



O VIZIUNE PERSONALĂ ASUPRA DIRECȚIILOR DE CERCETARE ÎN METEO-OCEANOGRAFIA MILITARĂ

Comandor (rtr.). conf. univ. dr. Romeo BOȘNEAGU

Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța

DOI: 10.55535/GMR.2025.2.04

Military meteorography is a fundamental component of applied maritime and military security sciences, integrating marine meteorology and physical oceanography to support decision-making and operative actions in naval theaters. In the context of increasing climate change, technological progress, and increasing strategic interest in the maritime environment, military weather and oceanography research is experiencing an accelerated and dynamic development.

This paper offers a personal, but scientifically based, perspective on the research directions in military oceanography and meteorology, from the point of view of the author's experience in the field, as well as on the implications of these directions on the safety and efficiency of naval operations. The main purpose of the study is to identify and structure relevant research directions in military weather-oceanography, given the current geopolitical context. At the same time, it stresses the need to align national research with NATO trends and standards, as well as the importance of adopting a proactive attitude towards climate change and hybrid threats targeting the Black Sea region.

Keywords: military weather-oceanography; ESA; maritime security; applied research; physical oceanography;

INTRODUCERE

În contextul complexității mediului operațional maritim, meteo-oceanografia militară/METOC devine o componentă de o importanță strategică deosebită, iar informațiile despre mediul natural, în special cele meteorologice și oceanografice, devin esențiale în planificarea și desfășurarea operațiunilor militare. Meteo-oceanografia militară, ca disciplină aplicată la intersecția științei și strategiei, joacă un rol fundamental în asigurarea superiorității informaționale, în reducerea riscurilor operaționale și în sprijinul deciziei tactice și strategice.

Odată cu dezvoltarea tehnologică accelerată, cu apariția unor noi platforme navale autonome, precum și cu creșterea complexității operațiilor navale moderne, necesitatea unei cercetări avansate în domeniul meteo-oceanografiei militare este mai stringentă ca oricând. România, ca stat membru al NATO cu acces la o zonă de interes strategic – Marea Neagră –, are obligația de a-și consolida capacitățile științifice și operaționale în acest domeniu.

Oceanul planetar, care acoperă aproximativ 71% din suprafața Terrei, reprezintă nu doar un rezervor natural de resurse, ci și un mediu operațional strategic (The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO/IOCUNESCO, 2021). Cu un volum estimat la 1,35 miliarde km³ și o adâncime medie de aproximativ 3.700 m, el conține 97% din apa existentă pe Pământ, dar rămâne, în mare parte, insuficient cunoscut: mai puțin de 20% din fundul oceanului este cartografiat cu precizie (Wölfl et al., 2019).

În acest context, meteo-oceanografia militară – componentă specializată a științelor militare –, capătă un rol tot mai pregnant. Aceasta furnizează evaluări și prognoze integrate privind mediul atmosferă-ocean, cu aplicații directe în siguranța navigației, eficiența sistemelor de armament și supraviețuirea platformelor navale (Naval Oceanographic Office/NAVOCEANO, 2020).

Meteorologia marină militară analizează influențele factorilor atmosferici asupra performanțelor echipamentelor și echipajului,

Meteo-oceanografia militară, ca disciplină aplicată la intersecția științei și strategiei, joacă un rol fundamental în asigurarea superiorității informaționale, în reducerea riscurilor operaționale și în sprijinul deciziei tactice și strategice.



Scopul principal al lucrării este identificarea și structurarea unor direcții relevante de cercetare în meteo-oceanografia militară, pornind de la contextul geopolitic actual, evoluțiile tehnologice și necesitățile de securitate maritimă, dintr-o perspectivă personală, dar fundamentată științific.

În timp ce oceanografia militară oferă informații privind procesele hidrofizice esențiale pentru planificarea și desfășurarea operațiunilor navale (Boșneagu, 2014).

Această lucrare își propune să ofere o viziune personală asupra principalelor direcții de cercetare ce pot contribui la consolidarea și optimizarea capabilităților militare în zonele maritime de interes, în contextul evoluției meteo-oceanografiei militare. Prezentarea, realizată atât din perspectiva mediului național, cât și în cadrul structurilor NATO, se bazează pe o analiză documentară aprofundată, completată de o abordare strategică și exploratorie. În acest cadru, sunt evidențiate potențiale arii de dezvoltare cu aplicabilitate directă în sprijinul forțelor navale, aeriene și terestre.

