Cofinanțat de Uniunea Europeană

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea.

Black Sea SIERRA

Project 101124670 – Black Sea SIERRA

Ghid privind privind monitorizarea poluării marine cauzate de conflictele armate

INCDPM IO – BAS ARCES ORDU UkrSCES MBNAR TUIASI

Black Sea SIERRA

Proiect 101124670 - Black Sea SIERRA
Ghid privind monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate

Cofinanțat de Uniunea Europeană

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

DETALIILE DOCUMENTULUI

Acronimul proiectului	Black Sea SIERRA
Titlul proiectului	Consolidarea pregătirii curriculare complementare prin management sustenabil, ca răspuns la poluarea civilă și militară a litoralului, afluenților și lagunelor din zonele de nord, vest și sud ale Mării Negre
Numărul acordului de grant	101124670
Coordonatorul consorțiului	Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului București (INCDPM)
Durata proiectului	36 de luni (01.10.2023 – 30.09.2026)
Autoritatea finanțatoare	Agenția Executivă Europeană pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA)
Programul	Fondul european pentru afaceri maritime, pescuit și acvacultură (EMFAF)
Apelul	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP – Proiecte-fanion regionale care sprijină economia albastră sustenabilă în bazinele maritime ale UE
Tema	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP-2-BLACK – Consolidarea pregătirii și a răspunsului la poluarea marină în Marea Neagră
Titlu document	Ghid privind monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate
Pachetul de lucru	WP6
Nivelul de diseminare	PU – Public
Autori	Pernice Alessandro, Terranova Melinda (*ARCES*) Vizureanu Petrică, Sandu Andrei, Burduhos-Nergis Dumitru Doru - *Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iași (TUIASI)* DEÁK György, Matei Monica, Boboc Mădălina, Holban Elena, Tudor Georgeta, Popa Alexandra, Prangate Raluca, Istrate Iulia, Harabagiu Alexandra, Gheorghe Ionut, Chirescu Alexandra - *Institutul National De Cercetare-Dezvoltare Pentru Protectia Mediului Bucuresti (INCDPM)* Samoilescu Gheorghe, Pazara Tiberiu, Apetroaei Manuela Rossemary, Alecu Toma, Nedelc Andra - *Academia Navală „Mircea cel Bătrân" (MBNAR)*

DECLINAREA RĂSPUNDERII (DISCLAIMER)

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană, nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea.

MEMBRII CONSORȚIULUI

Coordonator

INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU PROTECȚIA MEDIULUI BUCUREȘTI – INCDPM

România

P1

INSTITUTE OF OCEANOLOGY BAS – IO-BAS

Bulgaria

P2

E.M. ASSOCIAZIONE A.R.C.E.S. – ARCES

Italia

P3

ORDU UNIVERSITESI – ORDU

Turcia

P4

UKRAINIAN SCIENTIFIC CENTRE OF ECOLOGY OF THE SEA – UkrSCES

Ucraina

P5

ACADEMIA NAVALĂ „MIRCEA CEL BĂTRÂN" – MBNAR

România

P6

UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI – TUIASI

România

CUPRINS

Introducere 5
1.Scop și domeniu de aplicare 6
1.1 Conflictul armat și factorii de stres asupra mediului marin 6
1.2 Cadrul conceptual pentru monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate 9
2.Principalele presiuni și căi de poluare asociate conflictelor armate 11
2.1 Poluanți prioritari și semnături chimice specifice conflictelor armate.....12
2.2 Matrici de mediu și domenii de monitorizare.....14
3.Abordări și metodologii de monitorizare.....17
3.1 Strategii de prelevare, frecvență și operațiuni de teren 19
3.2 Metode analitice, proceduri de laborator și QA/QC 21
3.3 Teledetecție, modelare și sisteme autonome 23
3.4 Gestionarea datelor, integrare și sisteme de raportare 25
4.Implementare, guvernanță și aplicații 26
4.1 Prioritizare bazată pe risc și monitorizare adaptivă 26
4.2 Foaie de parcurs pentru implementare 27
4.3 Aplicare regională: contextul Mării Negre.....28
4.4 Integrarea cu cadrele europene și internaționale.....29
4.5 Refacerea mediului, răspunderea de mediu și guvernanța pe termen lung.....33
Concluzii.....35
Referințe 36

Introducere

Ecosistemele marine reprezintă una dintre cele mai complexe și interconectate componente ale sistemului terestru, având un rol fundamental în reglarea climei, conservarea biodiversității, productivitatea pescuitului, transportul maritim și furnizarea serviciilor ecosistemice esențiale pentru comunitățile costiere din întreaga lume. Mediile costiere și marine susțin sectoare economice de importanță strategică, precum turismul, pescuitul, acvacultura, navigația și producția de energie, contribuind în același timp la ciclurile biogeochimice globale și la stabilitatea climatică. Cu toate acestea, în pofida importanței lor ecologice și socio-economice, ecosistemele marine sunt expuse tot mai mult unor presiuni antropice cumulative care le afectează integritatea ecologică și reziliența [1].

Printre acești factori de presiune, conflictul armat reprezintă un factor sever de degradare a mediului. Impacturile războiului depășesc distrugerile fizice directe și pot genera consecințe ecologice pe termen lung, persistente timp de decenii după încetarea ostilităților [2]. Operațiunile militare, exploziile, războiul naval și distrugerea infrastructurii industriale pot elibera substanțe periculoase în sistemele marine, în condiții în care monitorizarea este adesea limitată. Dimensiunea de mediu a conflictelor armate este bine documentată istoric, însă războiul contemporan afectează tot mai mult regiuni costiere industrializate și infrastructuri maritime critice, amplificând riscurile de mediu. În multe cazuri, poluarea nu provine doar din acțiuni militare directe, ci și din dezastre secundare, precum distrugerea depozitelor de combustibil, a porturilor, a sistemelor de ape uzate și a instalațiilor industriale [3].

Marea Neagră reprezintă un studiu de caz deosebit de sensibil datorită caracterului său semiînchis și schimbului limitat de apă, ceea ce o face vulnerabilă la acumularea poluanților [4]. Conflictul ruso-ucrainean în desfășurare a intensificat presiunile asupra mediului prin deversări de petrol, distrugerea infrastructurii și perturbarea sistemelor de guvernanță de mediu [5]. Aceste condiții evidențiază limitele sistemelor convenționale de monitorizare și necesitatea unor cadre integrate care să combine datele de teren, teledetecția, modelarea și tehnologiile autonome.

Acest ghid, elaborat în cadrul proiectului Black Sea SIERRA, urmărește să ofere un cadru metodologic pentru monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate, aliniat la directive europene precum Directiva-cadru Strategia pentru mediul marin (MSFD) și Directiva-cadru privind apa (WFD), precum și la sisteme regionale, inclusiv BSIMAP și EMODnet.

1. Scop și domeniu de aplicare

Scopul acestui ghid este de a stabili un cadru metodologic și operațional pentru monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate, cu accent pe regiunea Mării Negre. Ghidul se adresează autorităților de mediu, institutelor de cercetare, laboratoarelor și factorilor de decizie.

Poluarea asociată conflictelor armate prezintă provocări diferite de monitorizarea convențională, din cauza apariției bruște, a incertitudinii privind compoziția poluanților și a constrângerilor operaționale [6].

Cadrul adoptă o abordare adaptivă, bazată pe risc, care acoperă întregul ciclu de monitorizare: identificarea surselor, proiectarea prelevării probelor, analiza de laborator, gestionarea datelor și raportarea.

Alinierea la cadrele europene și regionale, precum MSFD, WFD, BSIMAP, EMODnet Chemistry și WISE Marine, asigură interoperabilitatea datelor și comparabilitatea rezultatelor [7].

Domeniul geografic include apele costiere, estuarele, porturile, apele din larg și zonele marine influențate de râuri, afectate direct sau indirect de conflict.

Domeniul temporal include:

- răspunsul în situații de urgență (incidente imediate),
- evaluarea pe termen scurt (săptămâni până la luni),
- monitorizarea pe termen lung (refacerea ecosistemelor)

Din cauza caracterului transfrontalier al poluării marine, cooperarea regională este esențială pentru evaluare și management eficient.

1.1 Conflictul armat și factorii de stres asupra mediului marin

Conflictul armat introduce un spectru larg de factori de stres în ecosistemele marine și costiere, generând impacturi adesea imediate, cumulative, transfrontaliere și de lungă durată. Spre deosebire de sursele convenționale de poluare, presiunile de mediu asociate conflictelor armate sunt caracterizate prin apariție bruscă, imprevizibilitate și un grad ridicat de variabilitate spațială și temporală. Aceste caracteristici complică procesele de evaluare a mediului și cresc semnificativ

provocările operaționale asociate activităților de monitorizare și reducere a impactului [8].

