибережним мілководдям і шельфової зоною, доступною для безпосередніх плавань на доступних на той час судах. Технічних засобів для виміру глибин у відкритому океані досі немає. Цей період також відзначений морською картографією, що активно розвивається. Так, на картах з'являються перші позначки глибин, 1684 р. П. Брюнс вводить у картографію поняття ізоліній (горизонталі).

Турецький (османський) картограф, адмірал і мореплавець Пірі-реїс в 1521 склав «Книгу морів»: атлас, що містить понад 100 описів і навігаційних

схем узбереж і портів Середземного моря. Ефективність його карт для навігаційних цілей можна проілюструвати детальністю картографічних елементів: особливо були відзначено навігаційні знаки, небезпечні мілини та рифи, безпечні гавані для стоянок у штормову погоду, джерела прісної води.



Рис.1.6. Портолан османського адмірала Пірі-реїса з зображенням Егейського моря (1528). (Джерело-Wikipedia)

Величезний інтерес вчених викликають документи, складені легендарним Пірі-реїсом, адміралом Османської імперії, що ввійшов в історію як талановитий картограф. Відома карта 1513 року, а також пізніший атлас «Китаб-і-бахріє» - «Книга морів». У видання 1521 року було включено біля 130 документів, що містять описи і схематичні зображення середземноморського узбережжя. Через п'ятнадцять років було випущено розширене видання, кількість карт і документів у ньому перевищила дві сотні.

Карта Пірі-реїсу - одна з перших відомих карт, на якій зображені з достатньою точністю узбережжя як Південної, так і Північної Америки, складена через 21 рік після подорожей Колумба. Карта є збірною працею, під

час виготовлення якої автором використовувалися різні джерела, зокрема античні [8].

1.3. XVIII–XIX ст.: Початок наукового картографування океанів.

На розвиток картографії істотно вплинула низка експедицій XVIII ст. В цей час було здійснено численні географічні експедиції, що значно розширили знання людства про океани нашої планети. Найвідоміші з них - експедиції Джеймса Кука, Російські Камчатські експедиції, експедиція Палласа, Гмеліна, Лепьохіна та експедиція Жана-Франсуа Лаперуза. Ці експедиції сприяли розвитку науки, техніки та знань про географію, геологію, ботаніку, зоологію та інші галузі.

Крім того, також у XVIII ст. голландські та англійські мореплавці почали вивчення Австралії та Нової Зеландії, нанесли на карти багато інших земель.

Одним із кращих англійських мореплавців XVII ст. був Вільям Дампір, який, змінивши багато професій (від китобоя до пірата) у 1697 р. опублікував книгу «Плавання навколо світу», яка принесла йому світову славу. Вона була перекладена на всі основні європейські мови і стала бестселером XVIII ст. Крім побутових та етнографічних описів життя аборигенів далеких екзотичних країн, автор включив у свою книгу розділ про особливості морських вітрів, припливів, течій, сезонів у тропіках. За свої наукові дослідження В. Дампір був прийнятий до Лондонського Королівського товариства. У 1699 р. експедиція під командуванням В. Дампіра обстежила північно-західне узбережжя Австралії. Про цю подорож він розповів читачам у своїй наступній книзі «Подорож до Нової Голландії» [10].

Наприкінці XVIII ст. відбулися ще декілька відомих подорожей навколо світу. До числа таких плавань належить, наприклад, подорож француза Бугенвіля в 1766 р. і англійця Байрона в 1764-1766 роках.

Більш відомі та важливі - плавання Джеймса Кука (1728-1779). Перше з них було здійснене в 1768-1771 рр. на кораблі «Індевор», і в результаті було отримано доказ острівного положення Нової Зеландії, відкриті Великий Бар'єрний риф і східне узбережжя Австралії.

Друге плавання Кука у 1772-1775 рр. на кораблі «Резолюшен» підтвердило гіпотезу про те, що в південних широтах між 40-60 градусами не існує великої суші, яка б безпосередньо переходила в Антарктичний материк (в існування гігантського Південного материка вірили до плавання Кука багато вчених, під впливом Птолемеєвих ідей).

В результаті третьої подорожі Дж. Кука в 1776-1779 рр. на кораблях «Резолюшен» і «Діскавері» до північної частини Тихого океану і до Північного Полярного моря були відкриті Гавайські острови, обстежена частина узбережжя Аляски. Усі три плавання важливі ще й тому, що в них вперше брали участь природознавці різних спеціальностей; вони зібрали науковий матеріал, який залишається цінним і в наш час.

Слід також зазначити, що Кук відрізнявся точністю та акуратністю при складанні карт, якими мореплавці користувалися до другої половини ХІХ століття. Під час цих експедицій він здійснив низку географічних відкриттів, обстежив і наніс на карту маловідомі й рідко відвідувані до нього частини Ньюфаундленду та східного узбережжя Канади, Австралії, Нової Зеландії, західного узбережжя Північної Америки, Тихого, Індійського та Атлантичного океанів [11].

Перша та друга Камчатські експедиції (1733-1741) досліджували північне узбережжя Азії, відкрили мис Челюскін та провели географічне дослідження Камчатки. Наукові експедиції, організовані Російською академією наук, зокрема експедиції Петера-Симона Палласа, Самуїла Гмеліна, Івана Лепьохіна та Йоганна Гюльденштедта, досліджували Східну Європу та Північну Азію, збираючи наукові матеріали.

Тихоокеанська експедиція французького мореплавця Лаперуза (1785-1788) дослідила східне узбережжя Азії та багато островів Тихого океану.

Здійснювалися також численні експедиції по окремих регіонах, наприклад, географічний опис Лівобережжя Дніпра та Північного Причорномор'я Василем Зуєвим, детальний опис Кримського півострова Петром-Симоном Палласом та південноамериканська експедиція Олександра Гумбольдта та Еме Бонплана [10].

Ці експедиції мали великий вплив на розвиток географії, геології, а також на розвиток суднобудування та інженерії, у зв'язку з потребами у нових кораблях та інструментах.

Таким чином, протягом другої половини XVI-XVIII ст., завдяки сміливим експедиціям мореплавців і мандрівників багатьох країн, була відкрита і досліджена більша частина земної поверхні, морів та океанів, які омивають її; були прокладені важливі морські шляхи, які зв'язали материки між собою.

В результаті цих відкриттів розширились зв'язки Європи з країнами Африки, Південної і Східної Азії; вперше були встановлені контакти з Австралією та Новою Зеландією, торгівля набула світового характеру.

Всі ці фактори створили передумови для масового переміщення людей з одних континентів до інших, сприяли становленню маршрутів майбутніх торгових та туристичних шляхів.

До початку XIX ст. в основному завершився процес відкриття населених континентів. Були пройдені і досліджені цілком або в більшій частині свого плину всі значні ріки; були нанесені на карту великі озера, встановлені основні риси рельєфів населених територій.

Окремо слід згадати про важливість організації процесу та технології картоскладання та паперового видання карт, яке цілком ґрунтувалося на даних, отриманих у результаті географічних експедицій того часу. Тобто, загалом, географічні експедиції XVIII ст. були потужним двигуном прогресу у освоєнні земель, картографії та пізнання Землі.

Для XIX ст. насамперед характерне розширення як технічних засобів, і географічного охоплення. Це, звичайно ж, російські навколосвітні експедиції І.Ф. Крузенштерна та Ю.Ф. Лисянського, що стартували 1803 року, та сприяли

освоєнню Антарктиди. Окремо варто згадати географічні дослідження на Далекому Сході і багаторічну кампанію з вивчення Північної Америки (1800-1860 р.р.), яка включала вивчення узбережжя Аляски, гідрологічний режим і гляціологію в північних широтах (період судноплавства, замерзання льодів і ін.) Російські вчені, інженери та мандрівники Ф. Беллінсгаузен та М. Лазарєв відомі своєю подорожжю в Антарктиду (1819), де докладно досліджували о. Південна Георгія, Південні Сандвічеві острови, море Скоша і море Беллінсгаузена, назване на його честь [1].

Завдяки вдосконаленому технічному оснащенню кораблів у ХІХ ст. починаються виміри глибин у відкритому океані. Наприкінці цього періоду з'являються регіональні та оглядові батиметричні карти океанів, що дозволяє визначити варіативність розподілу глибин Світового океану, а також позначити основні морфоструктурні елементи океанського дна: мілину, схил, ложе. У цей же період завдяки старанням дипломатії розвиваються міжнародне співробітництво та регулярні дослідження та картографування океанського дна.

1.4. ХХ ст.: Перехід до сучасних методів картографування.

ХХ століття стало епохою систематизації знань у науках про Землю. У 20-80 рр. ХХ ст. відкриті та нанесені на карти практично всі основні морфоструктури океанічного дна та систематизовані у вигляді Атласів. Систематичне дослідження океану технічно стало можливим із використанням методів дистанційного зондування (ДЗ), застосуванню геоінформаційних систем (далі – ГІС) для обробки, структурування та каталогізації даних, різних інструментів статистичної постобробки та аналізу даних.

Початок ХХ ст. символічно відзначено публікацією 1-го видання знаменитої карти ГЕБКО (GEBCO, General Bathymetric Chart of the Oceans) у 1903 р. На даний момент, ГЕБКО є найбільш авторитетною, точною, дтальною та загальнодоступною (open source) растровою картою батиметричних даних для Світового океану [11].

Розроблена з особистої ініціативи принца Монако Альберта I, ГЕБКО поступово розвинулася у міжнародну наукову ініціативу з вивчення рельєфу дна океану. На даний момент, карта ГЕБКО також включає покриття на наземні території на основі SRTM-15, що дозволяє використовувати її в наукових роботах [13].

SRTM (англ. Shuttle Radar Topography Mission) — міжнародний науковий проект зі створення топографічної цифрової моделі висот Землі у майже глобальному масштабі. Для створення найбільш повної цифрової топографічної бази Землі, до запуску ASTER GDEM в 2009 році, SRTM складалася з даних, отриманих спеціально модифікованою радарною системою, яка пролетіла на борту Space Shuttle Endeavour під час 11-денної місії STS-99 у лютому 2000 року [14].

Радарна топографічна зйомка охопила більшу частину території земної кулі, крім найпівнічніших (>60), найпівденніших широт (>54), і частину світового океану була здійснена двома радіолокаційними сенсорами SIR-C і X-SAR, в оезультаті проекту було зібрано більше 12 терабайт даних. Обробка отриманої інформації триває, але певна її кількість вже доступна користувачам.

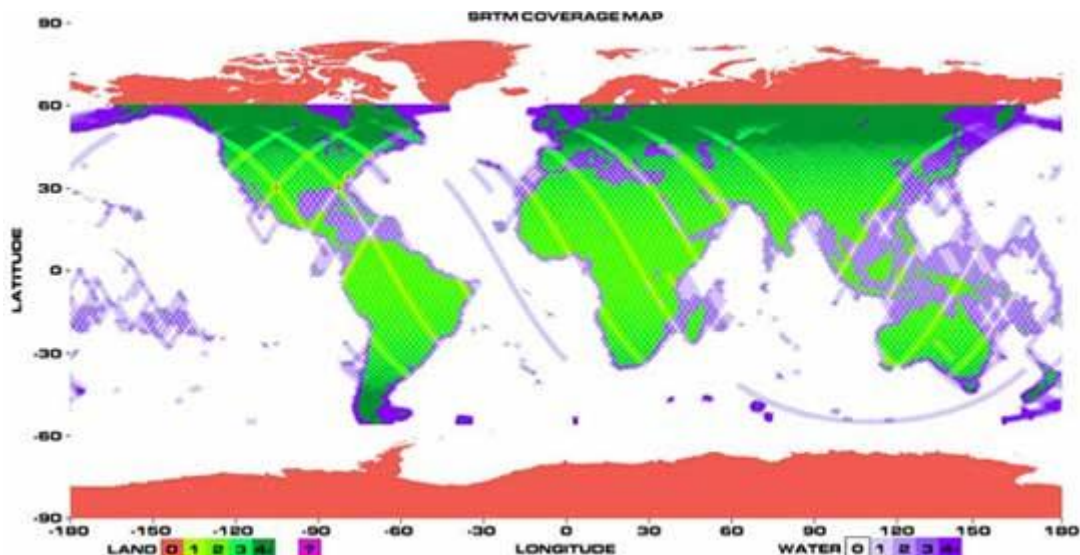


Рис. 1.7. Схема покриття Землі зйомкою SRTM.

(Джерело- <https://gis-lab.info>)

Безперечно, ХХ ст. характеризується значним технічним прогресом. Це і принципово інше оснащення та влаштування кораблів, їх комп'ютеризація

починаючи з 1970-х років., розвиток портативних комп'ютерів, автоматизація обробки даних, включаючи ехолотування морського дна та стрімкий розвиток принципів дистанційного зондування Землі (далі - ДЗЗ), пов'язаних із освоєнням космосу та аерокосмічної зйомки. Здавалося, що більша частина поверхні Землі вже відкрита, опубліковано детальну топографічну зйомку у відкритому доступі (растрові сітки SRTM, GEBCO для картографування Землі з 15-секундною роздільною здатністю).

Для пізнання Світового океану в ХХ ст. почали активно використовуватися геоінформаційні системи (далі - ГІС) та цифрові дані ЦМР (Цифрова Модель Рельєфу (DTM) відображає висоту поверхні землі, розташування та форму ландшафтних перешкод без урахування рослинності, будівель та інших штучних об'єктів, яка створюється на основі обробки та дешифрування матеріалів ДЗЗ).

Розвиток аерокосмічної області надав нові можливості для зйомки Землі з космосу, наприклад, методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Це включає аеро- та космічні знімки середньої та високої роздільної здатності. Якщо знімки середнього дозволу придатні, переважно, для дрібномасштабного картографування Землі з метою оглядового моніторингу (наприклад, метеорологічні дослідження), то знімки з високою роздільною здатністю придатні для точного картографування океанського дна.

Завдяки технічному прогресу в ХХ ст. дослідження Світового океану перейшли на новий рівень: від вимірів глибин до більш повного та науково обґрунтованого вивчення морфології дна. На сьогоднішній день існує безліч спроб картографування та моніторингу морського дна, галузь картографування океанів постійно розвивається.

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ МЕТОДИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ

Технології спостереження за океаном та їх використання для картографічних цілей можуть включати в себе різні інструменти та методи. Серед них слід відзначити:

- супутниковий та аерокосмічний моніторинг: для дистанційного зондування океанів використовуються за допомогою спеціальних приладів, таких як радари і сенсори, які застосовуються при відстеженні змін у стані морської поверхні (температура, солоність, течії та вітри);
- гідрографічні дослідження: буї та плавучі платформи можуть бути встановлені на поверхні океану для безперервного моніторингу. Вони можуть оснащуватися датчиками для вимірювання різних параметрів морської поверхні, а також для збору даних про стан та екологічний стан океану;
- автономні підводні апарати (далі – АПА) можуть бути використані для дослідження і спостереження за океаном. Вони можуть оснащуватися камерами, датчиками та іншими інструментами для збирання даних про морське середовище та його стан;
- гідроакустичні дослідження: вивчення властивостей звукових хвиль у воді, що дозволяє виявляти та досліджувати підводні об'єкти та спостерігати за особливостями океанського середовища;
- застосування геоінформаційних систем: використання спеціалізованих програмних продуктів для аналізу та обробки великих обсягів даних, отриманих з різних джерел, дозволяє створювати детальні карти, аналізувати процеси та прогнозувати зміни.

2.1. Дистанційне зондування океанів

Термін «дистанційне зондування» використовується для визначення ряду методів отримання інформації про об'єкти на відстані різними способами – за допомогою звукових чи електромагнітних хвиль. Звукові хвилі, наприклад

сонари чи акустична томографія, надають багату інформації про підводні об'єкти та форми морського дна, чи внутрішню структури водних мас.

Зазвичай, під поняттям дистанційне зондування загалом розуміється отримання інформації про поверхню землі чи океану з використанням електромагнітних хвиль.