Scopul principal al lucrării este identificarea și structurarea unor direcții relevante de cercetare în meteo-oceanografia militară, pornind de la contextul geopolitic actual, evoluțiile tehnologice și necesitățile de securitate maritimă, dintr-o perspectivă personală, dar fundamentată științific. Obiectivele cercetării sunt: analiza tendințelor actuale în cercetarea meteo-oceanografică internațională și militară; identificarea ariilor de interes strategic pentru cercetarea militară aplicată în mediul maritim; examinarea contribuției meteo-oceanografiei la succesul operațiunilor navale și aeronavale; propunerea unor direcții de cercetare viitoare, relevante pentru contextul românesc și NATO.

După prezentarea metodologiei de cercetare, se va realiza o sinteză a tendințelor actuale din domeniu, urmată de identificarea direcțiilor de cercetare relevante și de o analiză SWOT în a domeniu. În încheiere, sunt formulate concluzii și sugestii privind consolidarea capacității științifice și operaționale în meteo-oceanografia militară.

METODOLOGIE

Articolul prezintă o viziune personală, structurată, asupra unui domeniu de nișă, cu accent pe integrarea factorilor de mediu în procesul de planificare și executare a operațiunilor militare. În același timp, propune un cadru de reflecție și indicatori pentru posibile direcții de cercetare, destinat viitorilor cercetători, planificatori sau factori decizionali din domeniul militar.

Această cercetare este de tip calitativ, exploratoriu și prospectiv, având ca scop formularea unei viziuni personale argumentate asupra

direcțiilor strategice și științifice de dezvoltare în domeniul meteo-oceanografiei militare. De asemenea, include și elemente de analiză documentară și comparativă, precum și extrapolări bazate pe tendințe actuale și posibile nevoi operaționale viitoare.

Ca metode și tehnici de cercetare au fost utilizate următoarele:

- Analiza documentară: studii științifice și articole din reviste de specialitate în domeniul meteorologiei și oceanografiei militare; documente publice NATO și ale forțelor armate naționale; rapoarte ale centrelor de cercetare (ex. US Naval Research Laboratory, NATO CMRE etc.).
- Analiza comparativă: compararea direcțiilor de cercetare la nivel NATO; identificarea diferențelor între abordările civile și militare în meteo-oceanografie.
- Interviuri și consultări informale cu specialiști în domeniul militar, ofițeri meteorologi sau oceanografi, pentru validarea unor ipoteze sau perspective.

Fundamentele teoretice a integrat concepte din meteorologie aplicată, oceanografie fizică, geostrategie maritimă și inteligență militară. De asemenea, au fost evidențiate interdependențele între mediul operațional și informațiile meteo-oceanografice în teatrele moderne de operații.

Limitările acestei cercetări sunt determinate, în primul rând, de accesul restrâns la informații sensibile referitoare la aplicațiile concrete ale cercetării militare de vârf în domeniul meteo-oceanografic și, în al doilea rând, de gradul crescut de incertitudine asociat proiecțiilor tehnologice pe termen lung.

DIRECȚII ACTUALE DE CERCETARE LA NIVEL INTERNAȚIONAL ÎN METEO-OCEANOGRAFIE

Studiul oceanografiei fizice și al meteorologiei marine, al interacțiunii atmosferă-ocean este crucial pentru înțelegerea sistemului climatic global, pentru valorificarea durabilă a resurselor marine și pentru dezvoltarea tehnologiilor navale.

Direcțiile actuale de cercetare la nivel internațional în aceste domenii includ:

- rolul oceanului în evoluția climei: oceanele absorb circa 90% din excesul de căldură cauzat de efectul de seră, acționând



Studiul oceanografiei fizice și al meteorologiei marine, al interacțiunii atmosferă-ocean este crucial pentru înțelegerea sistemului climatic global, pentru valorificarea durabilă a resurselor marine și pentru dezvoltarea tehnologiilor navale.