Activitățile militare desfășurate în mediile costiere și din larg pot modifica direct ecosistemele marine prin explozii, bombardamente, detonări subacvatice, război naval și amplasarea minelor. Astfel de activități generează perturbări fizice intense, capabile să afecteze habitatele bentonice, să crească resuspensia sedimentelor, să modifice regimurile de turbiditate și să schimbe condițiile ecologice pe suprafețe marine extinse. Exploziile subacvatice pot genera, de asemenea, perturbări acustice care afectează populațiile de pești, mamiferele marine și comunitățile biologice sensibile. Unul dintre cele mai importante riscuri de mediu asociate războiului privește distrugerea infrastructurii industriale și energetice situate în zonele costiere. Porturile, terminalele petroliere, depozitele de combustibil, instalațiile petrochimice și sistemele de stocare industrială reprezintă adesea ținte strategice în timpul operațiunilor militare. Distrugerea acestora poate conduce la eliberarea necontrolată de hidrocarburi petroliere, substanțe chimice periculoase, metale grele, reziduuri de combustie și deșeuri industriale netratate în mediile marine înconjurătoare. În multe cazuri, astfel de emisii generează amestecuri complexe de contaminanți, al căror comportament în mediu și efecte toxicologice rămân dificil de prevăzut cu acuratețe [9].

Infrastructura hidraulică reprezintă o altă vulnerabilitate critică în timpul conflictelor armate. Avarii ale barajelor, stațiilor de pompare, rezervoarelor, instalațiilor de epurare a apelor uzate și sistemelor de distribuție a apei pot modifica profund regimurile hidrologice și condițiile de calitate a apei. Colapsul capacității de epurare a apelor uzate conduce frecvent la evacuarea directă a efluenților municipali și industriali netratați în râuri și ape costiere, crescând încărcările de nutrienți, contaminarea microbiologică și poluarea chimică. În același timp, distrugerea structurilor hidraulice poate declanșa procese extinse de transport al sedimentelor, capabile să redistribuie contaminanți acumulați de-a lungul deceniilor în sedimentele riverane și costiere [10].

Consecințele de mediu ale conflictului armat sunt amplificate în continuare de perturbările care afectează sistemele de guvernanță de mediu și infrastructurile de

monitorizare. Inspecțiile de mediu, activitățile de laborator, programele de monitorizare de teren și operațiunile de colectare a datelor sunt adesea întrerupte din cauza instabilității instituționale, restricțiilor de securitate, infrastructurii avariate și riscurilor ridicate pentru personalul științific. Aceste perturbări creează lacune substanțiale în informațiile de mediu exact atunci când evaluarea rapidă a mediului și capacitățile de răspuns în situații de urgență sunt cel mai necesare. În regiunea Mării Negre, aceste presiuni de mediu sunt intensificate de caracterul semiînchis al bazinului și de schimbul limitat de apă cu Marea Mediterană. Poluanții introduși în mediul marin pot persista perioade îndelungate și se pot acumula în sedimente, biotă și habitate costiere. În plus, sisteme fluviale majore, precum Dunărea, Niprul și Nistrul, facilitează transportul contaminanților proveniți din zone interioare afectate de conflict către mediul marin [11].

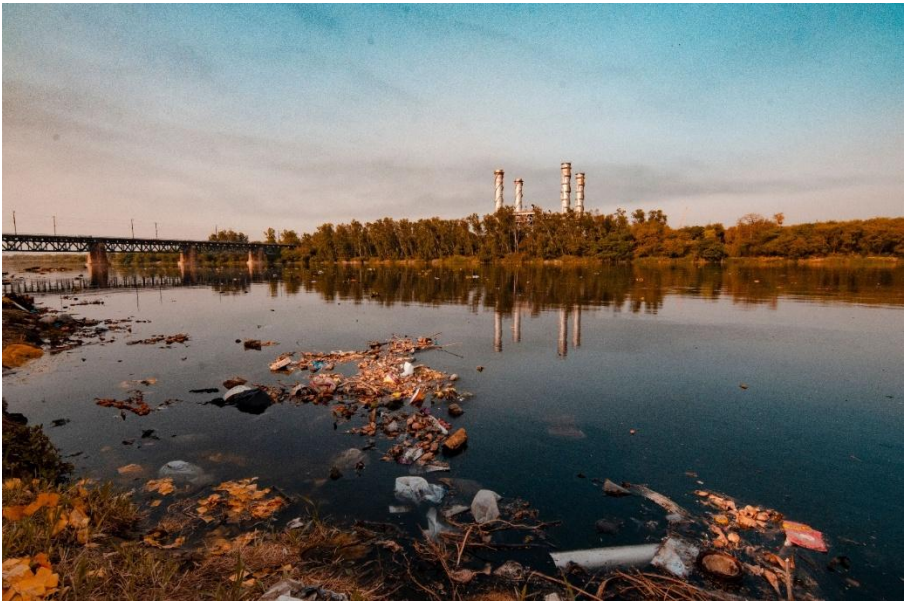

Foto 1: Apă costieră poluată, cu deșeuri și resturi plutitoare vizibile de-a lungul țărmului, ilustrând contaminarea antropică și degradarea mediului într-un ecosistem acvatic. Sursa: Pexels.

Pe lângă contaminarea chimică, conflictele armate generează cantități substanțiale de resturi și deșeuri solide. Infrastructura distrusă, echipamentele

militare, epavele, materialele plastice, materialele de construcție și componentele sintetice contribuie la creșterea nivelului de deșeuri marine și microplastice. Aceste materiale pot provoca daune fizice directe habitatelor și organismelor marine, acționând în același timp ca vectori pentru contaminanții periculoși adsorbiți pe suprafața lor.

1.2 Cadrul conceptual pentru monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate

Monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate necesită un cadru conceptual capabil să funcționeze în condiții de incertitudine, acces restricționat, riscuri de mediu în evoluție rapidă și limitări operaționale severe. Sistemele convenționale de monitorizare a mediului sunt, în general, concepute pentru evaluarea presiunilor antropice stabile, în condiții de reglementare și logistică previzibile. Poluarea asociată conflictelor armate introduce însă perturbări bruște și răspunsuri neliniare ale mediului, care necesită abordări de monitorizare mai flexibile și adaptive.

Cadrul conceptual propus în acest ghid se bazează pe integrarea evaluării de mediu bazate pe risc, a strategiilor adaptive de monitorizare și a sistemelor de integrare a datelor provenite din surse multiple. Obiectivul este de a asigura menținerea robusteții științifice a activităților de monitorizare a mediului, păstrând în același timp fezabilitatea operațională în condiții de conflict.

Prima componentă a cadrului vizează identificarea și caracterizarea surselor. Această etapă implică evaluarea sistematică a surselor potențiale de poluare asociate operațiunilor militare, infrastructurii avariate, instalațiilor industriale și accidentelor legate de conflict. Sursele potențiale pot include epave, depozite de combustibil, zone de operațiuni navale, instalații industriale, stații de epurare a apelor uzate, conducte avariate, depozite de deșeuri militare și sisteme fluviale contaminate. Caracterizarea acestor surse necesită, de asemenea, identificarea tipurilor potențiale de poluanți, a mecanismelor de eliberare și a căilor de transport în mediu.

A doua componentă se concentrează pe analiza căilor de transport în mediu. Odată introduși în mediile marine, contaminanții sunt transportați și transformați sub

influența proceselor hidrodinamice, fizico-chimice și biologice. Curenții oceanici, valurile, debitele fluviale, transportul sedimentelor, gradientele de salinitate și condițiile meteorologice contribuie la determinarea modelelor de dispersie și a destinului contaminanților în mediu. În condiții de conflict, aceste căi pot evolua rapid din cauza regimurilor hidrologice modificate, a infrastructurii avariate sau a intervențiilor de răspuns în situații de urgență.

A treia componentă implică evaluarea receptorilor și a impactului. Această etapă se concentrează pe identificarea ecosistemelor, habitatelor, speciilor și activităților umane potențial afectate de evenimentele de contaminare. Ariile marine protejate, zonele de pescuit, amplasamentele de acvacultură, zonele de recoltare a moluștelor, zonele turistice și prizele de apă pot reprezenta receptori prioritari care necesită o atenție sporită în monitorizare [12]. Evaluarea receptorilor ia, de asemenea, în considerare vulnerabilitatea ecologică, durata expunerii, persistența poluanților și procesele potențiale de bioacumulare în rețelele trofice marine.

Aceste trei componente sunt integrate într-un ciclu dinamic de monitorizare, alcătuit din observație, analiză, interpretare și feedback adaptiv. Prioritățile de monitorizare trebuie actualizate continuu pe baza informațiilor nou obținute, a condițiilor de mediu în evoluție și a constrângerilor operaționale în schimbare. Astfel de structuri adaptive de monitorizare sunt deosebit de importante în scenariile de conflict, în care riscurile de mediu și condițiile de accesibilitate se pot modifica rapid în timp [13].