При цьому, дистанційне зондування океану - це безконтактний метод отримання інформації про океан за допомогою датчиків, розташованих на супутниках або літаках, що використовується для вивчення океанських течій, температури, концентрації хлорофілу, і інших характеристик. Супутники та літаки, оснащені різноманітними пристроями (радарами, спектрометрами, гіперспектрометрами), збирають дані про океан, такі як температура поверхні, висота хвилі, концентрація різних речовин, вимірювання напруженості вітру і інше. Використання дистанційного зондування океану дозволяє охопити великі площі, збирати дані в широкому діапазоні частот, а також повторювати спостереження з високою частотою.

До матеріалів дистанційного зондування відносяться будь-які дані, отримані за допомогою сенсорів, сканерів, оптичних пристроїв, радарів та фотоапаратів установлених на супутниках, літаках і т. ін. Спектр даних, як і сфери їх використання, можуть бути надзвичайно широкими. Сучасні супутники надають можливість отримувати дані з детальністю місцевості до 1 метра в термін від 24 до 48 годин [16].

Серед основних напрямків застосування даних ДЗЗ в цілях вивчення Світового океану:

- моніторинг (довгострокової) динаміки кліматоформуючої компоненти з метою зниження невизначеностей кліматичних моделей: аналіз великомасштабної циркуляції, вивчення системних явищ (El Niño), динаміка процесів обміну тощо;
- вивчення поточної варіабельності динамічних процесів (течії, припливи, хвилі, турбулентність, структура водних мас, розподіл фізичних і хімічних властивостей середовища – температура, солоність, прозорість)

для оцінка екологічної безпеки прибережних зон, контролю та прогнозування надзвичайних ситуацій;

- оцінки ресурсного потенціалу територій: визначення та оцінка геологічних ресурсів (пошук родовищ корисних копалин та оцінка запасів) та біологічної продуктивності океану (продуктивність, розподіл промислових об'єктів та кормової бази);
- дослідження полярних зон;
- реєстрації забруднень.

Для досягнення визначених задач використовують велику кількість сенсорів, встановлених на кількох десятках супутників - як спеціалізованих, так і багатозадачних.

Виходячи із такого переліку процесів, їх динаміку можна контролювати за допомогою методів ДЗЗ та моделювати під відповідні завдання.

платформа	власник	сенсор	запуск
NOAA-19, /MetOp-A	NOAA/USA	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	2009
EOS PM (Aqua)	NOAA/USA	MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)	2002
EOS PM (Aqua)	NOAA/USA	AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer - EOS)	2002
OrbView-2	NASA/USA	SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)	1997
TOPEX/Poseidon Jason, Seasat	NASA/USA CNES	Radar Altimeter	1992

Рис.2.1. Перелік основних приладів для дослідження океану. (Джерело-
<https://geo-aerospace.blogspot.com>)

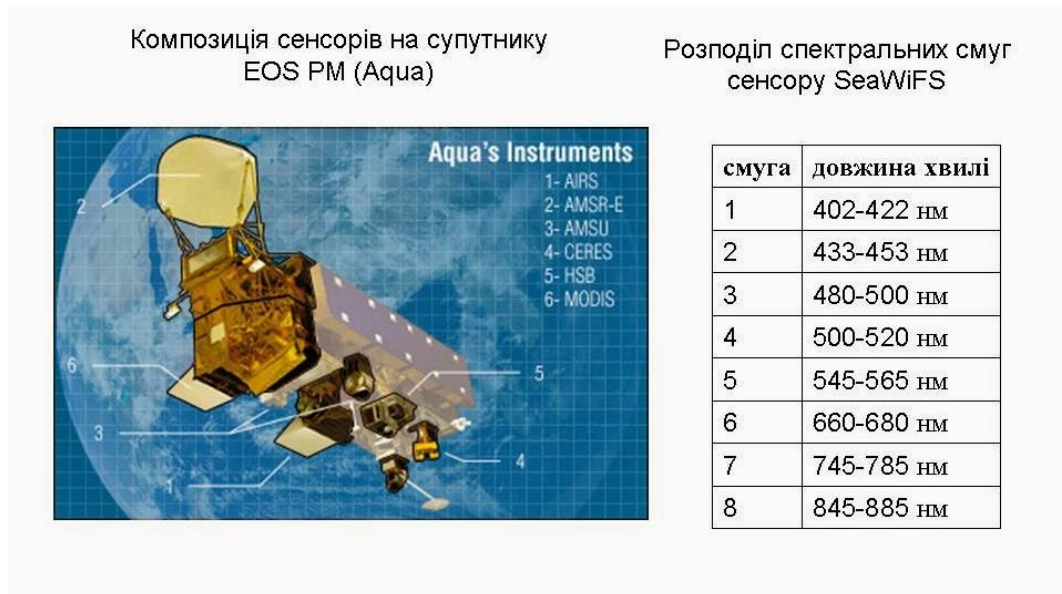


Рис.2.2. Характеристика основних приладів для дослідження океану. (Джерело-
<https://geo-aerospace.blogspot.com>)

Втім, оцінка висоти поверхні і контроль поверхневих течій здійснюється за допомогою радіолокаційних методів. При цьому велику роль відіграють калібрувальні роботи. Для калібрування даних місії Торех, наприклад, використовувалося понад 2200 буїв. Це дозволило отримати дані високої достовірності.

Дані в ближньому інфрачервоному та тепловому діапазонах є корисними, разом з оптикою, для вирішення задач контролю прибережних процесів та динаміки поверхні.

Вивчення системних явищ методами ДЗЗ дозволило суттєво вдосконалити кліматичні моделі і покращити наше уявлення про океанську і атмосферні складові кліматичної системи.

Розподіл температур морської поверхні є важливою задачею як з точки зору задач кліматичного моніторингу, так і для аналізу ресурсів океану.

Температура морської поверхні отримується з часовим розрізненням від 6 годин і просторовим від 500 метрів. Це дозволяє будувати детальні карти і рахувати точні кількісні моделі різноманітних явищ: переносу енергії, випаровування, біологічної активності, кліматичних процесів різного масштабу тощо.

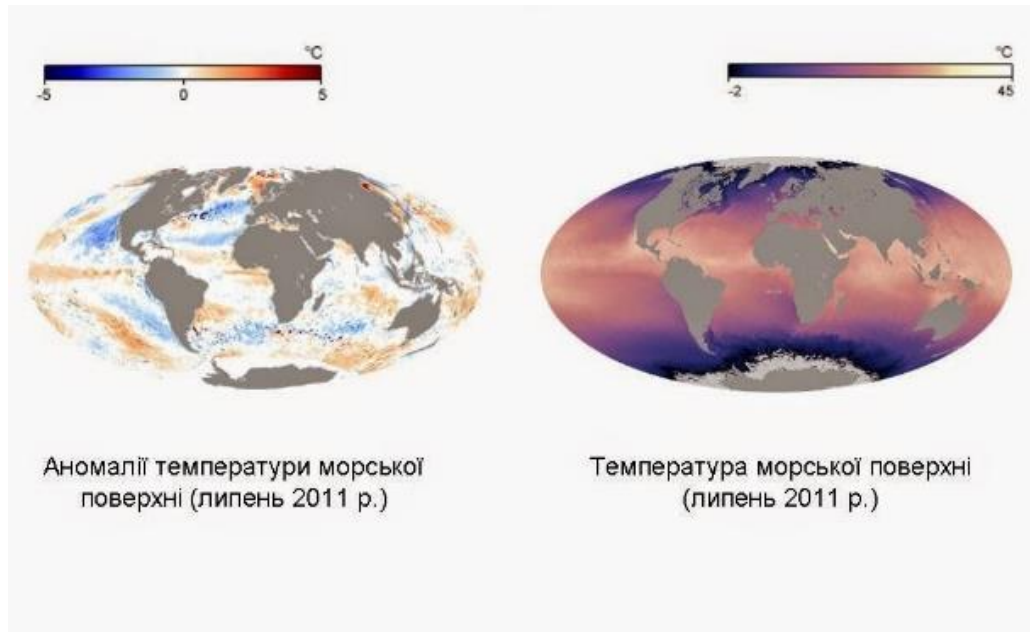


Рис.2.3. Аналіз розподілу теператур морської поверхні. (Джерело-<https://geo-aerospace.blogspot.com>)

Щільність поверхневого шару є важливою змінною моделей океанської циркуляції. Цей показник може успішно вимірюватися за допомогою методів ДЗЗ.

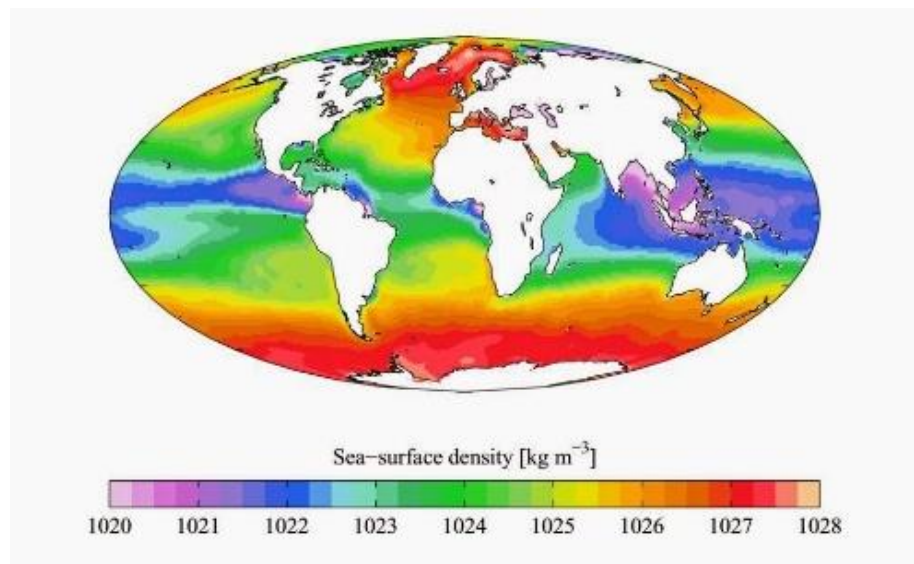


Рис. 2.4. Вивчення фізичних властивостей поверхневого шару: щільність (Джерело-<https://geo-aerospace.blogspot.com>)

Одна з найскладніших проблем в галузі вивчення океану - вивчення зони взаємодії "суходіл-океан". В першу чергу тому, що не існує коректної узагальненої моделі цих процесів. Однак окремі процеси можуть вивчатися за аналізом просторово-часових розподілів певних показників.

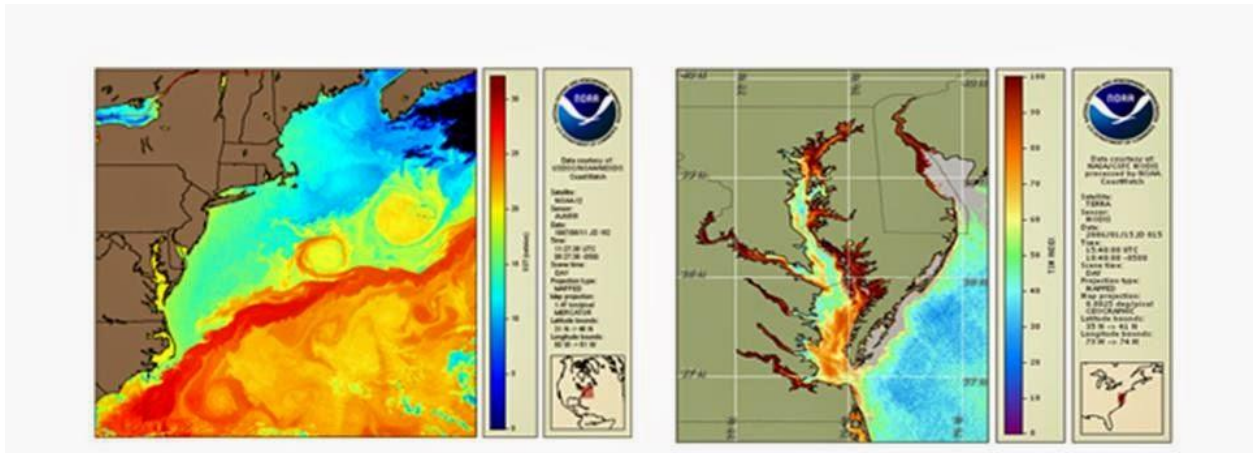


Рис.2.5. Вивчення зони взаємодії «суходіл-океан». (Джерело-<https://geo-aerospace.blogspot.com>)

Оцінка фізичного і хімічного складу морського середовища за даними ДЗЗ в оптичному діапазоні дозволяє вирішувати багато важливих прикладних задач. Зокрема, задачу оцінки виносу твердих речовин річками. При цьому, зважаючи на антропогенні і техногенні навантаження на річкові басейни, ця задача може бути віднесеною до питань екологічної безпеки.

Оцінка показників біологічної активності зводиться до визначення концентрації хлорофілу в поверхневому шарі (для коректності це має бути зроблено паралельно з вимірюванням температури поверхні). Ці показники важливі для вивчення біологічних ресурсів океану (кількість кормової бази для промислових видів), біологічної безпеки (цвітіння води і розповсюдження збудників захворювань), кліматичного моніторингу (аномалії температури і солоності) тощо.

Окремою задачею є реєстрація забруднень. Це може бути здійснено як в оптичному, так і в радіодіапазоні.

Вивчення геологічних ресурсів океану проводиться на основі наборів проблемно-орієнтованих моделей, які забезпечують набори інформаційних

ознак - пошукових ознак певних типів ресурсів в морському середовищі та/або на морській поверхні. Ці пошукові ознаки використовуються в ДЗЗ для вирішення великого спектру задач щодо вивчення Світового океану.

З 1970-х років дистанційні технології зондування океанів все частіше використовуються для проведення підводних зйомок. У гідрографічній зйомці використовують кілька методологій, від прямих методів, таких як забортні штанги, до більш складних методів, таких як супутникова батиметрія і альтиметричний радар. Зростання потреб у даних, які стають все більш точними та доступними з швидкою обробкою, нещодавно призвела до зусиль з розробки датчиків та альтернативних методів вимірювання глибини у всьому світі.

Платформи батиметричної зйомки включають надводні судна, підводні платформи, літаки та супутники. Судна варіюються від великих кораблів, які у морських зйомках, до безпілотних суден (дистанційно керованих чи автономних). Найчастіше використовувані підводні платформи - це автономні підводні апарати (AUV) і дистанційно керовані підводні апарати (ROV), обидва з яких використовуються для картографування з високою роздільною здатністю в глибоких водах і можуть керуватися надводним судном. На цих платформах краще використовувати акустичні датчики, хоча AUV і ROV тепер також оснащені системами лазерного сканування (або лідарами) і фотокамерами з високою роздільною здатністю.

Для батиметричного картографування використовуються також літаки з екіпажем і без екіпажу. Ці платформи оснащені пасивними датчиками, які дозволяють робити оцінки глибини спектрального відгуку затопленого дна, і активними датчиками, такими як батиметричний лідер. Так само супутники також функціонують як батиметричні платформи для зйомки або за рахунок використання орбітальних зображень (батиметрія за спектральною характеристикою), або за рахунок використання альтиметричних радарів (активні датчики), як у проекті «Морське дно 2030». Існують також гібридні

рішення, які дозволяють отримувати батиметричні дані за допомогою ехолота, що буксирується безпілотним літальним апаратом (UAV), або інтегрованим наземним проникаючим радаром (GPR). Також все частіше використовуються платформи на базі безпілотних надводних апаратів (USV).

2.2. Гідроакустичні методи картографування

Для вимірювання глибин зазвичай застосовують активні сонари (гідролокатори) та ехолоти. Сонари використовують звукові хвилі для визначення відстані до об'єктів під водою, а також для виявлення підводних об'єктів на великих відстанях і, як правило, кріпляться до суден або кораблів. На відміну від ехолотів, які являють собою пристрої, які посиляють вертикальні звукові імпульси у воду та аналізують час їхнього повернення, щоб визначити глибину водойми або рельєф дна.