Oceanografia este esențială pentru navigația maritimă, deoarece curenții, mările și valurile influențează rutele comerciale și operațiunile portuare.

ca un regulator climatic (Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC, 2021); prin circulația termohalină¹, căldura este redistribuită, influențând dinamica climatică globală;

- valorificarea resurselor marine: oceanele oferă surse importante de hrană, energie și materii prime; cercetările se concentrează pe exploatarea durabilă a acestor resurse, inclusiv zăcămintele offshore și resursele biologice (Food and Agriculture Organization/FAO, 2022);
- conservarea biodiversității marine: peste 230.000 de specii marine sunt identificate, însă se estimează că există peste două milioane (Costello et al., 2010); protejarea acestora implică cartografierea habitatelor și monitorizarea presiunilor antropice;
- prognozarea vremii și a fenomenelor extreme: fenomenul *El Niño – Southern Oscillation (ENSO)* are un impact major asupra climei globale, iar înțelegerea acestuia necesită integrarea datelor oceanografice și meteorologice (McPhaden et al., 2006);
- transportul și economia maritime: oceanografia este esențială pentru navigația maritimă, deoarece curenții, mările și valurile influențează rutele comerciale și operațiunile portuare (International Maritime Organization/IMO, 2020) (figura 1).

Cercetarea meteo-oceanografică modernă se bazează pe tehnologii avansate, care permit colectarea de date complexe (Boșneagu, 2019), precum:

- *sateliți oceanografici*: monitorizează în timp real temperatura suprafeței mării, nivelul oceanului și productivitatea biologică (European Space Agency/ESA, 2023);
- *vehicule autonome subacvatice AUV* (Autonomous Underwater Vehicle) și *ROV* (Remotely Operated Vehicle): asigură acces la zone greu explorabile, permițând prelevarea de probe și măsurători directe (Yoerger et al., 2007);

¹ Sistem global de curenți oceanici de adâncime, antrenat de diferențele de temperatură (termo-) și salinitate (halină) ale apei marine. Aceste diferențe influențează densitatea apei, ceea ce determină mișcările sale verticale și orizontale în întregul ocean planetar (Copernicus – Glosar, <https://marine.copernicus.eu/ro/explainers/glossary>), n.a.

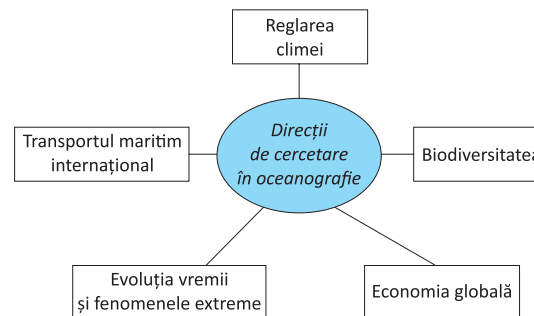


Figura 1: Direcții actuale de cercetare în meteo-oceanografie (lb., adaptarea autorului)

- *rețeaua Argo*: peste 3.800 de flotoare active care măsoară temperatura și salinitatea până la 2.000 m adâncime (Roemmich et al., 2019);
- *echipamente CTD* (Conductivity, Temperature and Depth) și *SVP* (Sound Velocity Profilers): permit caracterizarea precisă a coloanei de apă în funcție de conductivitate, temperatură și presiune;
- *curentometre tip Doppler* și *profilatoare de sunet*: esențiale pentru analiza propagării acustice și a circulației oceanice locale (figura 2).

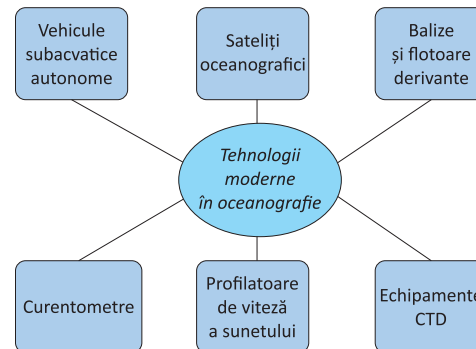


Figura 2: Tehnologii moderne folosite în meteo-oceanografie (lb.)



Explorarea oceanelor rămâne incompletă, fiind limitată de dificultățile tehnice și de resursele necesare pentru studierea întregului sistem oceanic. Schimbările climatice exercită un impact semnificativ asupra mediului oceanic, manifestându-se prin fenomene precum acidificarea apelor, creșterea temperaturii oceanelor și dezoxigenarea anumitor zone marine.