O caracteristică importantă a cadrului este integrarea mai multor tehnologii de monitorizare și surse de date. Prelevările de teren, analizele de laborator, teledetecția satelitară, sistemele autonome, modelarea hidrodinamică și bazele de date regionale de mediu furnizează informații complementare necesare pentru o evaluare cuprinzătoare a mediului. Combinarea acestor abordări crește acoperirea spațială, îmbunătățește rezoluția temporală și reduce dependența de accesul direct pe teren în zonele periculoase [14].

2. Principalele presiuni și căi de poluare asociate conflictelor armate

Conflictul armat generează numeroase căi prin care poluanții pot pătrunde în mediile marine și costiere. Aceste căi implică atât mecanisme directe de contaminare asociate activităților militare, cât și procese indirecte legate de distrugerea infrastructurii, perturbarea industrială și modificarea condițiilor de management al mediului. Înțelegerea acestor căi este esențială pentru identificarea priorităților de monitorizare și proiectarea unor strategii eficiente de evaluare a mediului.

Căile directe de poluare sunt asociate în principal operațiunilor militare desfășurate în mediile costiere și din larg. Activitățile de luptă navală, detonările subacvatice, bombardamentele, atacurile cu rachete, exploziile minelor și scufundarea navelor pot elibera substanțe periculoase direct în apa de mare și în sedimente. Echipamentele militare, reziduurile de muniție, produsele de combustie și infrastructura avariată pot contribui la evenimente de contaminare localizate sau extinse [15].

Epavele reprezintă surse de poluare pe termen lung deosebit de importante în mediile marine afectate de conflict. Procesele de coroziune care apar în timp pot elibera treptat produse petroliere, metale grele, compuși antivegetativi și materiale de marfă periculoase în ecosistemele înconjurătoare. În cazurile care implică petroliere sau nave de transport industrial, contaminarea poate persista timp de decenii și poate afecta progresiv calitatea sedimentelor, habitatele bentonice și rețelele trofice marine [16].

Exploziile și atacurile produse în apropierea instalațiilor industriale pot declanșa, de asemenea, evenimente secundare de contaminare care implică substanțe chimice periculoase, depozite de deșeuri industriale, sisteme de stocare a combustibililor și materiale de infrastructură contaminate. Incendiile asociate atacurilor militare pot genera contaminanți atmosferici capabili să fie transportați prin atmosferă și depuși în mediile marine prin precipitații [17]. Sistemele fluviale constituie o altă cale majoră pentru poluarea marină asociată conflictelor armate. Râurile care traversează teritorii afectate de conflict pot

transporta sedimente contaminate, ape uzate netratate, substanțe chimice industriale, poluanți agricoli și resturi către apele costiere. Sistemele fluviale majore ale Mării Negre joacă un rol deosebit de important în redistribuirea contaminanților proveniți din regiunile interioare către ecosistemele marine [18].

Procesele de transport al sedimentelor sunt deosebit de importante în scenariile de mediu asociate conflictelor armate. Exploziile, activitățile de dragare, mișcările navelor, modificările hidrodinamice și cedările infrastructurii hidraulice pot resuspenda sedimente contaminate și pot crește biodisponibilitatea contaminanților. Sedimentele cu granulație fină pot adsorbi hidrocarburi, metale, explozivi și poluanți organici persistenți, acționând atât ca rezervoare temporare, cât și ca surse secundare de contaminare [19].

Resturile marine generate în timpul conflictelor reprezintă o presiune de mediu suplimentară și tot mai importantă. Infrastructura distrusă, materialele plastice, fragmentele de epave, fibrele sintetice și fragmentele de echipamente militare se pot acumula în habitatele costiere și în zonele din larg. Dincolo de impacturile fizice directe asupra organismelor și habitatelor marine, materialele de tip resturi pot adsorbi substanțe toxice și pot facilita transportul acestora în sistemele marine. Procesele de fragmentare contribuie, de asemenea, la generarea de microplastice capabile să intre în rețelele trofice marine și să transporte contaminanții asociați.

Interacțiunea dintre aceste multiple căi de contaminare creează condiții de mediu foarte eterogene, caracterizate prin variabilitate spațială și temporală semnificativă. În consecință, programele de monitorizare trebuie să adopte abordări integrate, capabile să combine observațiile de teren, tehnologiile de teledetecție, modelarea hidrodinamică și metodologiile de evaluare a riscului de mediu pentru a surprinde în mod adecvat complexitatea dinamicii poluării marine asociate conflictelor armate.

2.1 Poluanți prioritari și semnături chimice specifice conflictelor armate

Poluarea marină asociată conflictelor armate este caracterizată prin eliberarea unei game largi de substanțe periculoase provenite din activități militare, infrastructură industrială avariată, procese de combustie și deversări chimice accidentale. Spre deosebire de scenariile convenționale de poluare marină,

contaminarea asociată războiului implică adesea amestecuri complexe de poluanți introduși simultan în mediu, în condiții necontrolate. Aceste amestecuri pot avea efecte cumulative, sinergice sau ecologice pe termen lung, care complică activitățile de evaluare și remediere a mediului.

Printre cei mai importanți poluanți asociați conflictelor armate se numără hidrocarburile petroliere provenite de la nave avariate, depozite de combustibil, rafinării, conducte și infrastructură portuară. Deversările de petrol generate în timpul operațiunilor militare se pot răspândi rapid pe suprafețe marine extinse, afectând calitatea apei, sedimentele, habitatele costiere, pescăriile și biodiversitatea marină [20]. În bazine semiînchise precum Marea Neagră, persistența hidrocarburilor poate fi deosebit de îndelungată, din cauza schimbului limitat de apă și a capacității reduse de diluție.

Metalele grele reprezintă, de asemenea, o categorie majoră de poluanți asociați conflictelor. Muniția militară, explozivii, instalațiile industriale distruse, epavele și reziduurile de combustie pot elibera cantități substanțiale de plumb, mercur, cadmiu, cupru, zinc, crom, nichel și arsen în ecosistemele marine [21]. Acești contaminanți pot persista în sedimente perioade îndelungate și pot reprezenta riscuri ecologice cronice pentru organismele bentonice, populațiile de pești și nivelurile trofice superioare.

Compușii explozivi și materialele energetice constituie o altă semnătură chimică specifică a conflictului armat. Substanțe precum TNT, RDX, HMX, perclorații și alți explozivi militari pot pătrunde în mediile marine prin muniții neexplodate, reziduuri de muniție, detonări subacvatice și eliminarea deșeurilor militare [22]. În timp, procesele de coroziune care afectează munițiile scufundate pot elibera treptat aceste substanțe în apele și sedimentele înconjurătoare, creând hotspoturi persistente de contaminare.

Poluanții organici persistenți (POPs) pot fi, de asemenea, mobilizați în timpul conflictelor ca urmare a distrugerii instalațiilor industriale, siturilor contaminate, transformatoarelor și zonelor de depozitare a deșeurilor. Bifenilii policlorurați (PCBs), dioxinele, pesticidele și alți contaminanți persistenți pot rămâne în ecosistemele marine timp de decenii, din cauza rezistenței lor la degradarea în mediu

[23]. Potențialul ridicat de bioacumulare al acestora crește riscurile pentru rețelele trofice marine și pentru sănătatea umană, în special în regiunile dependente de pescuit și consumul de produse marine. O altă preocupare emergentă implică deșeurile marine și contaminarea cu microplastice asociate distrugerilor asociate războiului. Infrastructura avariată, echipamentele militare, materialele sintetice, deșeurile de construcții și zonele urbane distruse generează cantități mari de deșeuri capabile să ajungă în sistemele marine prin transport fluvial, eroziune costieră și depunere directă [24]. Procesele de fragmentare pot genera ulterior microplastice care interacționează cu alți contaminanți și facilitează transportul acestora în rețelele trofice marine.

Poluarea cu nutrienți și contaminarea microbiologică pot crește, de asemenea, substanțial în timpul conflictelor, din cauza colapsului sistemelor de epurare a apelor uzate și a perturbărilor care afectează infrastructura sanitară. Evacuările de ape uzate netratate pot crește concentrațiile de azot, fosfor, agenți patogeni și microorganisme rezistente la antibiotice în apele costiere, contribuind la procese de eutrofizare și la riscuri pentru sănătatea publică [25].

Înțelegerea comportamentului în mediu al acestor poluanți este esențială pentru proiectarea unor strategii eficiente de monitorizare. Diferitele grupe de contaminanți prezintă grade diferite de persistență, mobilitate, toxicitate și biodisponibilitate. În consecință, programele de monitorizare trebuie să adopte abordări analitice multidisciplinare, capabile să răspundă complexității scenariilor de contaminare asociate războiului.