Між 1920 та 1930 роками у світі були розроблені та впроваджені однопроменеві ехолоти (ОПЕ), які використовують звук для вимірювання глибини безпосередньо під зондувальною платформою. Виконуючи серію галсів із заданим кроком, ОПЕ значно збільшили швидкість зйомки, дозволяючи збирати більше даних порівняно з прямими методами. Однак цей метод, як і раніше, залишав прогалини в даних про глибину між знімальними галсами. У період з 1950-х по 1980-і роки технологічні розробки призвели до появи систем гідролокатора бічного огляду (ГБО) і багатопроменевих ехолотів (БПЕ) або формувачів променя. Технологія ГБО запропонувала якісні засоби отримання звукового еквівалента аерофотознімку та покращила здатність ідентифікувати затонули кораблі та перешкоди. Це виявилось чудовою підмогою для однопроменевих зйомок, оскільки дозволяло шукати підводні об'єкти між навігаційними галсами. БПЕ дозволили отримати кількісну інформацію про глибину майже для 100% дна, вкритого водою [18].

ОПЕ ідеально підходить для зйомки на мілководді і дуже економічний. Планування, зйомка, обробка та аналіз дуже прості і існує величезний спектр

обладнання, що працює на низьких частотах (12-50 кГц), високих частотах (100-700 кГц) і навіть на двох частотах (24 кГц/200 кГц, 33 кГц/200 кГц, 50 кГц/200 кГц та ін.).

БПЕ традиційно вимірює глибину за допомогою процесу електронного формування променів. Як альтернатива, деяке обладнання використовує інтерферометрію для вимірювання глибини. Такі системи широко відомі як інтерферометричний сонар, інтерферометричний багатопроменевий ехолот, інтерферометричний гідролокатор бокового огляду, батиметричний гідролокатор бокового огляду або фазово-різницевий батиметричний сонар (PDBS).

Використання PDBS має кілька переваг, основною з яких є ширина області покриття, яка в деяких випадках у 12 разів перевищує глибину надіру (вертикальний напрямок вниз). Це означає, що на глибині 4 м PDBS повинен охоплювати діапазон, близький до 50 м, в той час як стандартний БПЕ при 120-градусній смузі охоплення на цій глибині матиме ширину смуги 12-16 м. Фактично технологія PDBS існує вже багато десятиліть, але лише недавно було вирішено деякі експлуатаційні та технічні проблеми. Можна зробити висновок, що основною перевагою систем цього є більш широка смуга охоплення, що призводить до значного збільшення продуктивності на мілководді. Проблема, яку ще потрібно вирішити, - це теоретична модель невизначеності (апріорі) PDBS [18].

За останні кілька років також відбулися покращення у сонарі із синтетичною апертурою. Компанія Kongsberg нещодавно випустила систему HISAS 1032, яка при швидкості 2,5 вузла може генерувати ширину смуги огляду приблизно 1000 м та зображення з роздільною здатністю 5 см. Що стосується батиметрії, то HISAS 1032 продемонстрував значне покращення порівняно з попередньою версією, в якій було отримано роздільна здатність 50 см, а тепер роздільна здатність становить 20 см. Система здатна забезпечувати покриття зі швидкістю приблизно 4,5 км²/год, що також є великим показником у порівнянні з попередніми версіями.

Нарешті, у всіх випадках основним недоліком зйомок за допомогою акустичних систем є високі витрати, пов'язані з суднами з екіпажем. На мілководді завжди потрібно більш високий рівень деталізації, що відображається у більшій кількості знімальних галсів. З іншого боку, на глибокій воді проблема полягає у більш високих витратах через використання великих кораблів з екіпажем. Навіть під час використання автономних надводних апаратів, судна необхідні управління безпілотної платформою і забезпечення акустичного позиціонування під час використання AUV [18].

Незважаючи на сильне згасання електромагнітних хвиль у воді, видима частина спектру може використовуватися для батиметричного картографування, особливо там, де акустичні методи мають обмеження. У цьому контексті глибини можуть бути виміряні або з використанням пасивних методів, які вимірюють тільки природне світло, відбите від дна (спектральна батиметрія), або з використанням активних методів, які використовують лазерні сканери для вимірювання відстані до морського дна. Велика перевага цих методів полягає у досяжній продуктивності (рис. 2.6.).

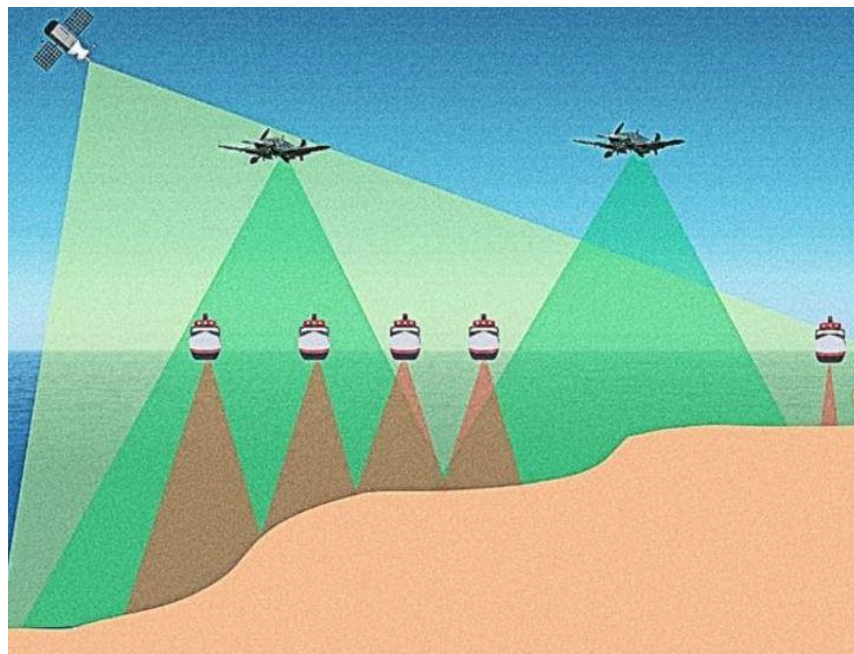


Рис.2.6. Різні методики отримання батиметрії, що ілюструють високу продуктивність оптичного дистанційного зондування. (Джерело - <http://www.demetra5.kiev.ua>)

Спектральна батиметрія є методом з використанням датчиків, вбудованих у супутники або літаки з екіпажем або без екіпажу, заснований на тому принципі, що частина сонячного світла, що досягає підводного дна, відображається і може бути виявлена цими датчиками, які використовують це випромінювання для вимірювання глибини та отримання батиметричних карток.

Принцип використання орбітальних знімків та аерофотознімків для батиметричного картографування відрізняється від того, що застосовується при використанні активних датчиків. Супутникова батиметрія ґрунтується на трьох методах: емпіричних підходах, емпірично налаштованих фізичних підходах та підходах з оптимізованою фізичною інверсією.

Емпірично налаштовані фізичні підходи засновані на фізиці і дотримуються принципу, згідно з яким інтенсивність променистої енергії, що відбивається водним стовпом і приймається датчиком, є функцією глибини води; тобто частиною сонячної радіації, що проникла у товщу води. У більшості випадків використовується Нормалізований різницевий індекс води (NDWI) [18].

Зазначені підходи є новітнім методом (методом машинного навчання) і ще не набули широкого поширення. У підходах з оптимізованою фізичною інверсією застосування моделі потребує специфікації низки оптичних властивостей води та морського дна, але для калібрування не потрібні дані на місці.

Батиметрія спектрального відгуку дозволяє швидко збирати дані на великих площах з невеликими витратами, але максимальна глибина становить приблизно 30 метрів у чистій воді і набагато менше в каламутній воді. Крім того, інформація виходить з точністю, несумісною з поточними вимогами, що обмежує її використання з метою планування, розпізнавання та моделювання навколишнього середовища. Тому аерофотограмметричні та орбітальні зображення в основному використовуються як інструмент розпізнавання та планування в районах, де батиметрична інформація відсутня або недостатня.

Однак зображення з орбітальних та бортових датчиків дуже корисні для окреслення берегових ліній та картографування портових споруд, а також як допомога при навігації.

Батиметричний лазерний сканер (лідар) є найбільш продуктивним методом батиметричного картографування на мілководді (до 50 м), оскільки він зазвичай веде зйомку зі швидкістю 180 вузлів, а смуга охоплення більша, ніж у більшості сучасних БПЕ та PDBS. Подібно до акустичних систем, лідар визначає глибину побічно, використовуючи час проходження лазерного імпульсу. Ці системи були представлені в середині 1960-х років як інструмент для топографічного картографування. Під час польотів над озерами та прибережними районами дослідники помітили наявність подвійного ехосигналу, з чого зробили висновок, що лазер проникає у воду та може бути використаний для батиметричного картографування [18].

Основний принцип його роботи полягає у випромінюванні двох лазерних імпульсів, перший в інфрачервоному діапазоні (~1064 нм), що дозволяє виявляти поверхню, оскільки проникнення у воду практично дорівнює нулю, а другий у зелено-синьому діапазоні (~532 нм), які, незважаючи на високий рівень розсіювання може досягати дна під водою. Як і у випадку з ехолотом, записується часовий ряд інтенсивності світла (замість акустичної інтенсивності). Типовий інтервал сканування становить 1 нс (10^{-9} с), на відміну від ~1 мс до 10 мкс (від 10^{-3} з до 10^{-5} с) для акустичних сигналів. Оминаюча ехосигналу або форма хвилі потім використовується для оцінки глибини.

Проникнення зазвичай утричі перевищує глибину, що спостерігається з диском Секкі (прилад для вимірювання відносної прозорості води), і визначається на місці. Інший метод, технічно ефективніший, полягає у визначенні коефіцієнта згасання для використовуваної довжини хвилі, який описує експоненційне згасання світла з глибиною. Більш сучасні системи здатні забезпечити точність по вертикалі та горизонталі близько 20 см на відстані 1 м.

У ХХ ст. основною метою радіолокаційної альтиметрії було вимірювання поверхні океану, що максимально близька до геоїду. Таким чином, за минулі

роки було виконано кілька альтиметричних місій для задоволення потреб у галузі геодезії, океанографії та континентальної гідрології. Прикладами цього можуть бути місії Geosat у 1985 році та ERS-1 у 1991 році, в результаті яких були отримані якісні моделі поверхні океану. Відомо, що на поверхні океану є невеликі западини, що імітують топографію під водою. Це відбувається через додаткове гравітаційне тяжіння особливостей морського дна, таких як підводні гори, що викликають коливання сили тяжіння, які, у свою чергу, викликають невеликі коливання висоти поверхні океану. Ці западини можуть бути нанесені на карту альтиметричним радаром, встановленим на супутнику. У глибоких океанських басейнах, де донні відкладення тонкі, а морфологія проста, дані альтиметричного радара можна використовувати навіть для прогнозування поточної батиметрії [18].

На континентальних платформах (де товщина донних відкладень більша і поширені традиційні батиметричні зйомки) гравіметричні методи, використовувані з метою оцінки глибини, мають обмежену цінність. Однак, разом з гравіметричною інформацією, отриманою з супутників, було отримано багато батиметричних даних, що дозволило провести оптимальну інтерполяцію глибин.

Таким чином, інформація, отримана за допомогою альтиметричних радарів, недостатньо точна для перевірки ризиків для судноплавства, а також не працює на мілководді, де інші методи (наприклад, лідарні) дають більш надійні та кращі результати. Крім того, дані, отримані тільки за допомогою радара, не можуть дати справжню глибину і необхідна кореляція з батиметричними даними, як це робиться в методиці вимірювання батиметрії спектрального відгуку.

Сучасні методи батиметрії поряд із дослідженнями підводного рельєфу також є корисними при вивченні геологічних та геоморфологічних процесів дна світового океану, дослідженням геодинамічної активності (підводні вулкани та землетруси). Таким чином, отримання та аналіз батиметричних даних мають найважливіше значення у дослідженні світового океану, а також у

забезпеченні безпеки морської та річкової навігації. Гідроакустичне спостереження є однією з технологій, які дають змогу отримати детальну інформацію про стан морського середовища.

Підводний апарат (а. Submarine unit; н. Unterwassergerat; ф. Appareil sous-marin; і. Equiparo submarino) - судно або технічний пристрій, що переміщається в товщі води і (або) по дну і використовується для наукових досліджень, пошукових і аварійно-рятувальних операцій, а також виробничих робіт під водою. Зокрема, підводні апарати застосовуються для проведення геологічних і геофізичних вимірювань поблизу океанського дна з метою вивчення геологічної будови дна океану, складу створюваних його порід, пошуку і розвідки родовищ корисних копалин в світовому океані, а також при експлуатації родовищ, для огляду і ремонту бурових платформ і т.п. [20].

Підводні апарати поділяються на 3 основні класи: населені нормобаричні, населені гіпербаричні і незаселені (телекеровані). Підводні апарати класифікуються також за типом виконуваних робіт - на гідрофізичні, геологічні, пошукові, спеціалізовані робочі, оглядові та інші: за характером переміщень у водному середовищі - на буксирувані, плаваючі, що переміщаються (в т.ч. крокуючі) по ґрунту; за способом подачі електроживлення - на прив'язні, автономні і комбіновані; по глибині проведення робіт - для малих глибин (до 600 м), середніх глибин (до 2000 м) і глибоководні (понад 2000 м).

До нормобаричних населених підводних апаратів відносяться прив'язні і автономні дослідницькі та транспортні засоби, в герметичному корпусі яких підтримуються параметри дихальної суміші, близькі до нормативних атмосферних. Прикладом апаратів цього типу є підводний апарат "Пайсіс", призначений для океанологічних (в т.ч. геологічних) досліджень (рис. 2.7.).



Рис. 2.7. Підводний апарат «Пайсіс». (Джерело-Wikipedia)

Він складається з міцного металевого корпусу (населеного відсіку), навколо якого на трубчастій рамі змонтовані окремі елементи різних бортових функціональних систем: рушійно-рульового комплексу, службовця для пересування і маневрування підводного апарату на поверхні і під водою; електроенергетичної установки; системи занурення і спливання, що забезпечує значну зміну плавучості шляхом заповнення водою або продувки повітрям цистерн головного баласту; зрівняльно-дифферентної системи, що дозволяє змінювати в широких межах кут нахилу (диферент), швидкість занурення і спливання підводного апарату аж до зависання апарату на обраному робочому горизонті. Апарат забезпечений також системами: гідравліки, що служить для приводу забортного навісного обладнання і маніпуляторів; наукової інформації, що включає в себе датчики океанологічних параметрів, що реєструє апаратуру і фототелевізійна комплекс; зв'язку і навігації, необхідної для визначення місцезнаходження апарату і передачі інформації з підводного апарату на поверхню і назад. Склад повітряної суміші, температура і вологість в жилному відсіку підтримуються системою життєзабезпечення. Для надання необхідної зовнішньої форми апарату служить знімний легкий корпус. Спрощеною модифікацією нормобаричних населених підводних апаратів є батисфери, спускаються на тросі з надводного судна і

гідростат - товстостінні спостережні камери, здатні витримувати тиск великих глибин, з ілюмінаторами і вхідним люком, оснащені світильниками, фотокіноапаратурою, телефонним зв'язком і вимірювальними приладами. Гідростат на відміну від кулястих батисфер має циліндричну форму зі сферичними днищами.

Для досягнення граничних глибин (до 11 км) використовуються батискафи (рис. 2.9.) - населені підводні апарати, що складаються з легкого сталевго корпусу-поплавка, наповненого для створення позитивної плавучості бензином, і жорстко з'єднаної з ним батисфери (гондоли), в якій розміщується екіпаж, наукові прилади та обладнання.