Deși cercetarea în domeniul oceanografiei a înregistrat progrese semnificative în ultimele decenii, această știință se confruntă, în continuare, cu numeroase provocări majore care afectează înțelegerea completă a mediului oceanic. În primul rând, *explorarea oceanelor rămâne incompletă*, fiind limitată de dificultățile tehnice și de resursele necesare pentru studierea întregului sistem oceanic. În al doilea rând, *schimbările climatice exercită un impact semnificativ* asupra mediului oceanic, manifestându-se prin fenomene precum acidificarea apelor, creșterea temperaturii oceanelor și dezoxigenarea anumitor zone marine (Bindoff et al., 2019). Aceste modificări nu doar că afectează biodiversitatea și funcționarea ecosistemelor marine, ci și pun în pericol resursele și activitățile umane dependente de oceane, precum pescuitul și transportul maritim. Nu în ultimul rând, poluarea marină, în special microplasticile și poluanții industriali, amenință echilibrul ecosistemelor marine (The United Nations Environment Programme/ UNEP, 2021).

În acest context, continuarea cercetărilor și dezvoltarea de tehnologii avansate sunt esențiale pentru a putea monitoriza și gestiona în mod sustenabil mediul oceanic în fața acestor provocări globale.

DIRECȚII NOI DE CERCETARE ÎN METEO-OCEANOGRAFIA MILITARĂ ÎN CONCEPȚIA NATO

Pentru o planificare eficientă a operațiunilor navale, este fundamentală evaluarea mediului operațional tridimensional, care include componentele aer, suprafață și subacvatic. Această abordare integrată permite comandamentelor să obțină o imagine completă și precisă a condițiilor din teren, facilitând decizii rapide și bine fundamentate în contextul complex al mediului marin.

Cercetarea meteo-oceanografică militară contemporană se concentrează pe mai multe direcții strategice, menite să optimizeze capabilitățile operaționale. Printre acestea se numără integrarea datelor meteo-oceanografice în sistemele de comandă și control (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance/C4ISR), pentru a asigura o situație actualizată și coerentă în timpul misiunilor. De asemenea, se pune accent pe dezvoltarea de modele predictive avansate, care să furnizeze

estimări cât mai precise asupra propagării acustice, stării mării și curenților marini, aspecte esențiale pentru succesul operațiunilor subacvatice.

Studiul aprofundat al influenței fundului marin asupra detectabilității acustice și a performanței sonarului reprezintă o componentă critică, deoarece condițiile substratului pot afecta semnificativ rezultatele misiunilor de recunoaștere și supraveghere. În plus, se urmărește creșterea rezilienței forțelor navale în condiții meteo-oceanografice severe, pentru a păstra eficiența și siguranța operațiunilor în cele mai dificile situații.

Este important de subliniat că superioritatea în câmpul de luptă naval depinde, în mare măsură, de o înțelegere aprofundată a mediului înconjurător. Cunoașterea detaliată a caracteristicilor fizico-chimice și dinamice ale oceanului conferă un avantaj strategic decisiv, permițând forțelor navale să anticipeze și să răspundă eficient la diversele provocări ale mediului maritim (NATO Science and Technology Organization/ NATO STO, 2017).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Progresele înregistrate în ultimele două decenii în domeniul meteo-oceanografiei militare au condus la o integrare mai eficientă a datelor atmosferice și oceanice în planificarea operațiunilor navale. Introducerea sistemelor moderne de observație – cum ar fi rețelele globale de balize ARGO, vehiculele subacvatice autonome (AUV) și sateliții meteo-oceanografici – a permis o acuratețe mai mare în prognozarea stării mării și a vremii în medii ostile sau complexe din punct de vedere geofizic (Wunsch, 2006; Schiller, Brassington, 2011). Se consideră că, în contextul actual, modernizarea tehnologică a rețelilor globale și regionale de cercetare marină și submarină reprezintă o prioritate strategică în beneficiul apărării și securității naționale. În același timp, este esențială continuarea programelor de monitorizare și colectare a datelor de mediu, care să asigure o acoperire cu adevărat globală și să furnizeze informații vitale pentru operațiunile navale, contribuind, astfel, la eficientizarea și securizarea misiunilor în domeniul maritim.

Un rezultat notabil este reducerea semnificativă a incertitudinii în planificarea misiunilor, mai ales în zonele de conflict, unde informațiile



GÂNDIREA
MILITARĂ
ROMÂNEASCĂ

Superioritatea în câmpul de luptă naval depinde, în mare măsură, de o înțelegere aprofundată a mediului înconjurător. Cunoașterea detaliată a caracteristicilor fizico-chimice și dinamice ale oceanului conferă un avantaj strategic decisiv, permițând forțelor navale să anticipeze și să răspundă eficient la diversele provocări ale mediului maritim.