2.2 Matrici de mediu și domenii de monitorizare

Monitorizarea eficientă a poluării marine asociate conflictelor armate necesită investigarea mai multor matrici de mediu, capabile să furnizeze informații complementare privind distribuția contaminanților, căile de transport, expunerea ecologică și impacturile de mediu pe termen lung. Selectarea domeniilor adecvate de monitorizare este fundamentală pentru obținerea unei înțelegeri cuprinzătoare a dinamicii poluării în ecosistemele marine și costiere. Coloana de apă reprezintă una dintre principalele matrici de monitorizare pentru detectarea evenimentelor acute de

poluare și evaluarea proceselor de dispersie a contaminanților. Activitățile de monitorizare în coloana de apă sunt deosebit de importante după deversări de petrol, deversări chimice, explozii sau evacuări de ape uzate asociate activităților militare. Parametrii evaluați în mod obișnuit includ hidrocarburi, metale dizolvate, nutrienți, materii în suspensie, oxigen dizolvat, salinitate, pH, turbiditate și indicatori microbiologici [26].

Apele de suprafață oferă frecvent primul indiciu al evenimentelor de contaminare în desfășurare, în special în cazurile care implică deversări petroliere sau resturi plutitoare. Totuși, monitorizarea apelor subterane/subsuperficiale și de adâncime poate fi, de asemenea, necesară, deoarece anumiți contaminanți prezintă procese de transport vertical și acumulare influențate de condițiile hidrodinamice și de interacțiunile cu sedimentele. În sistemele marine stratificate, precum Marea Neagră, structura verticală a coloanei de apă poate afecta semnificativ comportamentul contaminanților și disponibilitatea oxigenului. Sedimentele marine constituie o altă matrice de mediu critică, deoarece acționează atât ca rezervoare, cât și ca surse secundare de contaminare. Sedimentele cu granulație fină pot acumula hidrocarburi, metale grele, poluanți organici persistenți, reziduuri de explozivi și microplastice pe perioade îndelungate. Monitorizarea sedimentelor este, prin urmare, esențială pentru identificarea hotspoturilor de contaminare pe termen lung și evaluarea depunerii istorice a poluanților asociate activităților legate de conflict.

Analizele sedimentelor furnizează, de asemenea, informații importante privind persistența contaminanților, biodisponibilitatea și procesele potențiale de remobilizare. Perturbările generate de furtuni, operațiuni de dragare, mișcări ale navelor sau explozii pot resuspenda sedimente contaminate și pot crește riscurile de expunere pentru organismele marine. În consecință, programele de monitorizare a sedimentelor trebuie să includă atât analize chimice, cât și parametri de caracterizare fizică, precum distribuția granulometrică și conținutul de materie organică [27].

Monitorizarea biologică reprezintă o altă componentă esențială a cadrelor de evaluare a mediului. Organismele marine pot acumula contaminanți în țesuturi, furnizând informații valoroase privind biodisponibilitatea, transferul trofic și

expunerea ecologică. Midiile, speciile de pești, nevertebratele bentonice și comunitățile de plancton sunt frecvent utilizate ca bioindicatori pentru evaluarea tendințelor de contaminare și a efectelor ecologice [28]. Activitățile de biomonitorizare pot sprijini, de asemenea, evaluarea efectelor biologice subletale asociate contaminării asociate războiului, inclusiv genotoxicitatea, stresul oxidativ, afectarea reproducerii și modificările fiziologice. Astfel de abordări sunt deosebit de importante pentru evaluarea impacturilor cronice de mediu care pot să nu fie detectabile imediat prin analize chimice convenționale.

Habitatele și ecosistemele costiere necesită, de asemenea, o atenție dedicată în monitorizare, deoarece reprezintă frecvent zone cu sensibilitate ecologică ridicată și acumulare de poluanți. Zonele umede, lagunele, estuarele, pajiștile de iarbă de mare și zonele de reproducere pot fi deosebit de vulnerabile la contaminarea asociată deversărilor de petrol, transportului sedimentelor și evacuărilor de ape uzate [29]. Monitorizarea habitatelor trebuie să includă evaluări ale integrității ecologice, modificărilor biodiversității, degradării habitatelor și alterării funcțiilor ecosistemice. Monitorizarea deșeurilor și resturilor marine constituie un alt domeniu de monitorizare tot mai important în mediile afectate de conflict. Cantități mari de resturi generate în timpul războiului se pot acumula de-a lungul coastelor, în estuare și în zonele din larg. Prin urmare, programele de monitorizare trebuie să evalueze abundența, compoziția, distribuția spațială și procesele de fragmentare ale resturilor care contribuie la generarea microplasticelor [30].

Deoarece poluarea asociată conflictelor armate afectează simultan mai multe compartimente de mediu interconectate, strategiile de monitorizare trebuie să adopte abordări integrate și multidisciplinare. Combinarea observațiilor asupra apei, sedimentelor, biotei, habitatelor și resturilor permite o înțelegere mai cuprinzătoare a dinamicii contaminării și îmbunătățește fiabilitatea evaluărilor de mediu.

Foto 2: Cameră de control pentru monitorizarea mediului, cu mai multe tablouri de bord digitale în timp real utilizate pentru monitorizare continuă și integrarea datelor. Sursa: Pexels.

3. Abordări și metodologii de monitorizare

Proiectarea rețelelor de monitorizare pentru poluarea marină asociată conflictelor armate necesită o abordare strategică și bazată pe risc, capabilă să abordeze condiții de mediu foarte eterogene și constrângeri operaționale. Spre deosebire de programele convenționale de monitorizare a mediului, rețelele de monitorizare asociate conflictelor armate trebuie să rămână suficient de flexibile pentru a se adapta rapid la riscurile de mediu în evoluție, limitările de acces și hotspoturile emergente de contaminare [31].

Zonele hotspot reprezintă locații prioritare pentru activitățile de monitorizare datorită probabilității ridicate de contaminare și impact ecologic. Astfel de zone pot include porturi avariate, zone industriale costiere, terminale petroliere, zone de operațiuni navale, estuare care primesc debite fluviale contaminate și locații afectate de explozii subacvatice sau epave. Stațiile de monitorizare amplasate în aceste zone trebuie să sprijine atât activitățile de răspuns în situații de urgență, cât și obiectivele

de evaluare a mediului pe termen lung. Pe lângă stațiile hotspot, rețelele de monitorizare trebuie să includă situri de fond sau de referință, situate în afara influenței directe a surselor de poluare asociate conflictelor armate. Aceste stații de referință sunt esențiale pentru diferențierea contaminării asociate conflictului de condițiile de mediu preexistente și de presiunile antropice mai largi [32]. Siturile de fond sprijină, de asemenea, analiza tendințelor și facilitează interpretarea schimbărilor de mediu în timp.

Stațiile dispuse pe gradienți de-a lungul căilor de contaminare pot îmbunătăți înțelegerea transportului și dispersiei poluanților. Astfel de stații sunt deosebit de utile în apropierea gurilor de vărsare ale râurilor, curenților costieri, zonelor de evacuare a apelor uzate și coridoarelor de transport al sedimentelor. Monitorizarea de-a lungul gradienților spațiali permite evaluarea proceselor de diluție, transformare și acumulare a contaminanților în ecosistemele marine.

Considerentele temporale joacă, de asemenea, un rol critic în proiectarea rețelelor de monitorizare. Monitorizarea de răspuns în situații de urgență poate necesita desfășurarea rapidă a unor stații temporare imediat după incidente de poluare, în timp ce programele de evaluare pe termen lung pot implica infrastructuri permanente sau semipermanente de monitorizare [33]. Variabilitatea sezonieră, ciclurile hidrologice, evenimentele de furtună și constrângerile operaționale trebuie luate în considerare la stabilirea calendarelor de prelevare și a frecvenței monitorizării.

Constrângerile de accesibilitate și siguranță reprezintă provocări operaționale majore în regiunile afectate de conflict. Anumite zone marine sau costiere pot deveni inaccesibile din cauza activității militare, munițiilor neexplodate, infrastructurii avariate sau restricțiilor de securitate. În consecință, rețelele de monitorizare trebuie să integreze tehnologii de teledetecție, platforme autonome de monitorizare și metode alternative de observare, capabile să reducă dependența de accesul direct pe teren.