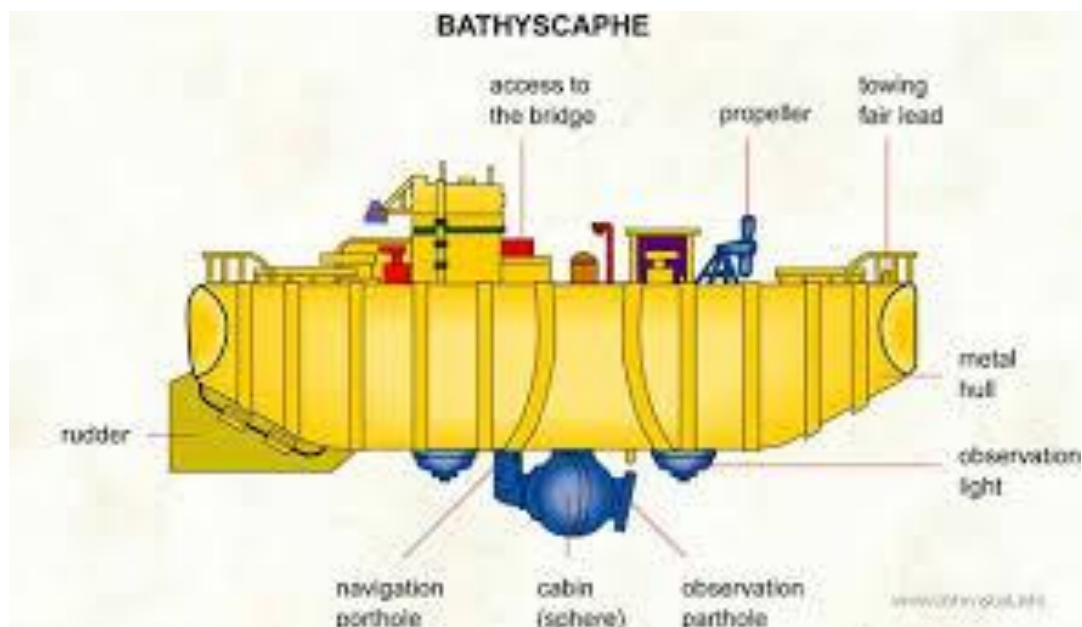


Рис.2.9. Схема побудови батискафа. (Джерело-Wikipedia)

Спливання і занурення батискафа забезпечується за рахунок скидається змінного баласту. Однак, незважаючи на можливість досягнення граничних глибин, батискафи мають малу маневреність, а також значну масу і габарити, що викликає проблему транспортування підводних апаратів на великі відстані.

У гіпербаричних населених підводних апаратах акванавт виконує роботу безпосередньо у водному середовищі в умовах підвищеного тиску. До гіпербаричних відносяться населені підводні апарати з виходом водолазів в воду, в т.ч. мобільні підводні технічні бази та лабораторії.

Основні переваги цих апаратів - можливість доставки акванавтів на значні відстані від місця занурення і забезпечення тривалої їх роботи під водою, а також можливість стикування з камерами підводних технічних комплексів і транспортування в них назад людей і устаткування. Конструктивно такі підводні апарати багато в чому аналогічні нормобарической населеним апаратів і відрізняються від них наявністю водолазного відсіку, призначеного для транспортування водолазів під тиском, що відповідає тиску навколишнього середовища на робочому горизонті; балонів для зберігання газових сумішей системи життєзабезпечення водолазів, великою кількістю навісного обладнання та інструменту, а також джерелами енергії значної потужності.

До нежилим підводним апаратів відносяться занурюються під воду і керовані з поверхні технічні засоби, оснащені спеціальним обладнанням, приладами та інструментами, що відповідають характеру виконуваних завдань. У цей клас входять різноманітні за призначенням і конструкції прив'язні, буксируються автономні телекеровані підводні апарати. Типовим представником цього класу є прив'язний телекерований підводний апарати "СФ-1", що складається з прямокутної трубчастої рами, на якій встановлені цистерни позитивної плавучості, дифферентна цистерна, балон зі стисненим повітрям для продувки баластно-дифферентної системи [20].

У центральній частині рами змонтовані контейнери з електронною апаратурою і станцією гідравліки. Комплекс включає в себе гвинти горизонтального і вертикального ходу. Апарат оснащений буровим блоком, батометрами, фототелекамерами, датчиками фізичних і хімічних параметрів води, маніпулятором. Сигнали з навігаційних приладів (гірокомпас, лага, ехолота і ін.), Встановлених на підводному апараті, по кабелю надходять в ЕОМ, розташовану на щогло забезпечує судні, що дозволяє управляти апаратом з великою точністю. Буксировані телекеровані підводні апарати зазвичай не мають рушійних комплексів і дифферентної систем, а їх переміщення здійснюється за рахунок ходу судна-носія. Такі підводні апарати в основному

являють собою гідроакустичні й (або) фототелевізійні комплекси, призначені для зйомки і картографування донної поверхні. Автономні телекеровані підводні апарати (рис. 2.10.) відрізняються відсутністю кабельної лінії зв'язку і електропостачання з судна-носія.



Рис.2.10. Автономний телекерований підводний апарат. (Джерело- Wikipedia)

При цьому керуючі та інформаційні сигнали передаються по гідроакустичному каналу. Такі підводні апарати зазвичай складаються з корпусу обтічної форми з розміщеними всередині блоками навігаційних приладів і управління рушійно-рульового комплексу, джерелами струму відносно великий енергоємності і розвиненими бортовими системами збору і обробки інформації.

Телекеровані підводні апарати зазвичай мають малі масу і габарити, володіють необмеженим часом роботи під водою і високою маневреністю. Населені підводні апарати на відміну від телекерованих більш універсальні за призначенням, дозволяють проводити унікальні візуальні спостереження і відбір великої кількості зразків донних порід.

Для вивчення озер, океану і морського дна з метою наукових та прикладних досліджень використовуються автономні підводні апарати. Великий набір сенсорів може розташовуватись на АПА для заміру концентрацій різних елементів або компонентів, поглинання чи відбиття світла

водою, наявність мікроскопічного життя. Крім того, АПА може слугувати транспортним засобом для різних спеціальних приладів (ехолотів, сонарів, датчиків).

2.3. ГІС-технології у створенні карт Світового океану

Геоінформаційна система (ГІС) - це система, що використовується для створення, обробки та відображення геопросторових даних. ГІС відіграють важливу роль у створенні карт Світового океану, дозволяючи аналізувати та візуалізувати різноманітні дані, пов'язані з океаном, створювати картографічні продукти, прогнозувати зміни.

Основні аспекти використання ГІС картографуванні океану:

- збір та управління даними: ГІС дозволяє збирати, зберігати та організовувати дані про океан, такі як географічні координати, висоти, глибини, температура води, розподіл течій та інші.

- створення цифрових моделей океану: ГІС може використовуватися для створення тривимірних моделей океанського дна, що дозволяє краще візуалізувати його рельєф та підводні об'єкти.

- просторовий аналіз: ГІС дозволяє аналізувати просторові дані, наприклад, вимірювати відстані між різними областями океану, визначати розподіл течій, та прогнозувати можливі зміни.

- візуалізація даних: ГІС дають змогу візуалізувати дані в різних форматах, наприклад, у вигляді карт, діаграм та 3D-моделей, що дозволяє систематизувати дані на картах, утворюючи тематичні карти, що відображають розподіл температур, солоності, глибин, течій, та інших характеристик [21].

За допомогою ГІС можуть створюватися температурні карти (містять візуалізацію температурних градієнтів та розподіл температур в океані), глибинні карти (містять візуалізацію рельєфу океанського дна, визначення місць з великими та малими глибинами), карти течій (містять візуалізацію напрямків та швидкостей океанічних течій, їх впливу на клімат та морські екосистеми, карти розподілу біомаси (містять візуалізацію місць з найбільшою концентрацією планктону, риби та інших морських організмів), карти

моніторингу забруднення (містять візуалізацію забруднених зон, вивчення джерел забруднення та оцінка його впливу на морське середовище) [18].

Слід також відмітити переваги використання ГІС для картографування океанів. ГІС дозволяють [21]:

- легко та зрозуміло візуалізувати складні дані, що робить їх більш доступними для широкого кола користувачів;
- швидко аналізувати дані та отримувати відповіді на різноманітні питання щодо стану океану.
- створювати високоточні та детальні карти, що використовуються для різних цілей.
- здійснювати моніторинг шляхом відстежування змін в океані та прогнозувати можливі наслідки;
- ефективно управляти даними, зберігати їх у зручному форматі та ділитися ними.

Оскільки сучасні комп'ютерні технології на основі ГІС та скриптової техніки замінили трудомістке ручне складання топографічних карт, це значно покращило та розширило можливості побудови тематичних карт завдяки досягнутій автоматизації, машинній графіці та естетиці комп'ютерних карт. Естетика та різноманітність машинної графіки включає багатство колірних палітр, величезну різноманітність лінійних та символічних об'єктів, тонкість, ієрархічність та деталізація шрифтів, гармонійність оформлення легенд та макета карт, розмітка сторінок та загальне дизайнерське оформлення. Всі ці нюанси повною мірою визначаються методами машинної графіки завдяки прогресу людства в галузі комп'ютерних технологій, що суттєво покращує загальний вигляд карт, як батиметричних, так і тематичних, їх читаність, детальність та практичне застосування [21].

Геоінформаційна система OpenSeaMap (OSM) , що являє собою всесвітній проект з відкритим кодом для візуалізації безкоштовної навігаційної бази даних з використанням даних OpenStreetMap, було створено у 2009 році у відповідь на велику потребу у вільнодоступних морських картах. Мета

OpenSeaMap — додати до OSM навігаційну та туристичну інформацію, яка зацікавить моряків, та представити її у приємному та зручному для використання вигляді. Це включає маяки, буї та інші морські знаки, інформацію про порти, ремонтні майстерні, суднове постачання та багато іншого, а також магазини, ресторани та цікаві місця. OpenSeaMap є частиною OpenStreetMap та використовує його базу даних [23].

OpenSeaMap — це безкоштовна морська карта, а також туристична карта суходолу. Базова карта створюється за допомогою Mapnik з використанням даних OpenStreetMap. Ця карта доповнена морськими даними, які також зберігаються в базі даних OSM. OpenLayers використовується для накладання додаткової морської інформації, яку можна відобразити у спливаючому вікні, клацнувши на карті. OpenSeaMap можна переглянути онлайн. У додаток включено портовий лоцманський довідник, Вікіпедію, звіти про погоду, АІС, аерофотознімки, вимірювальні прилади тощо.

Система збирає дані про глибини мілководдя з метою відображення профілю прибережного морського дна.

Геоінформаційна система SonarCharts - це батиметрична карта, яка завдяки більшій насиченості даними про глибини дозволяє відобразити на екрані картплоттера покращену деталізацію дна. Карти SonarCharts генеруються автоматично та не призначені для навігації [24].

Ця функція може бути активована бездротовим підключенням до ехолота мобільного пристрою, на якому встановлено програму Navionics Boating. Як альтернатива, він може відображатися безпосередньо на екрані сумісних плотерів. Нова діаграма відображається як додатковий шар поверх вашої карти, а також зберігається на вашому пристрої для майбутнього використання.

Navionics об'єднує журнали локатора від окремих користувачів з існуючими даними, щоб карти ставали все більш і більш точними, навіть у мінливих умовах морського, озерного та річкового дна. На даний момент лише Navionics приймає звіти з усіх основних локаційних брендів та мобільних пристроїв.

SonarChart Live — відмінний спосіб відслідковувати покращення, тому що контури миттєво видно, коли здійснюється збір даних з ехолота. Також є можливість перевірити статус обробки журналів та переглянути їх на карті.

Перегляд різких змін глибин допомагає підвищити обізнаність щодо ризикованих ситуацій. Додаток також можна використовувати для занурення, подивившись глибину та форму морського дна, перш ніж досліджувати нові місця.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КАРТ ОКЕАНІВ

3.1. Базові джерела даних для морських карт

GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) – це абревіатура означає "Генеральна Батиметрична Карта Океанів". Це міжнародна організація, метою якої є створення безкоштовних, відкритих та повних даних та інформації про морське дно світового океану.

Мета GEBCO досягається шляхом сприяння та консолідації зусиль з картографування морського дна через міжнародну співпрацю, технологічні інновації, розвиток потенціалу та освіти .

GEBCO працює під спільною егідою Міжнародної гідрографічної організації (МГО) та Міжурядової океанографічної комісії (МОК) (ЮНЕСКО).

Це некомерційна організація, яка значною мірою спирається на добровільні внески ентузіастів міжнародної команди геологів та гідрографів. Роботою GEBCO керує Керівний комітет і її підтримують підкомітети з питань картографування океану та назв підводних об'єктів, а також спеціальні робочі групи [14].

Зондирування та контурні лінії вперше з'явилися на європейських картах у 16 столітті. Батиметричні контурні карти стали частіше створюватися з середини 19 століття. Однак через відсутність міжнародної угоди номенклатура та термінологія, що використовуються на картах, не були стандартизовані.

Завдяки успіху 5-го видання серії карт GEBCO робота GEBCO отримала значну підтримку, і в 1994 році було опубліковано Цифровий атлас GEBCO (GDA) на CD-ROM. Перший випуск GDA був створений шляхом оцифрування батиметричних контурів, берегової лінії та шляхів суден з друкованих аркушів 5-го видання. Він являв собою першу безшовну, високоякісну цифрову батиметричну контурну карту світового океану та забезпечив основу для регулярного оновлення GEBCO на той час. Другий випуск був опублікований у 1997 році [14].

Останній випуск GDA на CD-ROM/DVD-дисках відбувся у 2015 році. Набори даних GEBCO тепер доступні для завантаження безпосередньо онлайн.

Визнаючи важливість наявності наборів батиметричних даних у сітці для таких застосувань, як моделювання океану, GEBCO випустила свою першу глобальну батиметричну сітку, GEBCO One Minute Grid, у 2003 році. Цей набір даних має інтервал в одну дугову хвилину та значною мірою базується на батиметричних контурах, що містяться в Цифровому атласі GEBCO [14].

У 2009 році GEBCO випустила сітку GEBCO_08 – глобальну сітку з інтервалом у 30 кутових секунд. Сітку було створено шляхом поєднання якісних вимірювань глибини судна з інтерполяцією між точками зондування, що керувалися даними про силу тяжіння, отриманими зі супутників. Оновлені версії сітки були випущені у 2010 та 2014 роках.

З 2019 року мережа GEBCO розробляється в рамках проекту Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030.