Necesitatea integrării în timp real a datelor provenite din surse diferite (spațiale, maritime și atmosferice) ridică provocări metodologice, tehnologice și de securitate a informației. De exemplu, Exercițiul „Sea Shield”, desfășurat periodic în Marea Neagră, oferă un exemplu relevant de aplicare integrată a meteo-oceanografiei militare într-un mediu cu caracteristici hidro-meteorologice complexe.

despre salinitate, temperatură și curenți marini influențează detectarea acustică, navigația submarină și eficiența armamentului naval (Curtin et al., 1993; Dombrowsky, 2007). Utilizarea combinată a datelor meteorologice și oceanografice a dus la optimizarea rutelor de marș, minimizarea expunerii la condiții oceanice nefavorabile și îmbunătățirea capacității de evitare a detectării (NATO RTO-TR-AVT-181, 2010). Identificarea și implementarea de soluții inovatoare pentru interpretarea rapidă și eficientă a datelor meteo-oceanografice de interes reprezintă o necesitate fundamentală în domeniul cercetării maritime. În acest context, utilizarea tehnologiilor avansate, precum inteligența artificială, devine imperativă pentru a optimiza procesul de analiză și decizie. Aceasta impune, de asemenea, formarea și recrutarea unui personal cu dublă calificare, atât din perspectivă științifică, precum și în domeniul operațional de comandă, pentru a asigura o interoperabilitate eficientă și o interpretare precisă a datelor în condiții de timp critic.

S-a constatat că aplicarea meteo-oceanografiei tactice contribuie direct la creșterea performanțelor în simularea acțiunilor navale, oferind o proiecție tridimensională a câmpului operațional (Cummings et al., 2009). Spre exemplu, modelele de propagare a sunetului în apă, ajustate în funcție de temperatură, salinitate și presiune, permit o mai bună calibrare a sistemelor de detecție sonar.

Apreciez că experiența profesională acumulată îmi conferă cadrul necesar pentru formularea unor perspective și orientări referitoare la direcțiile viitoare de cercetare în domeniul meteo-oceanografiei militare, astfel:

1. Prognoza de hidrolocație zilnică și pentru misiune este o problemă complexă, ce are nevoie de date reale, validate și ușor de înțeles și aplicat în operațiunile navale. Aceasta necesită programe și echipamente de prelucrare, mijloace de culegere de date în timp real și, ceea ce este cel mai important, personal calificat.

2. Persistă unele limitări în acoperirea spațială și temporală a datelor, în special în zonele polare și în zonele de adâncime, slab cercetate oceanografic, și nu numai. Necesitatea integrării în timp real a datelor provenite din surse diferite (spațiale, maritime și atmosferice) ridică provocări metodologice, tehnologice și de securitate a informației. De exemplu, Exercițiul „Sea Shield”, desfășurat periodic



Utilizarea datelor oceanografice – în special a parametrilor de stratificare termohalină – a permis optimizarea poziționării senzorilor sonar pentru detecția amenințărilor submarine. Concomitent, informațiile meteorologice de înaltă rezoluție au susținut planificarea aeronavală, oferind predicții precise privind nebulozitatea și turbulențele atmosferice ce influențau operațiunile aeriene.

în Marea Neagră, oferă un exemplu relevant de aplicare integrată a meteo-oceanografiei militare într-un mediu cu caracteristici hidro-meteorologice complexe. În cadrul acestuia a fost implementat un sistem de asistență decizională bazat pe date în timp real provenite de la platforme mobile (ROVs, UAVs) și stații meteorologice automate distribuite în proximitatea zonei de operații, însă mai este mult de investit în plan decizional, material, financiar și uman.

3. Utilizarea datelor oceanografice – în special a parametrilor de stratificare termohalină – a permis optimizarea poziționării senzorilor sonar pentru detecția amenințărilor submarine. Concomitent, informațiile meteorologice de înaltă rezoluție au susținut planificarea aeronavală, oferind predicții precise privind nebulozitatea și turbulențele atmosferice ce influențau operațiunile aeriene. Având în vedere volatilitatea și variabilitatea datelor reale provenite din mediul marin și submarin, consider că există încă o nevoie semnificativă de dezvoltare în domeniul cercetării, dotării, operaționalizării și cuantificării acestor date în scopuri militare.