Integrarea stațiilor fixe, a campaniilor mobile, a observațiilor satelitare și a sistemelor autonome oferă o reziliență operațională mai mare și îmbunătățește acoperirea spațială în condiții instabile. Astfel de arhitecturi integrate de

monitorizare sunt deosebit de importante în regiunea Mării Negre, unde condițiile de mediu și accesibilitatea operațională se pot modifica rapid în timp. Proiectarea rețelelor de monitorizare trebuie să asigure, de asemenea, compatibilitatea cu cadrele europene și regionale existente de monitorizare marină. Alinierea la descriptorii MSFD, metodologiile de evaluare WFD, structurile BSIMAP și standardele EMODnet facilitează interoperabilitatea datelor și contribuie la eforturi regionale mai ample de evaluare a mediului [34].

În cele din urmă, rețelele eficiente de monitorizare trebuie să echilibreze robustețea științifică, fezabilitatea operațională și capacitatea adaptivă. Natura dinamică a riscurilor de mediu asociate conflictelor armate impune sisteme de monitorizare capabile nu doar să documenteze evenimentele de contaminare, ci și să sprijine luarea rapidă a deciziilor de mediu, răspunsul în situații de urgență și refacerea ecosistemelor pe termen lung.

3.1 Strategii de prelevare, frecvență și operațiuni de teren

Strategiile de prelevare trebuie proiectate în conformitate cu un cadru bazat pe risc, care prioritizează zonele caracterizate prin probabilități ridicate de contaminare, vulnerabilitate ecologică și impacturi potențiale asupra activităților umane. Prioritate trebuie acordată, în general, zonelor afectate de deversări de petrol, accidente industriale, evacuări de ape uzate, explozii subacvatice, epave și debite fluviale contaminate [35]. În același timp, programele de monitorizare trebuie să mențină o acoperire spațială suficientă pentru a evalua căile de transport ale contaminanților și a identifica hotspoturile secundare de contaminare.

Prelevarea pentru răspuns în situații de urgență constituie una dintre cele mai critice componente ale monitorizării de mediu asociate conflictelor armate. Imediat după incidente de poluare, evaluarea rapidă a mediului este esențială pentru identificarea tipurilor de contaminanți, evaluarea riscurilor ecologice și sprijinirea proceselor decizionale de răspuns în situații de urgență. Campaniile de prelevare de urgență trebuie, prin urmare, să prioritizeze capacitățile de desfășurare rapidă și procedurile operaționale simplificate, capabile să genereze informații de mediu fiabile în intervale de timp limitate [36].

Frecvența temporală reprezintă un alt aspect fundamental în proiectarea monitorizării. Evenimentele acute de poluare pot necesita frecvențe intensive de prelevare pe termen scurt, în primele ore sau zile după incidentele de contaminare. Astfel de observații cu frecvență ridicată sunt deosebit de importante pentru fenomenele care evoluează rapid, precum deversările de petrol, eliberările chimice, evacuările de ape uzate sau evenimentele de resuspensie a sedimentelor. În timp, frecvența monitorizării poate trece treptat către programe de evaluare pe termen mediu și lung, axate pe persistența contaminanților, recuperarea ecologică și impacturile cronice asupra mediului [37]. Variabilitatea sezonieră trebuie, de asemenea, luată în considerare la proiectarea programelor de monitorizare.

Metodologiile de prelevare trebuie să rămână conforme cu standardele recunoscute la nivel internațional ori de câte ori acest lucru este fezabil operațional. Prelevarea din coloana de apă poate include colectarea de probe de suprafață, subsuprafață și de adâncime, în funcție de caracteristicile poluanților și de condițiile de mediu. Prelevarea sedimentelor trebuie să includă atât sedimente de suprafață, cât și carote mai adânci, acolo unde este necesară evaluarea contaminării pe termen lung. Prelevarea biotei se poate concentra pe specii bioindicatoare capabile să reflecte biodisponibilitatea contaminanților și procesele de transfer trofic [38].

Operațiunile de teren desfășurate în regiunile afectate de conflict trebuie să pună un accent deosebit pe siguranța personalului și pregătirea operațională. Echipele de monitorizare a mediului pot întâmpina riscuri asociate munițiilor neexplodate, activității militare, infrastructurii avariate, expunerii chimice și zonelor de navigație restricționate. În consecință, operațiunile de teren trebuie precedate de evaluări detaliate ale riscurilor și coordonate cu autoritățile relevante responsabile de siguranța maritimă și protecția civilă [39].

Tehnologiile de monitorizare la distanță și autonome pot îmbunătăți substanțial siguranța operațională și continuitatea datelor în condiții periculoase. Vehiculele autonome de suprafață, dronele subacvatice, platformele de teledetecție și observațiile satelitare pot sprijini activitățile de evaluare a mediului în zone în care accesul direct pe teren este limitat sau nesigur. Aceste tehnologii îmbunătățesc, de

asemenea, acoperirea temporală și permit monitorizarea aproape în timp real a evenimentelor de contaminare cu evoluție rapidă [40].

Procedurile de asigurare a calității trebuie să rămână, de asemenea, parte integrantă a operațiunilor de teren desfășurate în condiții de urgență. Chiar și în campaniile de răspuns rapid, protocoalele standardizate de prelevare, procedurile privind lanțul de custodie, măsurile de prevenire a contaminării și înregistrarea metadatelor rămân esențiale pentru asigurarea fiabilității și comparabilității datelor.

3.2 Metode analitice, proceduri de laborator și QA/QC

Activitățile analitice desfășurate în cadrul monitorizării poluării marine asociate conflictelor armate trebuie să asigure standarde ridicate de fiabilitate științifică, comparabilitate și trasabilitate, în pofida provocărilor operaționale asociate condițiilor de răspuns în situații de urgență și infrastructurii avariate.

Analizele de laborator reprezintă o componentă fundamentală a evaluării de mediu, deoarece furnizează informațiile cantitative necesare pentru identificarea contaminanților, evaluarea riscurilor ecologice și sprijinirea deciziilor privind remedierea și politicile publice. Selectarea metodelor analitice trebuie ghidată de caracteristicile poluanților așteptați, obiectivele monitorizării, capacitățile de laborator disponibile și standardele internaționale aplicabile. Având în vedere complexitatea scenariilor de contaminare asociate războiului, programele de monitorizare necesită frecvent abordări analitice multidisciplinare, capabile să vizeze simultan hidrocarburi, metale grele, compuși explozivi, poluanți organici persistenți, nutrienți, contaminanți microbiologici și microplastice [41].

Analizele hidrocarburilor se concentrează, în general, pe hidrocarburile petroliere totale (TPH), hidrocarburile aromatice policiclice (PAH), compușii organici volatili (VOC) și tehnici de caracterizare a amprentei petroliere capabile să identifice sursele de contaminare. Cromatografia gazoasă cuplată cu spectrometrie de masă (GC-MS) rămâne una dintre cele mai utilizate tehnici analitice pentru contaminanții petrolieri, datorită sensibilității și specificității sale [42].

Evaluarea metalelor grele include în mod obișnuit analiza mercurului, cadmiului, plumbului, cuprului, zincului, cromului, nichelului și arsenului în apă,

sedimente și țesuturi biologice. Spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS) și spectrometria de absorbție atomică (AAS) sunt frecvent utilizate pentru determinarea metalelor în urme, datorită preciziei analitice ridicate și limitelor reduse de detecție [43].

Analiza compușilor explozivi și a materialelor energetice necesită proceduri analitice specializate, din cauza proprietăților fizico-chimice și a comportamentului în mediu ale acestor substanțe. Cromatografia lichidă de înaltă performanță (HPLC), cromatografia lichidă cuplată cu spectrometrie de masă (LC-MS) și metodele conexe sunt aplicate în mod obișnuit pentru detectarea compușilor precum TNT, RDX, HMX și a produșilor lor de degradare în matricile de mediu [44].

Analizele microbiologice pot avea, de asemenea, un rol critic în monitorizarea asociată conflictelor armate, în special în zonele afectate de evacuări de ape uzate sau de infrastructură sanitară avariată. Parametrii evaluați frecvent includ bacteriile indicator fecale, microorganismele patogene și markerii rezistenței antimicrobiene, capabili să reprezinte riscurile pentru sănătatea publică asociate evacuărilor de ape uzate netratate [45].

Pe lângă analizele chimice, abordările de monitorizare a efectelor biologice pot sprijini evaluarea impacturilor ecologice subletale asociate contaminării asociate războiului. Analizele biomarkerilor, testele ecotoxicologice, testele de genotoxicitate și indicatorii fiziologici pot furniza informații valoroase privind biodisponibilitatea poluanților și răspunsurile biologice la stres, care pot să nu fie detectabile doar prin analize chimice [46].

Procedurile de asigurare și control al calității (QA/QC) sunt esențiale pentru asigurarea fiabilității și comparabilității rezultatelor analitice generate în condiții de conflict. Procedurile operaționale standard, protocoalele de calibrare, materialele de referință certificate, exercițiile de intercalibrare între laboratoare, analizele blank, probele duplicate și evaluările de recuperare trebuie integrate în fluxurile analitice ori de câte ori este fezabil [47].