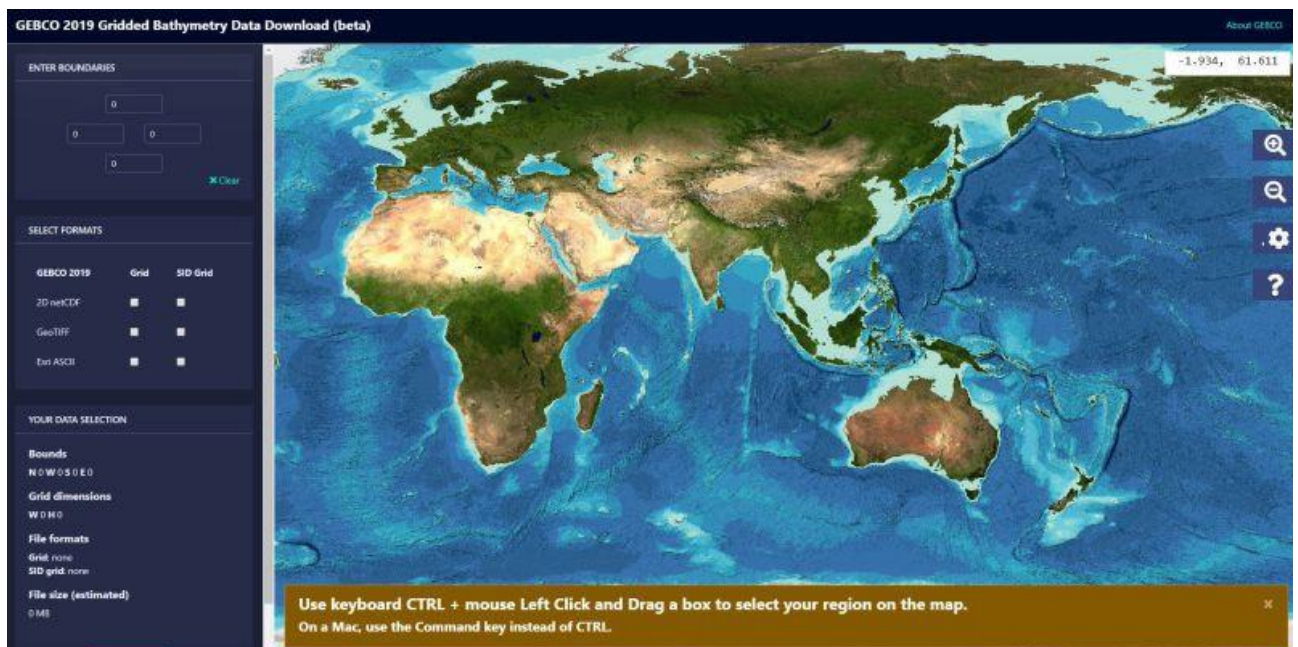


Рис.3.1. Вигляд інтерфейсу застосунку GEBCO для вибору та завантаження даних у форматах netCDF, растрових даних Esri ASCII та даних GeoTiff (<https://www.gebco.net/data-products/gridded-bathymetry-data#global>).

Батиметрична сітка GEBCO – це глобальна модель рельєфу океану та суші, яка надає дані про висоту в метрах на сітці з інтервалом 15 дугових секунд. Вона супроводжується сіткою ідентифікатора типу (TID), яка надає інформацію про типи вихідних даних, на яких базується сітка GEBCO.

Програма «Морське дно 2030» була запущена в червні 2017 року з метою сприяння повному картографуванню дна світового океану до 2030 року.

На Форумі з питань майбутнього картографування океанічного дна у 2016 було висунуто ініціативу щодо партнерства з GEBCO для спільної роботи над картографуванням 100% топографії дна Світового океану до 2030 року.

Ця ініціатива призвела до розробки «Морського дна 2030» – глобального проєкту в рамках ІНО-ІОС GEBCO, метою якого є створення остаточної батиметричної карти всього Світового океану з високою роздільною здатністю.

Ця амбітна ініціатива зумовлена сильним прагненням надати світові можливості приймати політичні рішення, використовувати океан раціонально та проводити наукові дослідження на основі детальної батиметричної інформації про морське дно Землі.

Щоб розширити спільноту GEBCO та заохотити більше молодих вчених і гідрографів долучитися до картографування океанічного дна, GEBCO запропонувала навчати нове покоління молодих вчених і гідрографів картографуванню океану.

Управління берегової геодезії NOAA є національним розробником карт, що надає тисячі електронних навігаційних карт, що охоплюють 95 000 миль берегової лінії та 3,6 мільйона квадратних морських миль океанських, прибережних і Великих озерних вод до зовнішніх меж виключної економічної зони США.

Електронна навігаційна карта NOAA (NOAA ENC ®) – це провідний продукт NOAA у сфері морських карт. Ці карти використовуються в навігаційних системах багатьох типів суден і прогулянкових човнів, а також великих комерційних суден, які використовують складний навігаційний

комп'ютер під назвою Електронна система відображення карт та інформації (ECDIS) [25].

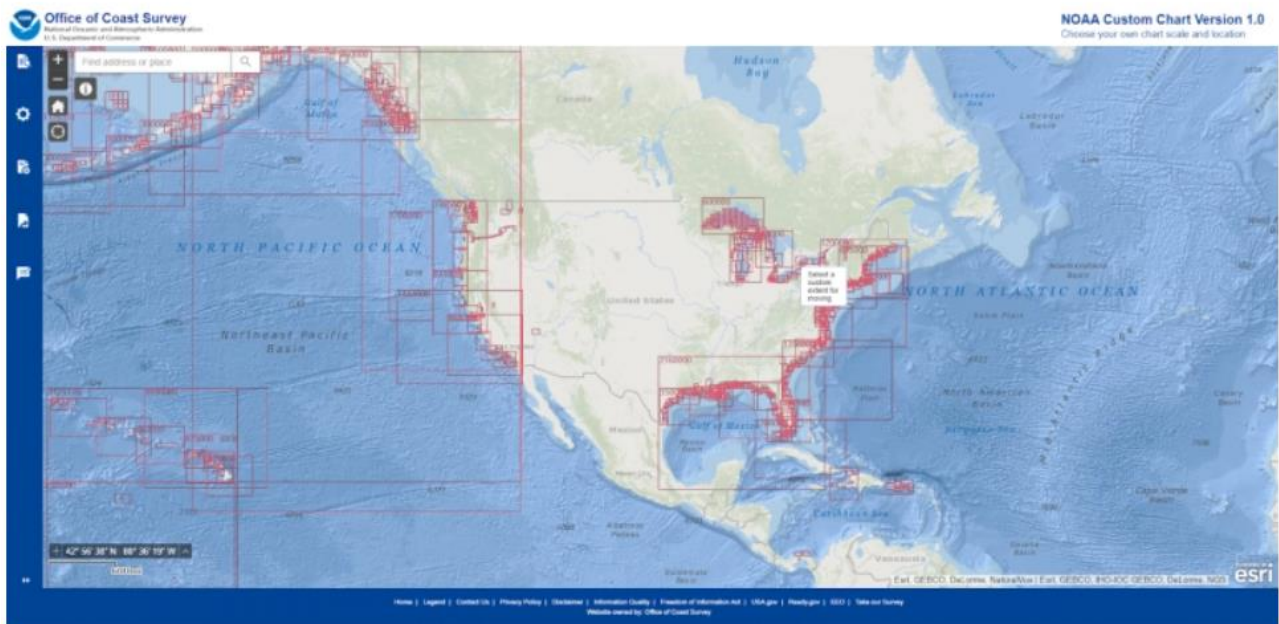


Рис. 3.2. Офіційна електронна навігаційна карта NOAA (NOAA ENC®), основний продукт NOAA для морських карт (Джерело - <https://marine-charts.com>).

NOAA Custom Chart – це програма, яка дозволяє користувачам створювати власні морські карти, отримані на основі останніх даних NOAA ENC.

«United States Coast Pilot®» – це десять томів додаткової інформації, важливої для навігації. PDF-файли регулярно оновлюються та доступні для безкоштовного завантаження.

Колекція історичних карт і схем містить понад 35 000 зображень, включаючи деякі з найдавніших морських карт країни.

NOAA щодня збирає близько 20 терабайтів даних. Завдяки Національній океанічній службі щодня працюють прилади, які збирають фізичні дані в океані, від поточної швидкості до руху косяків риб та багато іншого. Сотні урядових установ та програм генерують цю інформацію для виконання своїх місій та мандатів, але без узгодженості між установами переваги цих даних

обмежені. Окрім федеральних установ, щодня збирають дані сотні нефедеральних та академічних дослідників. Наявність відкритих, доступних, комплексних стандартів даних, які широко впроваджуються, сприяє обміну даними, а коли дані обмінюються, це максимізує переваги «великих даних» — інтегрованих даних з багатьох джерел, які дають ціле, більше, ніж його частини.

Батиметричний портал EMODnet керується та розвивається європейським партнерством. До його складу входять члени консорціуму SeaDataNet разом з організаціями з морських наук, гідрографічних досліджень та промисловості. Партнери поєднують експертизу та досвід збору, обробки та управління батиметричними даними разом з досвідом у розробці та експлуатації розподіленої інфраструктури даних та наданні послуг OGC (WMS, WFS та WCS) для перегляду та розповсюдження [26].

SeaDataNet – це провідна інфраструктура в Європі для управління морськими та океанічними даними, ініційована та керована Національними океанографічними центрами даних (NOODC). Вона активно керує та розвиває загальноєвропейську інфраструктуру для управління, індексації та забезпечення доступу до наборів та продуктів даних про океан та море, отриманих під час дослідницьких круїзів та інших видів спостережень на місці. Основою SeaDataNet є об'єднання центрів даних у розподілену мережу ресурсів даних із спільними стандартами для метаданих, словників, форматів передачі даних, методів контролю якості та прапорців, а також доступу.

SeaDataNet прагне широкого охоплення доступних наборів даних для різних дисциплін морського довкілля, таких як фізична океанографія, морська хімія, біологія, біорізноманіття, геологія, геофізика та батиметрія. Це реалізується шляхом активної співпраці на національному рівні з інститутами та на європейському рівні з громадами, які займаються управлінням даними для цих дисциплін, а також шляхом пошуку можливостей для включення їхніх центрів обробки даних та колекцій даних до метаданих та надання даних SeaDataNet.

У галузі батиметрії низка центрів обробки даних у SeaDataNet керує наборами батиметричних даних, такими як багатопроменеві дослідження з наукових круїзів. Існує кілька інших сторін, що займаються наданням батиметричних даних. До них належать: гідрографічні служби, які відповідають за зйомку навігаційних шляхів, фарватерів та підхідних каналів до гавані, а також за створення на їх основі морських карт на папері та у вигляді електронних морських карт (ЕНК), що використовуються для навігації; органи влади, відповідальні за управління та утримання гаваней, берегових укріплень, судноплавних каналів та водних шляхів; науково-дослідні інститути, які проводять багатопроменеві дослідження в рамках своїх наукових експедицій; промислові підприємства, зокрема енергетичної галузі, яка укладають контракти на багатопроменеві дослідження для трубопровідних та кабельних трас (у випадку вітрових електростанцій), а також підприємства телекомунікаційної галузі для телефонних та інтернет-кабельних трас.

Ці організації виконують та керують батиметричними дослідженнями, частково перекриваючи та здебільшого доповнюючи свої географічні зони охоплення. Дані збираються з різною частотою і навіть датуються попередніми століттями. Крім того, продукти супутникової батиметрії набувають дедалі більшого поширення, оскільки вони стають операційною та надійною технологією. Зокрема, зображення оптичних датчиків забезпечують швидкий та ефективний спосіб отримання батиметричних даних у прибережних зонах на глибині до 15 метрів залежно від прозорості водної товщі.

Проекти EMODnet «Гідрографія, картографування морського дна, батиметрія» та поточні проекти картографування морського дна високої роздільної здатності надають чудову можливість для співпраці та взаємодії зі сторонами в галузі наборів батиметричних даних [27].

3.2. Класифікація та структура сучасних океанографічних карт

Морські навігаційні карти - різновид морських карт, головним змістом яких є елементи навігаційно-гідрографічної обстановки та призначені для забезпечення навігаційної безпеки плавання суден: поділяються на загальні навігаційні та спеціальні [29].

Загальні навігаційні карти призначені для ведення графічного числення шляху судна та визначення його місця у морі, орієнтування у навігаційній обстановці та графічного вирішення низки завдань.

За масштабом загальні навігаційні карти поділяються на:

- Генеральні карти (М 1:5.000.000÷ М 1:500.000). Служать задля загального вивчення умов плавання у великому водному районі, до виконання попередньої прокладки шляху судна.
- Дорожні карти (М 1:500.000÷ М 1:100.000). Служать для забезпечення плавання вздовж узбереж на значному віддаленні від берега та підходу до берега (у деяких випадках).
- Приватні карти (М 1:75.000÷ М 1:50. 000). Служать для забезпечення плавання поблизу берегів, для підходу до берега та плавання у обмежених навігаційних умовах та у вузькості.
- Навігаційні морські плани (М 1:25.000÷ М 1:1.000). Служать задля забезпечення входу в порти, гавані, на рейди; плавання на акваторії цих районів та постановки на якір.

Спеціальні навігаційні карти призначені визначення місця судна за даними сучасних РТС (фазові і імпульсно-фазові РНС та інших.). На такій карті наносяться сітки ізоліній радіонавігаційних параметрів, що спрощують та прискорюють процес визначення місця по цих системах. (М 1:3.500.000 ÷ М 1:100.000).

До спеціальних відносяться і навігаційні карти для плавання суден в особливих умовах (шхери, вузькості та ін.).

Допоміжні карти призначені для ведення навігаційної прокладки далеко від берегів, визначення місця за допомогою РТС, різних графічних побудов та розрахунків (карти-сітки, бланкові та ін.).

Довідкові карти призначені для вивчення фізико-географічних, гідрометеорологічних та інших елементів обстановки, яких немає на загальних навігаційних картах (оглядові, ґрунтів, часових поясів, елементів земного магнетизму та ін.).

До морських навігаційних карт також належать:

- Промислові карти (додатково наносяться райони, непридатні для тралового лову, місця можливого зачеплення рибальських тралів; о відомості із промислових характеристик району; о сітки квадратів та ін.
- Річкові карти призначені для забезпечення плавання судноплавними річками, каналами, водосховищ (М 1:5.000 ÷ М 1:500.000).

Батиметричні кáрти (від грец. *βαθύς* — глибокий і ...метрія) — зменшені, виміряні й узагальнені, побудовані на площині у заданій проєкції зображення підводного рельєфу дна водойм (здебільшого морів і океанів), що демонструють глибину відносно рівня моря.

Складання батиметричних карт обумовлено розвитком батиметрії. Історія батиметрії як галузі гідрографії налічує понад 3 тис. років, перші свідчення про вимірювання глибини водойм з'явилися в історичних записах Стародавнього Єгипту. Першими вимірювальними приладами були стовпи-зонди та линви з прикріпленими до них гирями. Масштабне наукове застосування свинцевих тягарців уперше відбулося під час навколосвітньої океанографічної експедиції корабля «Челленджер» (HMS Challenger) у 1870-х. Такі «висові» вимірювання були стандартними до початку ХХ ст.

Батиметричні карти як самостійні картографічні твори з'явились у другій половині ХХ ст., що безпосередньо пов'язано з розвитком гіпсометричного методу зображення рельєфу морського дна.

Акустичні методи почали застосовувати наприкінці ХV ст., але і сьогодні значну частину інформації з океанічних середовищ також отримують саме завдяки звуковим хвилям. Поштовхом для подальшого розвитку підводних акустичних методів на початку ХХ ст. стала потреба виявляти підводні об'єкти,

наприклад пошук «Титаніка», який затонув у 1912 році, відтоді почали застосовувати ехолоти.

Глибину морського дна визначають шляхом вимірювання часу двостороннього проходження звукової хвилі, яка надсилається до морського дна і назад. Цей метод у поєднанні з точними вимірюваннями часу проходження хвилі акустичної успішно застосовували протягом ХХ ст.

Спочатку використовували однопроменеві ехолоти. Системи багатопроменевого ехолота стали загальнодоступними в 1970-х, що збіглося з розвитком супутникової навігаційної системи глобальної системи позиціонування (GPS), яка забезпечувала високу просторову точність для вимірювань навколишнього середовища. Багатопроменеві системи мають перевагу в тому, що збирають батиметричні дані з вищою роздільною здатністю, відповідно результати картографування ефективніші за набагато коротший час.

Наукове тлумачення походження і структурних особливостей підводного рельєфу, а також локальні підводна зйомка в океанах визначили можливості масового створення батиметричних карт. Серйозним методичним досягненням в підготовці Генеральної батиметричної карти океанів (GEBCO) слугував перехід від механічної до геоморфолого-геофізичної (визначення структурних особливостей океанічного дна й відпрацювання рисовки основних форм підводного рельєфу) інтерполяції між точками глибин.

Істотного поступу в складанні батиметричних карт вдалося досягти завдяки супутниковій альтиметрії або супутниковому нівелюванню (метод космічної геодезії). Цей метод дозволив скласти загальну орографічну схему рельєфу планети, прослідкувати положення підводних хребтів, океанічних розломів, вулканів, зв'язок рельєфу суші з рельєфом океанічного дна.