4. Toate acestea au dus la o îmbunătățire a eficienței detectării obiectelor submarine, atribuită, în principal, integrării informațiilor meteo-oceanografice. De asemenea, s-a înregistrat o reducere a timpului de reacție a forțelor în fazele tactice active, demonstrând valoarea adăugată a acestei componente informaționale în arhitectura decizională a misiunii.

5. Automatizare și inteligență artificială în prognoza meteo-oceanografică: utilizarea de algoritmi AI pentru previziuni de mare precizie; integrarea cu sisteme C4ISR; dezvoltarea unor algoritmi bazați pe învățare automată (machine learning), care să poată interpreta în timp real date provenite de la sateliți, radare meteorologice și senzori oceanografici in situ; utilizarea rețelelor neuronale pentru îmbunătățirea prognozei de valuri, curenți și fenomene atmosferice severe în medii tactice; integrarea acestor sisteme în platformele C4ISR pentru sprijinul direct al comandamentelor militare.

6. Utilizarea de sisteme autonome de observație (UAV/USV/SATCOM): senzori meteo amarinizați și oceanografici sau aeriene integrați în rețele militare; implementarea unei rețele de platforme autonome maritime, glidere oceanografice și drone aeriene capabile să monitorizeze parametrii meteo-oceanografici în zone de interes



strategic (ex: platforme offshore, coridoare de navigație militară); adaptarea tehnologiilor comerciale pentru uz militar: senzori de temperatură, salinitate, presiune, curenți marini, turbulență atmosferică; înzestrarea acestora cu capacități de comunicații criptate pentru integrarea în rețele de luptă.

7. Dezvoltarea de modele avansate de simulare a mediului marin: utilizarea supercalculatoarelor pentru modelare 3D, corelarea cu manevre militare simulate (wargaming).

8. Utilizarea meteo-oceanografiei tactice pentru operațiuni speciale: micro-prognoze locale pentru scafandri, drone submarine, operații SEAL; cercetări aplicate privind efectele locale ale valurilor, mareelor și vânturilor asupra operațiunilor de inserție a forțelor speciale; miniaturizarea senzorilor portabili pentru forțele de recunoaștere avansată; dezvoltarea de aplicații mobile cu suport meteo-oceanografic în timp real pentru operatorii din teren.

9. Adaptarea la schimbările climatice și riscuri hibride: impactul creșterii nivelului mării, valuri extreme; meteo-oceanografia ca instrument de prevenire/anticipare a conflictelor hibride; analiza impactului schimbărilor climatice asupra condițiilor din teatrele maritime (intensificarea furtunilor, modificarea curenților, reducerea perioadelor de calm); cercetări privind folosirea datelor meteo-oceanografice ca suport pentru anticiparea acțiunilor hibride în mediul maritim (migrație ilegală, sabotaj energetic, interferență civil-militară); integrarea datelor istorice și climatologice în evaluarea riscurilor pe termen lung.

10. Analiza SWOT aplicată cercetării în meteo-oceanografia militară din România este prezentată în *tabelul 1*.

Tabelul 1: Analiza SWOT aplicată cercetării în meteo-oceanografia militară din România (concepția autorului)

Puncte forte	Puncte slabe	Oportunități	Amenințări
Integrarea meteo-oceanografiei în doctrina NATO și existența unor standarde comune	Infrastructură limitată pentru observații oceanografice de înaltă precizie în România	Dezvoltarea platformelor autonome (USV, UAV, glidere oceanografice)	Riscul compromiterii comunicațiilor și datelor meteo-oceanice



Puncte forte	Puncte slabe	Oportunități	Amenințări
Acces la date satelitare, modele numerice și platforme internaționale	Dependența de parteneri externi pentru multe capacități avansate	Integrarea AI și Big Data în modelarea mediului operațional	Exploatarea deficitară a datelor sau interpretarea eronată în condiții critice
Posibilitatea colaborării cu institute de cercetare și universități tehnice	Subfinanțarea cercetării militare aplicate în domeniul mediului operațional maritim	Creșterea interesului NATO pentru regiunea Mării Negre	Climatul politic instabil poate afecta continuitatea finanțării și a proiectelor
Există cadre militare și civile specializate în meteorologie și oceanografie operațională	Lipsa unei rețele autonome de senzori meteo-oceanografici în Marea Neagră	Participarea la proiecte europene de cercetare și schimburi internaționale de know-how	Lipsa unei strategii naționale coerente privind meteo-oceanografia aplicată militar
Expertiză acumulată în NATO	Finanțare limitată	Tehnologii emergente	Război electronic, sabotaj
Date satelitare disponibile	Infrastructură meteorologică învechită	Parteneriate internaționale	Suprasolicitare a resurselor umane