Procedurile privind lanțul de custodie și documentarea metadatelor sunt la fel de importante pentru menținerea trasabilității și susținerea credibilității juridice și științifice a rezultatelor monitorizării. În scenariile asociate conflictelor armate,

datele de mediu pot contribui suplimentar la procesele de răspundere de mediu și la evaluările daunelor post-conflict, crescând importanța unor proceduri analitice transparente și bine documentate.

Integrarea monitorizării microplasticelor în programele de evaluare a mediului asociate conflictelor armate extinde substanțial domeniul diagnostic al datelor colectate. Rezultatele fiabile necesită echipamente de prelevare dedicate, inerte, filtrare secvențială (plase de 333 µm și 10 µm) și, pentru sedimente, separare pe densitate urmată de digestia materiei organice. Identificarea polimerilor trebuie confirmată prin spectroscopie FTIR sau Raman, iar raportarea trebuie realizată conform standardelor MSFD TG-ML pentru a asigura comparabilitatea regională. Atunci când condițiile de teren sau constrângerile de acces limitează capacitatea de laborator, spectrometrele FTIR portabile reprezintă o alternativă valoroasă și deployabilă [48].

3.3 Teledetecție, modelare și sisteme autonome

Tehnologiile de teledetecție, sistemele autonome de monitorizare și instrumentele de modelare numerică reprezintă componente tot mai importante ale cadrelor de monitorizare a mediului concepute pentru mediile marine afectate de conflict. Aceste tehnologii îmbunătățesc semnificativ capacitatea de monitorizare în condiții în care accesul direct pe teren este restricționat, periculos sau imposibil din punct de vedere operațional.

Teledetecția satelitară furnizează observații la scară largă și aproape în timp real, capabile să sprijine detectarea și evaluarea deversărilor de petrol, sedimentelor în suspensie, înfloririlor algale, acumulării de resturi, deteriorării zonelor costiere și modificărilor hidrodinamice. Sistemele satelitare optice și radar sunt deosebit de valoroase deoarece permit observații de mediu pe regiuni marine extinse, reducând dependența de operațiunile directe de teren [49].

Imagistica radar cu apertură sintetică (SAR) s-a dovedit deosebit de utilă pentru detectarea deversărilor de petrol și a anomaliilor de la suprafața mării în condiții meteorologice diverse, inclusiv în medii acoperite de nori. Sistemele SAR pot identifica petele de petrol pe baza modificărilor rugozității suprafeței mării și

sunt, prin urmare, utilizate pe scară largă în cadrele operaționale de supraveghere a poluării marine [50]. Imagistica satelitară optică sprijină suplimentar evaluarea turbidității, a concentrațiilor de clorofilă, a penelor de sedimente și a schimbărilor habitatelor costiere asociate perturbărilor de mediu legate de conflict.

Tehnologiile de teledetecție pot sprijini, de asemenea, activitățile de evaluare a daunelor după atacuri asupra instalațiilor industriale, porturilor, barajelor și infrastructurii costiere. Imaginile de înaltă rezoluție pot facilita identificarea surselor de poluare, a distrugerilor de infrastructură, a modificărilor liniei țărmului și a modelelor de distribuție a resturilor, contribuind cu informații valoroase la coordonarea răspunsului în situații de urgență și la evaluarea riscului de mediu [51].

Platformele autonome de monitorizare îmbunătățesc suplimentar flexibilitatea operațională și acoperirea de mediu în zone periculoase sau inaccesibile. Vehiculele autonome de suprafață (ASV), vehiculele autonome subacvatice (AUV), vehiculele operate de la distanță (ROV) și geamandurile instrumentate pot colecta date de mediu fără a expune personalul la riscuri operaționale directe. Aceste sisteme pot sprijini monitorizarea calității apei, cartarea fundului marin, detectarea contaminanților și inspecțiile infrastructurii subacvatice [52]. Instrumentele de modelare numerică constituie o altă componentă esențială a cadrelor integrate de monitorizare. Modelele hidrodinamice, modelele de traiectorie ale deversărilor de petrol, simulările transportului sedimentelor și modelele de dispersie a contaminanților sprijină predicția căilor de transport al poluanților și a scenariilor de expunere în mediu. Aceste modele sunt deosebit de importante în situațiile de răspuns în urgență, deoarece ajută factorii de decizie să identifice zonele potențial afectate și să prioritizeze măsurile de intervenție [53].

Abordările de modelare sprijină suplimentar evaluarea de mediu pe termen lung, îmbunătățind înțelegerea persistenței contaminanților, a proceselor de acumulare în sedimente, a traiectoriilor de refacere a ecosistemelor și a dinamicii poluării transfrontaliere în bazinul Mării Negre. Integrarea rezultatelor modelării cu observațiile de teren și datele de teledetecție îmbunătățește substanțial fiabilitatea evaluărilor de mediu și facilitează analiza scenariilor în condiții de incertitudine. În pofida avantajelor semnificative, teledetecția și modelarea nu trebuie considerate

înlocuitori ai activităților convenționale de monitorizare de teren. Aceste tehnologii trebuie integrate în sisteme multidisciplinare mai ample de monitorizare, capabile să combine observațiile directe, analizele de laborator, platformele autonome și instrumentele predictive. Astfel de abordări integrate oferă cel mai ridicat nivel de fiabilitate a evaluării de mediu și reziliență operațională în condiții de conflict.

3.4 Gestionarea datelor, integrare și sisteme de raportare

Monitorizarea eficientă a poluării marine asociate conflictelor armate necesită sisteme robuste de gestionare a datelor, capabile să asigure accesibilitatea, interoperabilitatea, trasabilitatea și păstrarea pe termen lung a datelor. Informațiile de mediu generate în situații de conflict provin adesea de la mai multe instituții, laboratoare, platforme de monitorizare și activități de răspuns în situații de urgență. În consecință, structurile armonizate de date și procedurile standardizate de raportare sunt esențiale pentru asigurarea consecvenței și comparabilității între seturile de date. Cadrele de gestionare a datelor trebuie să sprijine integrarea observațiilor de teren, analizelor de laborator, produselor satelitare, rezultatelor modelării și sistemelor autonome de monitorizare într-o structură operațională comună. Standardizarea metadatelor, metodologiilor de prelevare, unităților analitice și referințelor geospațiale este deosebit de importantă pentru facilitarea cooperării regionale și a evaluării transfrontaliere de mediu [54].

Compatibilitatea cu infrastructurile europene și regionale existente pentru date marine trebuie, de asemenea, prioritizată. Rezultatele monitorizării generate în zonele afectate de conflict trebuie să rămână interoperabile cu sisteme precum EMODnet Chemistry, WISE Marine și platformele de raportare MSFD, pentru a sprijini evaluarea de mediu pe termen lung și dezvoltarea politicilor [55].

Mecanismele rapide de schimb de informații sunt la fel de importante în situațiile de răspuns în urgență. Diseminarea la timp a informațiilor de mediu poate sprijini operațiunile de răspuns la poluare, siguranța navigației, protecția sănătății publice și activitățile de coordonare regională. Din acest motiv, sistemele de monitorizare trebuie să includă proceduri pentru validarea datelor, raportare rapidă și schimb securizat de informații între instituțiile relevante.

4. Implementare, guvernanță și aplicații

Activitățile de monitorizare a mediului desfășurate în regiunile afectate de conflict implică provocări operaționale, logistice și etice semnificative. Considerentele de siguranță trebuie să rămână prioritatea principală pe parcursul tuturor operațiunilor de monitorizare, în special în zone afectate de activități militare active, muniții neexplodate, infrastructură avariată sau surse de contaminare periculoase [56]. Constrângerile operaționale pot include, de asemenea, acces limitat la stațiile de monitorizare, infrastructură de transport avariată, întreruperi ale sistemelor de comunicații și lipsa echipamentelor analitice sau a reactivilor de laborator. În aceste condiții, abordările adaptive de monitorizare și utilizarea tehnologiilor la distanță devin esențiale pentru menținerea capacității de evaluare a mediului.

Considerentele etice joacă, de asemenea, un rol important în monitorizarea de mediu asociată conflictelor armate. Activitățile de monitorizare trebuie să evite creșterea riscurilor pentru comunitățile locale și să asigure gestionarea responsabilă a informațiilor de mediu sensibile. Transparența, integritatea științifică și respectarea principiilor internaționale de mediu și umanitare trebuie să rămână elemente centrale ale tuturor operațiunilor de monitorizare [57].