За змістом батиметричні карти належать до загальногеографічних, що детально й науково обґрунтовано відображають морфометричні особливості великих форм рельєфу. На картах передають уявлення про рельєф дна водойми

або акваторій загалом і окремих його частин відповідно до геолого-тектонічних даних про місцевість з урахуванням сучасних динамічних процесів [29].

За масштабом розрізняють велико-, середньо- та дрібномасштабні батиметричні карти.

За призначенням ці карти дають загальну уяву про рельєф морського або океанічного дна, виражений системою ізобат (ліній однакової глибини) й окремими характерними відмітками глибин з пошаровим зафарбуванням. Для забарвлення батиметричних карт використовують шкалу глибин в синіх тонах: зі зростанням глибини темніє колір позначення. Батиметрична шкала включає ізобати 100, 200, 500, 1 000 і далі через 1 000 м.

У картографічній колекції батиметричні карти призначені як допоміжні або додаткові для використання мореплавцями, оскільки такі картографічні матеріали вміщують дані, відсутні на морських навігаційних картах.

У побудові батиметричних карт використовують основні закони гіпсометричної школи (зокрема метод лінійної інтерполяції ізобат між відмітками глибин), великомасштабні морські навігаційні карти, а крім відміток глибин — результати геолого-геоморфологічного вивчення морського дна й узбережжя. Геоморфологічна інтерпретація вимірів дозволяє виявити закономірності й типові риси будови підводного рельєфу; узбережні мілини, глибоководні схили, глибоководні западини, гірські хребти. Розширення можливостей картографування рельєфу дна пов'язане із використанням даних дистанційного зондування Землі — інформаційного ресурсу Гугл-Планета (Google Earth) [30].

Узагальнює батиметричні дані і зміст національних морських навігаційних карт Міжнародна гідрографічна організація в Монако, що періодично видає «Зведені гідрографічні карти Світу» в масштабі 1:35 000 000, батиметричну карту океанів масштабом 1:10 000 000 (на 16 аркушах). Останнє п'яте видання вийшло 1984. Цифрова база даних про глибини до 2017 року нараховувала більше 40 млн. точок спостереження. У 2017 програмою Генеральної батиметричної карти океанів (GEBCO) запущено проєкт «Морське

дно–2030», вчені-учасники якого мають розробити повну карту дна Світового океану до 2030.

Із колишніх радянських оглядових батиметричних карт велике значення мають карти Тихого океану масштабу 1:10 000 000 (1964), Атлантичного океану масштабу 1:10 000 000 (1965), Індійського океану масштабу 1:15 000 000 (1963). Батиметричні дані є важливим елементом розвитку нафтогазової промисловості.

Для графічного обліку плавання судна на навігаційній карті ведеться прокладка його шляху, а також прокладаються напрямки на різні орієнтири лінії пеленгів. Для зручності користування навігаційною карткою необхідно, щоб лінія курсу зображувалася на карті прямою лінією. Курс і пеленг визначаються поверхні Землі як кути між меридіаном і напрямом ДП судна чи напрямками на обрані для пеленгування об'єкти. Кути на картографічній проекції, що застосовується в навігації, повинні дорівнювати кутам на поверхні Землі.

Звідси і дві основні вимоги до навігаційної карти:

- лінія курсу судна – локсодромія – повинна зображуватись на карті прямою лінією;
- картографічна проекція має бути рівнокутною.

Якщо курс судна буде 0° або 180° , лінія курсу збігається з меридіаном, отже, меридіани повинні бути прямими лініями.

Якщо курс судна буде 90° або 270° , то лінія курсу збігається з паралеллю (або екватором), отже і паралелі (і екватор) повинні бути також прямими лініями.

Щоб лінія курсу перетинала різні меридіани під рівними кутами необхідно, щоб усі меридіани на карті були паралельні.

Усі паралелі на карті також будуть паралельними. І всі меридіани будуть перпендикулярні паралелям та екватору.

Картографічну проекцію, що задовольняє вимогам голландського картографа Герарда Кремера (1512÷1594), що носив латинське ім'я Меркатор.

запропоновано у 1569 році [7]. Проекція Меркатором відноситься до розряду нормальних циліндричних проекцій і застосовується до нашого часу.

Морські карти розрізняються за своїм призначенням, екваторіальною приналежністю, за масштабами, проекціями та іншими ознаками. Проте всі морські карти можна розділити на два основні типи: навігаційні та допоміжні, довідкові.

Навігаційні морські карти призначені для забезпечення безпечного плавання судна. На них виконують численні шляхи судна і визначають його місцезнаходження. до берега умови плавання в загальному випадку ускладнюються, можливість вибору курсів обмежується, кількість навігаційних небезпек збільшується.

Генеральні (узагальнені) карти призначені для загального вивчення умов плавання у великому водному басейні, обчислення шляху судна при плаванні у відкритому морі, попередньої прокладки маршруту майбутнього переходу і загальних навігаційних розрахунків. небезпеки, розташовані на значній відстані від берега, плавучі засоби навігаційного огороження, виставлені біля небезпек, що лежать далеко від берегів,

Дорожні карти призначені для забезпечення плавань уздовж узбережжя на деякому віддаленні від берегів, а також для забезпечення підходів судна з моря до берега; складаються в масштабах від 1:500 000 до 1:100 000. навігаційного огороження.

Приватні карти служать для забезпечення плавання в безпосередній близькості від берегів, у стиснених навігаційних умовах (вузькості, проходи, фарватери і т. п.); складаються в масштабах від 1:75 000 до 1:25 000. навігаційні небезпеки, включаючи малі банки та каміння, всі плавучі засоби навігаційного огороження.

Плани необхідні для забезпечення входу в порти, гавані, бухти, на рейди і для орієнтування при пересуванні в межах цих акваторій. хвилини, а проміжні меридіани та паралелі не наводяться. На практиці штурман користується для кожної ділянки моря картою найбільшого масштабу.

Спеціальні навігаційні карти призначені так само, як і загальнонавігаційні для графічного розв'язання задач судноводіння і для задоволення спеціальних навігаційних та інших вимог. азимутальними сітками, призначеними визначення місця судна з допомогою радіонавігаційних систем, і навігаційно-промислові карти з докладною ґрунтовою характеристикою морського дна, призначені забезпечення лову риби.

Довідкові і допоміжні карти включають карти різного змісту і призначення. Склад цієї групи карт з-за багатьох причин не залишається постійним і час від часу змінюється. Довідкові карти, об'єднані спільністю змісту і призначення, часто зводяться в один загальний атлас, наприклад, Атлас припливно-відливних течій.

Певну цінність для мореплавання також представляють гідрометеорологічні карти, що видаються для окремих морів і частин океанів на кожен місяць.

3.3. Порівняння карт різних періодів.

Порівняння картографічних зображень наведено в табл.3.1.

Таблиця 3.1.

Історична епоха картографування океанів.	Приклад картографічного зображення.	Переваги картографічного зображення.	Недоліки картографічного зображення.
Античність.	Карта Клавдія Птолемея. 	Застосування градусної сітки. Внесення на карту великої кількості інформації для епохи античності.	Через обмеженість знань карта спотворює абриси континентів (Африка, Індійський півострів). Деякі об'єкти нанесені некоректно через похибки при обчисленні координат. На карті відсутні такі материки, як Америка та Австралія через недостю обізнаність автора.
Середньовіччя (1311 рік)	Портолан П'єтро Вісконте.	Висока точність берегових ліній. Створена для в	Відсутність координатної сітки. Орієнтовані виключно на

		політичних цілях, а для забезпечення морської навігації, через що є більш реальною (враховані морські шляхи, напрямки вітру та порти).	морський простір, суходіл часто спрощений або взагалі відсутній. Обмежене географічне охоплення-найбільш зображувані ділянки – Європа, північна Африка, Західна Азія. Дані отримувалися переважно шляхом морських експедицій, без проведення точних вимірювань.
1528 рік	Портолан османського адмірала Пірі-реїса з зображенням Егейського моря 	Детальне зображення берегових ліній. Портолани мали значне використання у навігації. Румбова сітка (лінії компасних напрямків) створює основу для точного прокладання курсу суден.	Широта і довгота відсутні, або дуже умовні. Внутрішні частини континентів залишаються мало дослідженими або взагалі без нанесення інформації. Придатна переважно для прибережної навігації, не забезпечуючи орієнтації у відкритому океані без додаткових приладів. Художні елементи іноді заважають практичному застосуванню карти.
1570 рік	Карта світу Абрама Ортелія 	Одна з перших карт, що відображає всі континенти , відомі на той момент, включно з Новим Світом (Америкою), Африкою, Євразією. Карта входила до атласу, створеного за єдиним стилем — систематичний підхід до географії . Використання географічної сітки: наявні лінії широти і довготи, що дозволяє проводити орієнтацію. Відображення результатів Великих	Невірні пропорції континентів: Африка виглядає занадто вузькою, Південна Америка — витягнута, а Австралія взагалі відсутня або умовна. Неточні обриси материків: багато берегових ліній ще не були точно відомі — картографія базується частково на гіпотезах або фрагментах звітів мандрівників. Спотворення на краях карти: через використану проєкцію, південні й північні області викривлені , зокрема Гренландія, Антарктика

		<p>географічних відкриттів: враховані досягнення португальців, іспанців, англійців, зокрема Південна Америка, частково Австралія, а також Південна Африка.</p> <p>Науково-художня цінність: комбінація точності із декоративними елементами (рамка, підписи, хмари), що сприяло популяризації картографії.</p>	<p>(Terra Australis).</p> <p>Міфологічні та гіпотетичні елементи: на карті присутня Terra Australis Incognita — вигаданий південний континент, який тоді вважався існуючим.</p>
XVII ст.	<p>Карта світу Корнелія Данкерстса</p> 	<p>Карта зображує весь світ, поданий у вигляді двох півкуль — це вже крок до наукової глобальної картографії. Чітко позначені обидві Америки, Африка, Євразія, частково Австралія і навіть Антарктика (як гіпотетичний контур). Видно лінії довготи і широти, що є ознакою системного наукового підходу до побудови карти.</p> <p>Порівняно з картами XVI ст., пропорції континентів більш наближені до реальності.</p> <p>Висока поліграфічна та граверна майстерність: Такі карти створювалися з великою увагою до точності й візуального оформлення — відбиток культури бароко.</p>	<p>Через використання проскції півкуль, спотворені форми-краї (особливо Антарктика, південні частини) викривлені або неповні. Наявність декоративних, негеографічних елементів: карти того часу містять міфологічні фігури, ангелів, божеств, які відволікають від наукового змісту. Частини Австралії, внутрішня Африка, Північна Канада — ще залишаються частково незвіданими або схематичними.</p> <p>Незважаючи на наявність географічної сітки, відсутність точних вимірювань довготи в океанах могла впливати на розташування об'єктів.</p>
XVIII ст.		<p>На карті представлені всі континенти.</p> <p>Присутні лінії широти та довготи, що показує про намір представлення просторових координат.</p> <p>Зважаючи на розвиток морської справи, абриси материків стали більш</p>	<p>Декоративні елементи мають пережане значення над точністю поданої інформації: на картах цього періоду міститься багато декоративних елементів- міфологічних сцен, фігур, морських чудовиськ, що можуть</p>

		<p>наближеними до реальності (особливо в районі узбережжя Атлантичного океану). Нанесені результати Великих географічних відкриттів, а також адміністративно-політичні поділи тогочасного світу. У цей період часто використовуються додаткові вставки круглої форми з полюсами, зірковим небом або новою географічною інформацією.</p>	<p>ускладнювати сприйняття географічної інформації.</p> <p>Спотворення форм та розмірів: через таку форму картографічного зображення виникає викривлення біля полюсів і у південних узбережжях материків.</p> <p>Нанесення гіпотетичних територій: деякі території, такі як Terra Australis Incognita, могли зображуватися за уявленнями того часу, без застосування фактів.</p> <p>Обмежена кількість знань про внутрішні регіони: суходіл (Африка, Азія, Південна Америка) більш деталізовані по узбережжях, а внутрішні області подані схематично або взагалі незаповнені.</p>
XIX ст.		<p>Відмічається висока інформативність: карта відображає фізико-географічні особливості планети, зокрема: ізобати, рельєф суші, напрямки океанічних течій, тектонічні розломи тощо.</p> <p>Використовується більш сучасна система координат: використані широти і довготи, за рівномірною сіткою можливо точніше локалізувати об'єкти.</p> <p>Спираючись на геофізичні та геологічні дані, відображає актуальну на той час будову літосфери,</p>	<p>Проекційні спотворення: ймовірно застосована циліндрична проекція, що спотворює розміри країн і континентів ближче до полюсів.</p> <p>Можливі застарілі дані: через науково-технічну революцію деякі карти могли бути оновлені або уточнені (наприклад глибини океанів).</p> <p>Інформативність: через велику кількість шарів тематичної інформації карта може бути ускладненою для пересічних користувачів.</p>

XX ст.		<p>океанологію, клімат.</p> <p>Географічна чіткість: карта побудована з використанням циліндричної проєкції, що дає змогу відобразити весь світ у прямокутному форматі.</p> <p>Системність у позначеннях: присутня кольорова диференціація політичних блоків, чіткі межі та легенда, що додають структурованості.</p> <p>Використання координатної сітки: карта містить широту та довготу, що дозволяє порівнювати її з реальними географічними координатами.</p> <p>Політично-географічна інтерпретація: цінна як історичний документ, що демонструє геополітичні ідеї та уявлення часів Другої Світової війни.</p>	<p>Утопічна ідеологічність: карта не відображає реального стану світу, а є геополітичним прогнозом.</p> <p>Ігнорування етнокультурних і політичних реалій: пропонувані об'єднання країн не враховують реальні культурні, етнічні, історичні відмінності.</p> <p>Відсутність фізико-географічного змісту: карта не надає даних про рельєф, клімат, водні об'єкти чи природні ресурси, вона виключно політико-ідеологічна.</p> <p>Проекційні спотворення: як і всі карти з прямокутною проєкцією, вона спотворює розміри територій (Гренландія і Канада виглядають непропорційно маленькими).</p>
20 ст.		<p>Висока топографічна точність: карта відображає рельєф суші та дна океанів з використанням гіпсометричних і батиметричних шкал (ліворуч присутня шкала висот/глибин).</p> <p>Реалістичне зображення об'єктів: географічні об'єкти (гори, рівнини, океанічні жолоби, плато тощо) представлені дуже наближено до реальності. Система</p>	<p>Обмежена тематичність: це фізична карта, тому вона не відображає політичні кордони, економічні або соціальні особливості.</p> <p>Певна складність для неспеціаліста: через велику кількість деталей (кольори, гідрографія, рельєф) неспеціалісту може бути складно орієнтуватися без пояснень.</p> <p>Певні спотворення крайніх широт: незважаючи на нібито гарно підібрану проєкцію, Антарктида і</p>

		<p>координат: включає градусну сітку широт і довгот, що дозволяє точно позиціонувати об'єкти.</p> <p>Висока інформативність: позначені найважливіші географічні об'єкти, океанські течії, гірські системи, узбережжя, великі річки та озера.</p> <p>Проекція з мінімальними спотвореннями: наведений приклад має ознаки псевдоциліндричної проекції, яка забезпечує збалансоване зображення континентів без значних викривлень.</p>	<p>північні райони трохи сплюснуті або викривлені, що характерно для глобальних карт.</p>
--	--	---	---

РОЗДІЛ 4. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ КАРТОГРАФУВАННЯ ОКЕАНІВ.