11. Dezvoltarea rețelei autonome a României de observație meteo-oceanografică în Marea Neagră.

12. Dezvoltarea în România a unui Centru de excelență meteo-oceanografic în cooperare cu parteneri NATO și cu instituții civile.

13. Atragerea de fonduri europene pentru cercetare aplicată în domeniul mediului maritim de securitate.

CONCLUZII

Investițiile în cercetarea meteo-oceanografică militară trebuie percepute ca o necesitate strategică mai degrabă decât ca o simplă opțiune. Acestea furnizează forțelor armate un avantaj informațional esențial și contribuie la asigurarea securității maritime, la optimizarea



performanței operaționale și la consolidarea rezilienței naționale în fața provocărilor emergente din mediul maritim.

Meteo-oceanografia militară reprezintă un domeniu cu o importanță strategică tot mai accentuată, în contextul operațiilor moderne desfășurate în medii maritime și litoral-maritime. Complexitatea teatrelor de operații, viteza de reacție cerută comandamentelor și riscurile generate de fenomenele naturale impun o adaptare constantă a mijloacelor de observare, analiză și prognoză meteorologică și oceanografică.

De asemenea, meteo-oceanografia militară se afirmă tot mai clar ca domeniu esențial în arhitectura de securitate navală a secolului XXI. Investițiile în cercetare, în tehnologie și în integrarea operațională a datelor de mediu trebuie să continue pentru a sprijini superioritatea informațională și eficiența strategică a forțelor navale. Conjugarea eforturilor internaționale pentru explorarea și protejarea mediului marin este esențială atât pentru pace, cât și pentru apărare.

Meteo-oceanografia militară joacă un rol strategic fundamental în pregătirea, planificarea și execuția operațiunilor navale moderne. Evoluțiile tehnologice recente – inclusiv sateliții oceanografici, senzorii CTD, vehiculele autonome subacvatice și sistemele de modelare numerică – au transformat modul în care forțele navale percep și exploatează mediul marin.

Integrarea datelor atmosferice și oceanice într-un cadru unificat de analiză contribuie direct la optimizarea deciziilor tactice și operaționale, în special în teatrele de operații maritime cu dinamici hidrometeorologice complexe. Analiza exercițiului „Sea Shield” demonstrează relevanța operațională imediată a oceanografiei militare, subliniind impactul asupra detecției, mobilității forțelor și siguranței misiunilor.

În ciuda acestor progrese, există încă provocări legate de accesibilitatea datelor în timp real, interoperabilitatea sistemelor și acuratețea prognozelor în zone slab instrumentate sau aflate sub incidența unor fenomene oceanice extreme. Astfel, direcțiile viitoare de cercetare ar trebui să se concentreze pe dezvoltarea de modele de predicție adaptative, integrarea inteligenței artificiale în analiza METOC și extinderea capacităților autonome de culegere de date în adâncimile oceanice.

Consolidarea domeniului METOC în arhitectura militară contemporană reprezintă nu doar o necesitate operațională, ci și o oportunitate științifică majoră de a transforma modul în care mediul marin este perceput și utilizat strategic.

Această lucrare a oferit o perspectivă personală asupra direcțiilor viitoare de cercetare în domeniul meteo-oceanografiei militare, evidențiind importanța integrării tehnologiilor emergente, precum inteligența artificială, sistemele autonome, modelele numerice avansate și aplicațiile specializate pentru operațiuni speciale. De asemenea, s-a subliniat necesitatea alinierii cercetării naționale la tendințele și standardele NATO, precum și adoptarea unei abordări proactive în fața schimbărilor climatice și a amenințărilor hibride din regiunea Mării Negre.