4.1 Prioritizare bazată pe risc și monitorizare adaptivă

Având în vedere complexitatea și amploarea impacturilor de mediu asociate conflictelor armate, activitățile de monitorizare trebuie prioritizate conform principiilor evaluării bazate pe risc. Nu toate zonele contaminate pot fi monitorizate simultan, în special în condiții de resurse limitate și accesibilitate restricționată. Prioritățile de monitorizare trebuie să se concentreze asupra zonelor caracterizate prin vulnerabilitate ecologică ridicată, riscuri semnificative de contaminare și impacturi potențiale asupra sănătății umane și activităților economice [58]. Evaluările de risc trebuie să ia în considerare mai mulți factori, inclusiv toxicitatea poluanților, persistența, potențialul de transport, sensibilitatea ecosistemelor, căile de expunere și prezența habitatelor critice sau a activităților socio-economice.

Zonele umede costiere, zonele de pescuit, ariile marine protejate și zonele costiere dens populate pot necesita o atenție deosebită în monitorizare, datorită importanței lor ecologice și socio-economice.

Monitorizarea adaptivă reprezintă un alt principiu esențial pentru evaluarea de mediu asociată conflictelor armate. Sistemele de monitorizare trebuie să rămână suficient de flexibile pentru a răspunde rapid la schimbarea condițiilor de mediu, la surse de poluare nou identificate și la constrângeri operaționale în evoluție [59]. Aceasta poate implica modificarea frecvențelor de prelevare, relocarea stațiilor de monitorizare, integrarea unor tehnologii suplimentare sau extinderea parametrilor analitici în funcție de riscurile de mediu emergente. Integrarea abordărilor adaptive de monitorizare îmbunătățește reziliența și eficacitatea cadrelor de evaluare a mediului în condiții instabile și contribuie la alocarea mai eficientă a resurselor de monitorizare.

4.2 Foaie de parcurs pentru implementare

Implementarea unui cadru de monitorizare a poluării marine asociate conflictelor armate trebuie să urmeze o abordare etapizată și realistă operațional, capabilă să se adapteze la schimbarea condițiilor de mediu și geopolitice. Etapele inițiale de implementare trebuie să prioritizeze coordonarea instituțională, pregătirea pentru răspuns în situații de urgență și capacitatea de evaluare rapidă a mediului.

Prima etapă de implementare trebuie să implice stabilirea unor mecanisme de coordonare între autoritățile de mediu, instituțiile de cercetare, laboratoare, agențiile maritime și organizațiile regionale. Această etapă trebuie să includă, de asemenea, identificarea hotspoturilor prioritare de poluare, a capacităților existente de monitorizare, a seturilor de date disponibile și a constrângerilor operaționale.

A doua etapă trebuie să se concentreze pe desfășurarea activităților de monitorizare de bază în zonele cu prioritate ridicată. Rețelele inițiale de monitorizare pot include un număr limitat de stații selectate strategic, combinate cu observații satelitare și proceduri de prelevare pentru răspuns rapid. În această etapă, metodologiile armonizate și procedurile QA/QC trebuie implementate progresiv [60].

Etapele ulterioare de implementare pot implica extinderea rețelelor de monitorizare, integrarea tehnologiilor autonome, consolidarea capacităților de laborator și creșterea interoperabilității cu sistemele regionale și europene de raportare. Implementarea pe termen lung trebuie să sprijine, de asemenea, evaluarea refacerii ecosistemelor, dezvoltarea politicilor și procesele de guvernanță de mediu. O strategie de implementare etapizată îmbunătățește fezabilitatea operațională, permițând în același timp sistemelor de monitorizare să evolueze progresiv în funcție de resursele disponibile, prioritățile de mediu și capacitățile de cooperare regională.

4.3 Aplicare regională: contextul Mării Negre

Marea Neagră reprezintă una dintre cele mai vulnerabile mări regionale din Europa din punct de vedere al mediului și constituie un studiu de caz deosebit de relevant pentru aplicarea cadrelor de monitorizare a poluării marine asociate conflictelor armate. Configurația sa semiînchisă, schimbul limitat de apă cu Marea Mediterană, aporturile fluviale extinse și presiunile antropice intense fac bazinul foarte sensibil la acumularea poluanților și degradarea ecosistemelor [61]. Conflictul în desfășurare care implică Ucraina a generat multiple presiuni de mediu care afectează mediul marin al Mării Negre. Deversările de petrol, infrastructura industrială avariată, evacuările de ape uzate, transportul resturilor și procesele de redistribuire a sedimentelor au contribuit la creșterea incertitudinii de mediu în regiune. În plus, distrugerea infrastructurii hidraulice a modificat dinamica transportului fluvial și poate influența modelele de dispersie a contaminanților în apele costiere din nord-vestul Mării Negre [62].

Marea Neagră prezintă, de asemenea, provocări importante de management transfrontalier al mediului. Poluanții introduși într-o parte a bazinului pot fi transportați peste frontierele naționale prin circulație hidrodinamică și sisteme fluviale. În consecință, monitorizarea și evaluarea de mediu eficiente necesită cooperare regională puternică și metodologii armonizate între țările și instituțiile din regiunea Mării Negre [63].

Foto 3: Marea Neagră după distrugerea hidrocentralei Kahovka în iunie 2023.
Sursa: Ivan Strakhov

Cadrele regionale existente, precum Programul integrat de monitorizare și evaluare a Mării Negre (BSIMAP), împreună cu inițiative europene precum EMODnet și Copernicus Marine Service, oferă fundamente importante pentru dezvoltarea sistemelor integrate de monitorizare asociate conflictelor armate în cadrul bazinului.

4.4 Integrarea cu cadrele europene și internaționale

Un obiectiv esențial al acestui ghid este asigurarea compatibilității dintre activitățile de monitorizare asociate conflictelor armate și sistemele europene și internaționale existente de guvernanță a mediului marin. Armonizarea cu cadrele consacrate îmbunătățește comparabilitatea datelor, facilitează cooperarea regională și sprijină integrarea informațiilor de mediu asociate conflictelor armate în procesele mai ample de evaluare marină [64].

Directiva-cadru Strategia pentru mediul marin (MSFD) reprezintă unul dintre principalele instrumente de politică europeană relevante pentru monitorizarea

mediului marin. MSFD stabilește un cadru cuprinzător pentru atingerea stării ecologice bune (Good Environmental Status - GES) în apele marine europene și include descriptori care vizează contaminanții, deșeurile marine, biodiversitatea, eutrofizarea și modificările hidrografice [65]. Mulți dintre acești descriptori sunt direct relevanți pentru evaluarea consecințelor de mediu ale conflictului armat.

Directiva-cadru privind apa (WFD) oferă, de asemenea, îndrumări metodologice importante pentru monitorizarea apelor de tranziție și costiere, în special privind evaluarea stării chimice, indicatorii ecologici și abordările de management la nivel de bazin hidrografic. Deoarece mulți contaminanți asociați conflictelor sunt transportați prin sisteme fluviale, integrarea cu structurile WFD este deosebit de importantă în bazinul Mării Negre. Cadrele regionale de monitorizare, precum BSIMAP, metodologiile OSPAR, documentele de îndrumare HELCOM și standardele de date EMODnet oferă, de asemenea, referințe tehnice și operaționale valoroase pentru evaluarea de mediu armonizată [66]. Alinierea la aceste sisteme facilitează interoperabilitatea și contribuie la dezvoltarea unor strategii coordonate de monitorizare transfrontalieră.

Organizațiile internaționale au o funcție dublă în cadrul de guvernanță privind monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate: acționează ca autorități normative prin formularea și implementarea instrumentelor juridice internaționale menționate anterior și, în același timp, ca parteneri operaționali care oferă îndrumare tehnică, servicii satelitare, coordonare științifică și asistență pentru consolidarea capacităților. UNEP funcționează ca principala entitate ONU pentru evaluarea de mediu post-conflict și supraveghează implementarea dreptului internațional al mediului în situații afectate de conflict. IMO supraveghează MARPOL și Protocolul de la Londra, ambele stabilind norme tehnice obligatorii direct relevante pentru monitorizarea poluării în situații de conflict. IOC-UNESCO oferă infrastructură de date oceanografice și coordonare științifică vitală pentru zona Mării Negre. Agenția Europeană de Mediu furnizează statistici comparative de mediu și facilitează conformarea cu cerințele de raportare MSFD. Integrarea eficientă a activităților de monitorizare descrise în acest ghid cu mandatele și resursele tehnice ale acestor organizații este imperativă pentru a asigura credibilitatea științifică și caracterul

juridic defensabil al evaluărilor de mediu desfășurate în mediile marine afectate de conflict.