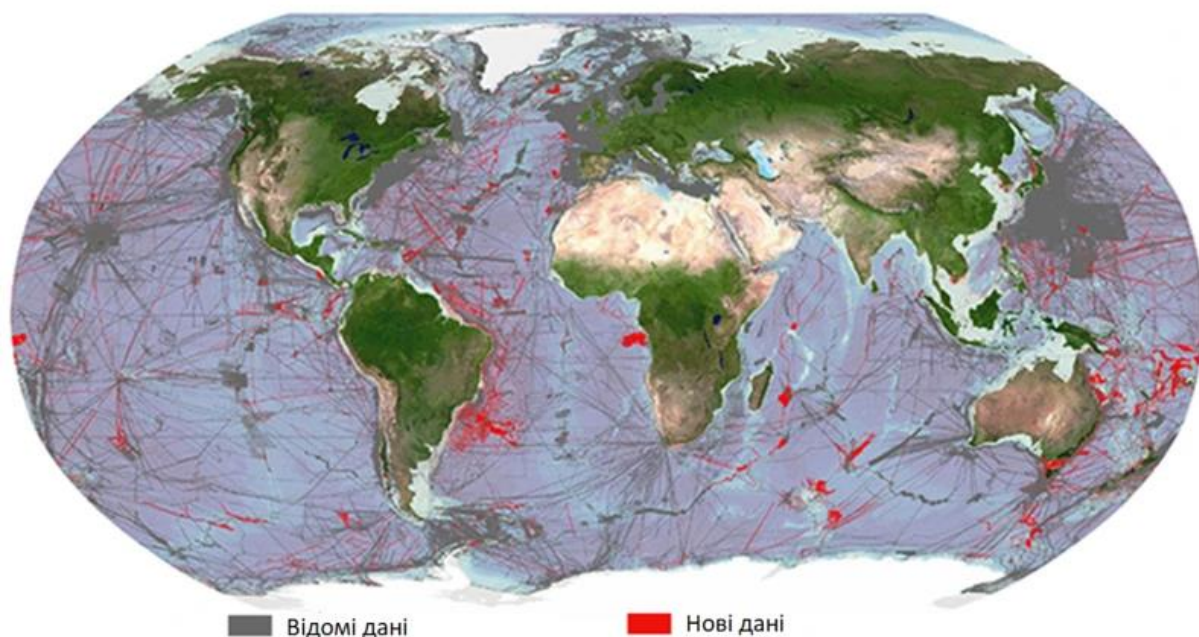
4.1. Сучасні виклики у морському картографуванні

У минулому столітті стався вражаючий розвиток технологій та зусиль з картографування океану. Технології, інновації та аналіз даних змінюються швидше, ніж будь-коли, і картографування океану також слідує цій тенденції. У декларації Організації Об'єднаних Націй про Десятиліття наук про океан в інтересах сталого розвитку (2021-2030 рр.) зазначається, що карта океану (цифровий атлас) є пріоритетною областю досліджень і розвитку технологій. З 2017 по 2021 рік в рамках міжнародної програми «Морське дно 2030», що проводиться під керівництвом Nippon Foundation за підтримки ІОС (Міжурядова океанографічна комісія ЮНЕСКО), ІНО (Міжнародна гідрографічна організація), GEBCO (Проект створення загальнодоступної батиметричної карти Світового океану) і ряду інших партнерів вдалося збільшити відсоток нанесеного на карту дна океану з 7% до майже 20%. Мета полягає в нанесенні на карту всієї площі морського дна до 2030 року.

Батиметрична карта, морфологічна/ фізіографічна карта морського дна або класифікована карта морського дна необхідні для багатьох галузей, включаючи гідрографію, морські геологічні небезпеки, розвідку корисних копалин, відновлювані джерела енергії, морське просторове планування, визначення виняткових економічних зон, технологічні дослідження та розробки, управління ресурсами, дослідження впливу на довкілля та моделі зміни клімату. Усі соціальні цілі Десятиліття наук про океан ООН також вимагають картографування морського дна.

Програма «Морське дно-2030» впроваджується Генеральною батиметричною картою океанів (GEBCO) та фондом Nippon.

2022: ОСТАННЯ ВЕРСІЯ КАРТИ ДНА СВІТОВОГО ОКЕАНУ



Джерело: проєкт Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030

BBC

Рис. 4.1. Остання версія карти дна Світового океану (Джерело - <https://www.bbc.com>)

Робота проєкту наближає людство до створення повної карти дна світового океану. Наразі вона має трохи менше чверті загальної площі під водою - 23,4%.

Вдосконалені карти дна допомагають у навігації та охороні довкілля, а також підкреслюють важливість картографування океану/морського дна.

Минулого року науковці позначили на карті близько 10 мільйонів квадратних кілометрів нових батиметричних (глибинних) даних. Ця площа цілком еквівалентна поверхні суші в Європі.

Оновлену карту Світового океану представили на II конференції ООН з питань океану, що відбулася у Лісабоні у 2022 році.

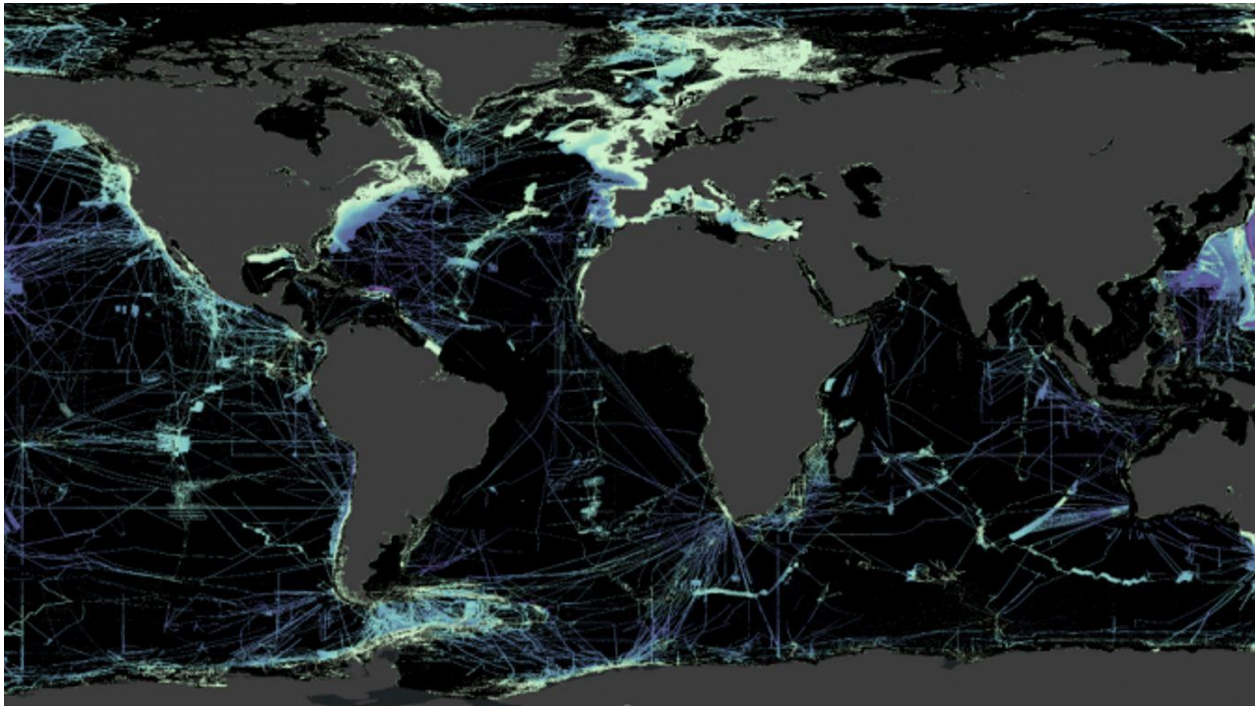


Рис. 4.2. Актуальна батиметрична карта дна Світового океану: світлими кольорами показані нанесені на карту обстежені області, тоді як чорним кольором показані області, які ще належить нанести на карту (карта надана The Nippon Foundation-GEBCO Seabed Project 2030)

Більшість даних отримали не завдяки картографічним роботам, а тому, що уряди, установи й компанії погодилися відкрити свої архіви.

Вважають, що 10-15% необхідної інформації досі зберігається на серверах, частково тому, що власники побоюються, що можуть видати комерційну чи оборонну таємницю, якщо оприлюднять цю інформацію.

Проект стартував у 2017-му, коли було досліджено лише 6% світового дна, до 2030 року вчені обіцяють розробити повну карту дна світового океану.

"Морське дно-2030" закликає судна вмикати гідроакустичне обладнання й вимірювати глибини. Йдеться не лише про виміри з великих суден - невеликі океанські яхти, оснащені реєстраторами даних, також можуть зробити внесок щодо збору інформації до загальної бази даних.

Однак для того, щоб отримати повну картину океанського дна, необхідно кардинально змінити підхід і можливості. Багато частин світу настільки віддалені, що лише деякі судна ходять туди, не кажучи вже про збір даних в

цих регіонах. Але останнім часом ми бачимо, як частину важкої роботи можуть виконувати морські роботи. Одним із цікавих прикладів є Saildrone Surveyor, який успішно довів свої можливості картографування під час рейсу між Сан-Франциско та Гаваїями. Ця подорож тривала 28 днів. Подолавши відстань 2 250 морських миль (4 167 км), судно нанесло на карту близько 6 400 квадратних миль (22 тисячі квадратних кілометрів) морського дна. За допомогою віддалених датчиків вони збиратимуть візуальну та акустичну інформацію.



Рис. 4.2. Робот-океанограф (Джерело - <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62022233>)

Флотилія діятиме виключно автономно, без участі людей та керованих суден. Контроль та управління здійснюватиметься з берегових пунктів управління через супутникові канали зв'язку. Такі судна можна відправляти в тривалі місії у важкодоступні райони з меншими витратами, ніж у звичайного судна з екіпажем.

4.2. Новітні технології у картографуванні океанів.

Під штучним інтелектом (далі – ШІ) розуміють здатність комп'ютерів виконувати функції, які традиційно ототожнювали з людським інтелектом – за лічені секунди аналізувати великі обсяги інформації, надавати відповіді, узагальнювати об'ємні документи, ухвалювати рішення, генерувати витвори мистецтва (вірші, прозу, музику, картини та ін.), підтримувати людську розмову, розпізнавати обличчя, постійно самовдосконалюватися. Наразі неймережі широко застосовуються в різних галузях, зокрема у професійній діяльності картографів та спеціалістів морської галузі.

Технології штучного інтелекту розглядаються як життєво важлива частина майбутнього морської навігації з метою підвищення ефективності діяльності морської галузі, зниження витрат і підвищення безпеки. Системи з підтримкою штучного інтелекту на разі широко використовуються – від автономних суден до автоматизованих систем мостів. Найважливішою перевагою ШІ для морської навігації є його здатність за лічені секунди точно обробляти великі масиви даних. Технології штучного інтелекту можуть аналізувати дані в режимі реального часу з різних джерел, щодо погодних умов, хвиль та GPS, та використовувати їх для прокладання курсу, виявлення перешкод та надання іншої інформації, яка сприятиме безпечній роботі морського судна.

Використання штучного інтелекту в морській навігації має значний потенціал. Зокрема, системи профілактичного обслуговування на основі використання ШІ дозволять аналізувати дані датчиків різних систем судна, виявляти аномалії та завчасно прогнозувати збої в роботі обладнання, що знижує ризик незапланованих простоїв через аварії та, таким чином, економить значні кошти; – автономні навігаційні системи на основі ШІ забезпечать морським суднам більш точне, ефективне та безпечне позиціонування у просторі. ШІ використовує в роботі велику кількість web камер та датчиків. Ці системи використовують алгоритми машинного навчання для аналізу різних джерел даних, таких як карти, радари та GPS для розрахунку оптимального

маршруту, швидкості та курсу морського судна; – системи оптимізації витрат пального на базі штучного інтелекту дозволяють аналізувати швидкість, погоду та вантаж для того, щоб скоротити витрати пального та викиди шкідливих речовин в атмосферу [31].

Основними прикладами застосування ШІ в картографуванні океанів є:

- ШІ є ключовим компонентом автономних підводних апаратів (АПА) та дистанційно керованих апаратів (ДКА), в яких вони використовуються для збору даних (автономні дрони та роботи можуть картографувати морське дно, збирати зразки та проводити дослідження у важкодоступних або небезпечних для людини місцях), навігації (дозволяють АПА самостійно орієнтуватися, уникати перешкод та оптимізувати маршрути для ефективного збору даних), обробки даних у реальному часі (деякі АПА з підтримкою ШІ можуть аналізувати зібрані дані безпосередньо під водою, що дозволяє приймати рішення про подальші дії безпосередньо під час місії);

- аналіз супутникових даних та дистанційне зондування для виявлення та відстеження об'єктів (ШІ може швидко аналізувати терабайти супутникових зображень для виявлення та відстеження суден, нафтових платформ, сміття в океані та навіть незаконної рибальської діяльності. Це допомагає створювати глобальні карти індустріалізації океану та виявляти "сліпі зони"), моніторингу змін: (завдяки зйомкам супутників та аналізу, здійсненим ШІ, можливо відстежувати зміни в океанському середовищі майже в реальному часі, наприклад, рух течій, зміни температури поверхні моря або поширення морського сміття), картографування морського дна: (у зв'язку з обмеженням прямого картографування морського дна супутниками, ШІ може об'єднувати супутникові дані з іншими джерелами для покращення моделей рельєфу дна);

- прогнозування океанських явищ, зокрема течій (китайські дослідники розробили систему на основі ШІ, яка може робити достовірні прогнози про океанські течії на сім місяців уперед, що є значним проривом для судноплавства та рибальства), погодних умов та кліматичних змін (ШІ

допомагає у створенні кліматичних моделей, які прогнозують зміни в океанських екосистемах, що є критично важливим для розуміння довгострокових впливів зміни клімату);

- Моніторинг морського біорізноманіття та екосистем шляхом аналізу акустичних даних (нейромережі можуть у 25 разів швидше за людину аналізувати звуки океану для ідентифікації активності риб та інших морських організмів, що важливо для збереження морських екосистем), виявлення проблем у коралових рифах (ШІ може виявляти ознаки знебарвлення коралів, спричинені підвищенням температури океану, надаючи важливі дані для природоохоронних заходів).

Також ШІ є незамінним інструментом в управлінні даними та їх інтерпретації. Океанографія генерує величезні обсяги даних. ШІ може швидко обробляти та аналізувати великі обсяги даних, виявляючи закономірності та тенденції, які були б непомітні для людини. Також алгоритми ШІ можуть покращувати точність океанських даних, отриманих в результаті спостережень та досліджень.

Автономні судна із штучним інтелектом дозволять зменшити кількість людських помилок, підвищити безпеку та ефективність функціонування морського транспорту у найближчому майбутньому (внаслідок зниження витрат на оплату праці екіпажу, підвищення доступності транспортних послуг тощо). Такі судна керуватимуться дистанційно або працюватимуть самостійно залежно від рівня автономності.

Системи моніторингу навколишнього середовища на основі штучного інтелекту дозволять суднам дотримуватись екологічних норм та зменшити їх вуглецевий слід. Вони аналізуватимуть якість води, повітря та рівень шуму для оцінювання впливу судноплавства на довкілля.

Навігаційні системи з підтримкою штучного інтелекту надаватимуть більш точну та актуальну інформацію про місцезнаходження та траєкторію судна. Крім того, ці дані використовуються для виявлення потенційних небезпек, таких як несприятлива погода, морські судна поблизу та ін.

навігаційні ризики, що дозволить превентивно реагувати на потенційні проблеми.

Системи безпеки з підтримкою ШІ здатні виявляти поблизу судна небезпечні об'єкти, такі як айсберги, транспортні контейнери, які перебувають у воді внаслідок падіння з борту теплоходу, сміттеві плаваючі острови в океанах та ін., а також мушлі, водорості тощо на підводній частині корпусу судна і можуть використовуватись для унеможливлення зіткнень або попередження інших небезпечних ситуацій.