Analiza SWOT a relevat un potențial semnificativ de dezvoltare, în ciuda unor limitări structurale și instituționale, subliniind, astfel, importanța consolidării colaborării între mediul militar, mediul academic și sectorul de cercetare-dezvoltare, precum și necesitatea atragerii de fonduri internaționale pentru inițierea unor proiecte aplicative.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE:

1. Bindoff, N.L. et al. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Geneva: IPCC, <https://www.ipcc.ch/srocc/>, accesat la 22 iunie 2025.
2. Boșneagu, R. (2014). *Meteorologia marină. Navigația meteorologică*. Constanța: Editura Ex Ponto.
3. Boșneagu, R. (2019). *Oceanografie pentru navigator*. Constanța: Editura EX PONTO.
4. Costello, M.J. et al. (2010). *A census of marine biodiversity knowledge, resources, and future challenges*. *PLoS One*, 5(8), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012110>, accesat la 22 iunie 2025.
5. Cummings, J.A., Smedstad, O.M., Kurapov, A.L. (2009). *Data assimilation in the U.S. Navy operational global ocean and Arctic ice prediction systems*, în *Ocean Weather Forecasting*, Springer, pp. 303-344.
6. Curtin, T.B., Bellingham, J.G., Catipovic, J.A., Webb, D. (1993). *Autonomous oceanographic sampling networks*. *Oceanography*, 6(3), <https://doi.org/10.5670/oceanog.1993.03>, pp. 86-94, accesat la 2 iunie 2025.



Consolidarea domeniului METOC în arhitectura militară contemporană reprezintă nu doar o necesitate operațională, ci și o oportunitate științifică majoră de a transforma modul în care mediul marin este perceput și utilizat strategic.



7. *Environmental Information for Naval Warfare*, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2003). Environmental Information for Naval Warfare. Washington, DC: The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/10626>, accesat la 22 iunie 2025.
8. ESA (2023). *Sentinel Missions Overview*. European Space Agency, <https://www.esa.int>, accesat la 17 iunie 2025.
9. FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome: Food and Agriculture Organization.
10. Gradinaru, V. (2004). *Bazele hidroacusticii. Formarea și emisia undelor acustice în mediul marin*. Constanța: Editura EX PONTO.
11. Hill, E. et al. (2021). *Sustaining in situ Ocean Observations in the Age of the Digital Ocean*, <https://zenodo.org/records/4836060>, p. 8, accesat la 13 iunie 2025.
12. Hodges, R.P. (2010). *Underwater Acoustics. Analysis, Design and performance of Sonar*. A John Wiley and Sons, Ltd. Publications.
13. IMO (2020). *International Shipping and World Trade: Facts and Figures*. International Maritime Organization.
14. IOC-UNESCO (2021). *The Ocean Decade Implementation Plan*. Paris: UNESCO.
15. McPhaden, M., J. et al. (2006). *ENSO as an integrating concept in earth science*. În *Science*, 314(5806), pp. 1740-1745.
16. Medwin, H., Clay, S.C. (1998). *Fundamentals of Acoustical Oceanography*, Academic Press.
17. Munteanu, D. (1973). *Manualul comandantului de navă*. București: Editura Militară.
18. NATO RTO-TR-AVT-181. (2010). *Environmental Knowledge and Operational Effectiveness*. Research and Technology Organization, North Atlantic Treaty Organization.
19. NATO STO (2017). *Maritime S&T Priorities for the Alliance*. NATO Science and Technology Organization.
20. NAVOCEANO (2020). *Naval Oceanographic Office Capabilities*. U.S. Navy.
21. Roemmich, D. (2019). *On the future of Argo: A global ocean observing system*. În *Frontiers in Marine Science*, 6, p. 439.
22. Schiller, A., Brassington, G.B. (2011). *Operational Oceanography in the 21st Century*. Springer.
23. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. Nairobi: UN Environment Programme.
24. Urich, R.J. (1983). *Principles of Underwater Sound*, ediția a treia, Peninsula Publishing, Westport, Connecticut.
25. Wöfl, A.-C. et al. (2019). *Seafloor Mapping – The Challenge of a Truly Global Ocean Bathymetry*. În *Frontiers in Marine Science*, 6, p. 283.

26. Wunsch, C. (2006). *Discrete Inverse and State Estimation Problems: With Geophysical Fluid Applications*. Cambridge University Press.
27. Yoerger, D.R. et al. (2007). *Techniques for Deep Sea Near-bottom Survey Using an Autonomous Underwater Vehicle*, în *International Journal of Robotics Research*, 26(1), pp. 41-54.