Потенційні переваги морської навігації та систем безпеки з підтримкою штучного інтелекту лише починають досліджувати і майбутнє їх використання є неймовірно багатогранним. Звісно, використання ШІ має потенціал для зменшення кількості аварій у морському секторі шляхом підвищення безпеки та ефективності навігації, однак вони, також, створюють певні проблеми, які потребують вирішення:

Системи з підтримкою штучного інтелекту є високовартісними, вимагають значних інвестицій як в апаратне, так і в програмне забезпечення. Але важливість застосування таких системи для морського транспорту в реальному часі, що дозволяють морякам ухвалювати більш ґрунтовані рішення та зменшувати ризик аварій, важко переоцінити. Так, компанія IBM і морська дослідницька організація Promare оголосили про впровадження штучного інтелекту для безпілотного судна Mayflower (MAS). Судно Mayflower здійснило перехід з Плімута (Великобританія) до Плімута (штат Массачусетс) без капітана й екіпажу та стати одним з повністю автономних повнорозмірних суден, які перетнули Атлантику. Тестування роботи судна дозволило оцінити, як використовуються бортові системи на базі ШІ для безпечної навігації поблизу інших суден, буїв та ін. небезпек океану, на які теплохід може натрапити під час виконання переходу. Використання штучного інтелекту, хмарних рішень і граничних обчислень дозволить суднам мати повну автономію [32].

Загалом, інтеграція ШІ в картографування океанів є значним кроком до кращого розуміння та захисту Світового океану, розкриваючи нові можливості для морських досліджень, збереження та освоєння морських ресурсів.

Використання ШІ в картографуванні океанів має численні переваги, серед яких слід відмітити:

- ефективність та швидкість (ШІ може обробляти та аналізувати дані набагато швидше, ніж люди, що дозволяє отримувати актуальну інформацію та приймати швидкі ефективні рішення);
- точність та надійність (алгоритми ШІ можуть виявляти тонкі закономірності та кореляції у даних, що підвищує точність картографування та прогнозування);
- доступність (ШІ-інструменти інтегровані до АПА дозволяють досліджувати важкодоступні та небезпечні регіони океану, розширюючи наші знання про ці території);
- економічна ефективність (автоматизація збору та аналізу даних за допомогою ШІ може зменшити витрати, пов'язані з традиційними методами дослідження).

4.3. Майбутнє картографування океанів

В найближчому майбутньому завдяки розвитку новітніх технологій з використанням супутникових даних, багатопромених ехолотів, дистанційного зондування, геоінформаційних систем та штучного інтелекту сфера спостереження за Світовим океаном може розвиватися у таких ключові напрямках [31]:

1. Розширення покриття та підвищення роздільної здатності:

- Проєкт Seabed 2030 - міжнародна ініціатива, очолювана Nippon Foundation та GEBCO, яка має на меті повністю картографувати світове дно океану до 2030 року. Наразі картографовано близько 26% дна, і значні зусилля спрямовані на охоплення полярних регіонів, Індійського океану, Південної

півкулі, а також виняткових економічних зон (ВЕЗ) африканських та азійських держав.

- Розробляються та впроваджуються нові сенсорні технології, які можуть збирати дані у раніше недоступних або важкодоступних районах, забезпечуючи набагато вищу роздільну здатність, що дозволить детальніше вивчати процеси в океані.

- Використання технологій 3D-картографування, таких як лідар (світлове виявлення та визначення дальності), дозволяє створювати тривимірні моделі морського дна з високою роздільною здатністю (до сантиметрів), що надає значно краще розуміння об'єму та просторового розподілу підводних об'єктів та середовищ існування.

2. Автоматизація та автономні системи:

- Використання автономних підводні апарати (АПА) та дистанційно керованих апаратів (ДКА), що являють собою оботизовані системи, для збору даних з високою роздільною здатністю на глибоководді. Вони можуть виконувати місії та збирати дані без постійного контролю людини, значно підвищуючи ефективність та знижуючи витрати.

- Надводні автономні судна (НАС), що працюють від вітру та сонячної енергії, можуть збирати багатопроменеві гідрографічні дані на великих глибинах та мають значно меншу вартість, ніж пілотовані судна.

- Дрони: Оснащені кольоровою моделю (RGBI та мультиспектральними камерами, дрони можуть швидко сканувати великі площі, надаючи детальні карти та дані про якість води, забруднення та розподіл морських організмів, зокрема у прибережних районах.

3. Великі набори даних, штучний інтелект та машинне навчання:

- великі набори даних використовуються для інтеграції інформації з численних джерел, що дозволяє отримати більш повне уявлення про океанські процеси;

- застосування штучного інтелекту та машинного навчання допомагає виявляти закономірності та тенденції у великих наборах даних, надаючи нові уявлення про динаміку океану.
- алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання все частіше використовуються для автоматичного аналізу та ідентифікації помилок, артефактів та невідповідностей у даних картографування океану.
- хмарна інфраструктура забезпечує масштабоване та безпечне рішення для зберігання та обробки великих наборів даних, прискорюючи аналіз.

4. Інноваційні методи збору даних:

- Супутникова батиметрія (SDM) використовує оптичні супутникові знімки, особливо з мультиспектральних сенсорів, та дозволяє картографувати морське дно у прибережних районах, мілководних морях та озерах як альтернативу акустичним методам;
- Супутникова альтиметрія (SWOT місія NASA), основною метою якої є вимірювання висоти води на поверхні Землі, також може виявляти особливості морського дна, такі як підводні гори, доповнюючи дані, зібрані за допомогою суднового гідролокатора.
- Міжнародна гідрографічна організація (ІНО) заохочує моряків (як аматорів, так і професіоналів) долучатися до збору батиметричних даних, що значно розширює охоплення картографування.
- Інтерферометричний синтетичний апертурний сонар (SAS) – технологія, що дозволяє створювати високоякісні акустичні зображення та батиметричні карти морського дна з високою роздільною здатністю.

Проекти, такі як «Морське дно 2030», підкреслюють важливість міжнародної співпраці та обміну даними між країнами для досягнення цілі повного картографування океану. На міжнародному рівні більше уваги приділяється відкритому доступу до океанських даних, що дозволяє ширшому колу фахівців використовувати їх для досліджень, управління ресурсами та прийняття рішень.

Загалом, майбутнє картографування океану характеризується прагненням до повного, високороздільного та доступного відображення морського дна, що є критично важливим для розуміння океанських процесів, забезпечення безпеки судноплавства, збереження морських екосистем та підтримки сталого використання океанських ресурсів.

ВИСНОВКИ

1. Картографування океанів - це унікальна наукова галузь, яка на стику географії, інженерії, інформатики та екології забезпечує людство точним уявленням про підводний світ. Еволюція картографування океанів від символічних карт давнини до супутникових цифрових моделей є водночас історією пізнання планети. У XXI столітті цей процес стає важливішим, ніж будь-коли: перед людством стоїть завдання не лише дослідити, а й зберегти океан як глобальну екосистему.

2. Вивчення океанів постійно тривало з часів античності, протягом Епохи великих географічних відкриттів XV-XVI ст., наукових експедицій XVIII-XIX ст. паралельно із загальним науково-технічним прогресом людства. При цьому, прогрес у вивченні океанів Землі, відзначений у XX ст. відіграв вирішальну роль для вдосконалення точного батиметричного та геолого-геофізичного картографування океанів. В останні десятиліття здійснено технологічний прорив в сфері розвитку акустичних та неакустичних методів та систем картографування океанів (ехолокація, бокове сканування, багатопроточна зйомка).

3. Швидкі темпи економічних, екологічних та соціальних змін кардинально вплинули на способи картографування та управління океаном та прибережним середовищем у всьому світі. Здатність реагувати на зміни в океанах (відкритому океані, прибережній або береговій зонах) покращується не лише завдяки вдосконаленню вимірювальних приладів та наукових методів, але й тому, що нові геоінформаційні технології дозволяють краще зрозуміти це

динамічне середовище. Збір та відображення даних, складне моделювання, розробка нових методів дослідження та концепцій, сприяє вдосконаленню ГІС за для розширення можливостей для вчених-океанологів, менеджерів ресурсів та спеціалістів з охорони природи.

4. Сучасні дослідження океанів спрямовані на заповнення існуючих прогалин шляхом систематичного картографування, геоморфологічного моделювання, просторового аналізу та класифікації морфоструктур дна Світового океану за допомогою методів морської картографії, що включають в себе гідрографічні, океанологічні та інші сучасні технології, що дозволяють проводити детальне картографування океанів з використанням супутникових даних, багатопроменевих ехолотів, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій.

5. Картографування океану відкриває можливості для видобутку ресурсів, розвитку рибальства та туристичної інфраструктури. Точне картографування допомагає краще зрозуміти біологічні та геологічні процеси в океані, а також оцінити вплив людської діяльності на морське середовище та допомогти в боротьбі зі змінами клімату.

6. Штучний інтелект продовжує розвиватися в галузі картографування океанів, значно покращуючи збір, аналіз та інтерпретацію величезних обсягів морських даних. Це допомагає дослідникам, екологам та морському транспорту в їх щоденній діяльності. Використання штучного інтелекту сприятиме підвищенню ефективності морського транспорту, зниженню експлуатаційних витрат суден при перевезенні вантажів, підвищенню безпеки та дотриманню екологічних норм у галузі.

7. У 2017 році стартував унікальний проект із картографування морського дна «Морське дно 2030» - наразі більше 26% дна Світового океану нанесено на карту. Майбутнє картографування океану завдяки швидкому розвитку технологій та зростаючій міжнародній співпраці передбачає використання нових технологій з метою повного картографування океану у високій роздільній здатності до 2030 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Браун Ллойд Арнольд. История географических карт / Пер. с англ. Н.И. Лисовой. — М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. — 479 с.
2. Solomon J. The New Pauly - (M.) Landfester (ed.) Brill's New Pauly. Encyclopaedia of the Ancient World. Classical Tradition, Volume 1. A–Del. Edited in cooperation with Hubert Cancik and Helmuth Schneider. Pp. liv + 582, ill., maps. Leiden and Boston: Brill, 2006. Cased, €219, US\$249. ISBN: 978-90-04-14221-3. - (M.) Landfester (ed.) Brill' New Pauly. Encyclopaedia of the Ancient World. Classical Tradition, Volume II. Dem–Ius. Edited in cooperation with Hubert Cancik and Helmuth Schneider. Pp. lvi + 608, ill., maps. Leiden and Boston: Brill, 2007. Cased, €228, US\$308. ISBN: 978-90-04-14222-0 (978-90-04-12259-8 set). The Classical Review. 2009. Vol. 59, no. 1. P. 266–269. URL: <https://doi.org/10.1017/s0009840x08002837> (date of access: 12.06.2025).
3. Navigation, Nautical Maps, Cartography | Britannica. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/portolan-chart> (date of access: 12.06.2025).
4. The Editors of Encyclopaedia Britannica. Portolan chart | Maritime Navigation, Nautical Maps, Cartography | Britannica. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/portolan-chart> (date of access: 12.06.2025).
5. Campbell Tony. Portolan Charts from the Late Thirteenth Century to 1500. / «The History of Cartography». Ed. J. B. Harley, D. Woodward. The University of Chicago Press. Chicago. 2007. v.1, part 19, p.371-463.
6. Jwaideh W. Muhammad al-Idrisi | Geographer, Maps, & Biography | Britannica. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/biography/Muhammad-al-Idrisi> (date of access: 12.06.2025).
7. [Ісламська картографія](#) // Історія картографування території України: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Сосса Р. І. — Київ, Либідь, 2007. — С. 44. — 336 с. — ISBN 978-966-06-0463-6.
8. Leaman J. H. Nicholas Crane: Mercator: The Man who Mapped the Planet. London: Phoenix. 2003. 326 pp. Notes, Index, Select Bibliography, Illustrations. \$16.00, paperback. Frontiers: The Interdisciplinary Journal of Study Abroad. 2005. Vol. 11, no. 1. P. 253–254. URL: <https://doi.org/10.36366/frontiers.v11i1.163> (date of access: 12.06.2025).
9. 5. Wilson B., McIntosh G. C. The Piri Reis Map of 1513. Sixteenth Century Journal. 2001. Vol. 32, no. 4. P. 1228. URL: <https://doi.org/10.2307/3649069> (date of access: 12.06.2025).
10. Luisa MARTÍN-MERÁS. La carta de Juan de la Cosa: interpretación e historia. — USA: Monte Buciero (Ayuntamiento de Santoña), issue 4, 2000. — С. 71—86. — ISBN 1138-9680.

11. Історія туризму Устименко Л. М., Афанасьєв І.Ю. - Навчальний посібник. – К.: Альтерпрес, 2005. – 320 с.: іл.
12. James Cook Facts | Britannica. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/facts/James-Cook> (date of access: 12.06.2025).
13. Schenke, H. (2016). General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). In: Harff J., Meschede M., Petersen S., Thiede J. (eds) Encyclopedia of Marine Geosciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.
14. . GEBCO. GEBCO. URL: <https://www.gebco.net/> (date of access: 12.06.2025).
15. URL:
<https://web.archive.org/web/20180330042101/https://www2.jpl.nasa.gov/srtn/>
16. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. — М.: Мир, 1988. - 343 с.
17. Elachi C., Zyl J. Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. Second Edition. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2006, 557 p., ISBN 13 978-0-471-47569-9
18. Liu J.G., Mason Ph.J. Essential image processing and GIS for remote sensing. John Wiley & Sons, Oxford, Imperial College London, UK, 2009, 462 p., ISBN: 978-0-470-51032-2
19. State of art of bathymetric surveys / I. O. Ferreira et al. Boletim de Ciências Geodésicas. 2022. Vol. 28, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702022000100002> (date of access: 12.06.2025).
20. Фізична океанологія : навч. посіб. / Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича ; уклад. М. Д. Пасічник, О. В. Паланичко. – Чернівці: Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2019. – 123 с. : іл., табл.
21. Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. (2014). Геоінформаційні системи і бази даних. Монографія. - Ніжин: Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, - 492 с.
22. Wright, D. J., Goodchild, M. F., & Easterling, D. R. (1997). GIS for Coastal Zone Management. Taylor & Francis.
23. 23.OpenSeaMap: [вебсайт]. – Режим доступу: <https://map.openseamap.org/?lang=ru> (дата звернення: 12.06.2025).
24. SonarChart™ Live — персональні батиметричні карти [Електронний ресурс] / Interparus. – Режим доступу: <https://interparus.com/ua/sonarchart-live-personalnye-batimetricheskie-karty/> (дата звернення: 12.06.2025).
25. National Oceanic and Atmospheric Administration [Електронний ресурс] / NOAA. – Режим доступу: <https://www.noaa.gov/> (дата звернення: 12.06.2025).
26. European Marine Observation and Data Network (EMODnet). – Режим доступу: <https://emodnet.ec.europa.eu/en/about> (дата звернення: 12.06.2025).
27. EMODnet Hydrography Summary [Електронний ресурс] / European Marine Observation and Data Network (EMODnet). – Режим доступу: <http://summary.emodnet-hydrography.eu/> (дата звернення: 12.06.2025).

28. Як картографувати океан і чому ми знаємо про Місяць більше, ніж про морське дно [Електронний ресурс] / BBC News Україна. – 3 лип. 2022. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62022233> (дата звернення: 12.06.2025).
29. Загальногеографічні карти: навчальний посібник / Т.В.Дудун,. – К. : друковане видання, 2013. – 202 с.
30. Google Earth [Електронний ресурс]: [веб-додаток] / Google. – Режим доступу: <https://earth.google.com/web> (дата звернення: 12.06.2025).
31. Майбутнє геоаналітики: Штучний інтелект у поєднанні з ГІС [Електронний ресурс] / PortalGIS. – Режим доступу: <https://portalgis.pro/geoinformaczijni-systemy/shtuchnyj-intelekt/> (дата звернення: 12.06.2025).
32. Can AI Help Us Explore the Ocean? [Електронний ресурс] / Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). – Режим доступу: <https://www.whoi.edu/know-your-ocean/did-you-know/can-ai-help-us-explore-the-ocean/> (дата звернення: 12.06.2025).