Convenția Națiunilor Unite asupra dreptului mării (UNCLOS, 1982) constituie principalul cadru juridic internațional care reglementează protecția mediului marin și trebuie citată explicit în orice document care abordează poluarea marină. Articolele 192-237 din UNCLOS stabilesc obligații obligatorii pentru toate statele de a proteja și conserva mediul marin, inclusiv în timpul conflictelor armate, și oferă baza juridică pentru jurisdicția de aplicare a legii asupra evenimentelor de poluare care au loc în apele costiere, zonele economice exclusive și marea liberă. În contextul Mării Negre, obligațiile UNCLOS se aplică tuturor statelor riverane și oferă mandatul juridic general în cadrul căruia funcționează mecanismele regionale de monitorizare și răspuns [67].

Convenția internațională pentru prevenirea poluării de către nave (MARPOL 73/78) reglementează evacuările operaționale și accidentale de petrol, substanțe lichide nocive, ape uzate, gunoi și poluanți atmosferici proveniți de la nave. Deși articolul 3(3) din MARPOL permite statelor să excepteze navele de război și navele aflate în serviciu guvernamental de la prevederile sale, multe state membre NATO și UE aplică voluntar standardele MARPOL flotelor lor navale. În mediile afectate de conflict, Anexa I MARPOL (petrol) și Anexa II (substanțe lichide nocive) oferă standardele tehnice de referință pentru clasificarea severității deversărilor și selectarea parametrilor analitici adecvați de monitorizare. Manualul IMO privind poluarea cu petrol (secțiunea IV) [10] trebuie citit împreună cu obligațiile MARPOL.

Dreptul internațional umanitar oferă cadrul juridic cel mai direct aplicabil pentru protecția mediului în timpul conflictelor armate active. Articolul 35(3) și articolul 55 din Protocolul adițional I la Convențiile de la Geneva (1977) interzic metodele sau mijloacele de război care sunt destinate sau se așteaptă să provoace daune extinse, pe termen lung și severe mediului natural. Aceste prevederi sunt obligatorii pentru statele părți la Protocol și constituie drept internațional cutumiar aplicabil tuturor părților la un conflict armat internațional [68]. Principiile ILC privind protecția mediului în raport cu conflictele armate (2022), adoptate de Comisia de Drept Internațional a ONU, consolidează și dezvoltă aceste obligații,

introducând principii aplicabile înainte, în timpul și după conflict și abordând în mod specific mediile marine și acvatice. Cadrele de monitorizare dezvoltate în baza acestui ghid pot genera date de mediu direct relevante pentru evaluarea conformării cu aceste norme și trebuie, prin urmare, proiectate având în vedere trasabilitatea probatorie [69].

Convenția privind interzicerea utilizării militare sau a oricărei alte utilizări ostile a tehnicilor de modificare a mediului (ENMOD, 1976) interzice manipularea deliberată a proceselor naturale, inclusiv a sistemelor hidrologice, ca armă de război. Deși calificarea juridică a unor astfel de evenimente depășește domeniul acestui ghid de monitorizare, cunoașterea obligațiilor ENMOD este relevantă pentru încadrarea dimensiunilor de guvernanță și răspundere de mediu în evaluarea de mediu post-conflict discutate în secțiunea 4.5 [70].

Convenția privind prevenirea poluării marine prin aruncarea deșeurilor și a altor materiale (Convenția de la Londra, 1972) și Protocolul său din 1996 reglementează eliminarea deliberată a materialelor reziduale în mare, inclusiv muniții și echipamente militare. Abordarea precaută a Protocolului privind evaluarea permiselor de dumping este direct relevantă pentru managementul post-conflict al epavelor militare scufundate, al munițiilor neexplodate și al resturilor de conflict acumulate în Marea Neagră. Monitorizarea munițiilor aruncate și a produșilor lor de degradare chimică (derivați de transformare TNT, RDX, HMX) trebuie desfășurată în conformitate cu cadrul de evaluare a deșeurilor al Protocolului de la Londra [71].

Convenția privind protecția Mării Negre împotriva poluării (Convenția de la București, 1992) este principalul instrument juridic regional care guvernează protecția mediului marin în Marea Neagră. Convenția de la București și cele trei protocoale ale sale, care acoperă sursele de poluare de origine terestră, dumpingul și biodiversitatea, sunt obligatorii pentru toate cele șase state riverane ale Mării Negre (Bulgaria, Georgia, România, Rusia, Turcia, Ucraina) și stabilesc fundamentul juridic pentru cadrele regionale de monitorizare menționate în acest ghid, inclusiv BSIMAP. Obligațiile stabilite în temeiul Convenției de la București oferă un punct de referință important pentru activitățile de monitorizare desfășurate în regiunea Mării Negre, inclusiv cele dezvoltate în cadrul proiectului Black Sea SIERRA.

Comisia Mării Negre (BSC), ca organism instituțional înființat în temeiul Convenției, joacă un rol central în schimbul transfrontalier de date și în evaluarea de mediu coordonată între statele riverane [72].

Convenția de la Basel privind controlul transporturilor transfrontaliere ale deșeurilor periculoase și eliminarea acestora (1989) este aplicabilă managementului fluxurilor de deșeuri periculoase generate de distrugerea instalațiilor industriale, a siturilor de stocare chimică și a instalațiilor militare în timpul conflictului. Resturile asociate conflictului care conțin poluanți organici persistenți, metale grele și reziduuri chimice reactive pot constitui deșeuri periculoase conform definițiilor Convenției de la Basel, iar transportul transfrontalier al materialelor contaminate pentru tratare sau eliminare necesită respectarea procedurilor de notificare și consimțământ prevăzute de Basel. Programele de monitorizare trebuie, prin urmare, să includă componente de caracterizare a deșeurilor, capabile să sprijine deciziile de clasificare a deșeurilor periculoase în temeiul dreptului național și internațional.

Convenția internațională privind răspunderea civilă pentru daunele cauzate de poluarea cu hidrocarburi (CLC, 1992) și Fondul internațional de compensare pentru poluarea cu hidrocarburi (IOPC Fund) oferă un cadru consacrat pentru compensare în cazurile de poluare cu hidrocarburi provenite de la nave, inclusiv cele avariate sau pierdute în timpul conflictelor armate. Datele de monitorizare a mediului generate în cadrul acestui ghid, care acoperă extinderea deversării, volumul și efectele ecologice, pot fi foarte relevante în astfel de procese, iar luarea în considerare a cerințelor probatorii CLC/IOPC la proiectarea protocoalelor de monitorizare ar putea spori utilitatea mai largă a datelor colectate.

4.5 Refacerea mediului, răspunderea de mediu și guvernanța pe termen lung

Activitățile de monitorizare a mediului desfășurate în timpul și după conflictele armate nu trebuie limitate doar la obiectivele de răspuns în situații de urgență. Sistemele de monitorizare joacă, de asemenea, un rol fundamental în sprijinirea refacerii ecosistemelor pe termen lung, a guvernanței de mediu și a proceselor de răspundere de mediu [73].

Datele de mediu pot contribui, de asemenea, la procese juridice și de politici publice legate de răspunderea de mediu și evaluarea daunelor. Rezultatele de monitorizare robuste din punct de vedere științific pot sprijini evaluările impactului asupra mediului, planificarea restaurării și discuțiile internaționale privind protecția mediului în timpul conflictelor armate [74]. Din acest motiv, activitățile de monitorizare trebuie să mențină standarde ridicate de transparență, consecvență metodologică și trasabilitate a datelor. Consolidarea capacităților de guvernanță de mediu este la fel de importantă pentru îmbunătățirea rezilienței de mediu pe termen lung în regiunile afectate de conflict. Cooperarea instituțională, mecanismele regionale de coordonare, schimbul de date științifice și standardele armonizate de monitorizare contribuie toate la un management mai eficient al mediului marin și la pregătirea pentru viitoare crize de mediu.

În cele din urmă, refacerea mediului în regiunea Mării Negre va depinde nu numai de activitățile de remediere, ci și de stabilirea unor sisteme integrate de guvernanță, capabile să sprijine protecția durabilă a mediului și cooperarea regională pe termen lung.

Concluzii

Poluarea marină asociată conflictelor armate reprezintă o provocare de mediu complexă și în evoluție, care necesită abordări de monitorizare integrate, adaptive și multidisciplinare. Consecințele de mediu ale războiului depășesc evenimentele imediate de contaminare și pot genera impacturi ecologice persistente, afectând ecosistemele marine, comunitățile costiere și sistemele regionale de guvernanță de mediu. Regiunea Mării Negre ilustrează importanța dezvoltării unor cadre operaționale de monitorizare capabile să funcționeze în condiții de incertitudine, acces restricționat și riscuri de mediu care se modifică rapid. Sistemele tradiționale de monitorizare a mediului nu sunt suficiente, singure, pentru a aborda complexitatea scenariilor de poluare asociate conflictelor armate. În schimb, cadrele eficiente de evaluare trebuie să integreze observațiile de teren, analizele de laborator, teledetecția satelitară, tehnologiile autonome, instrumentele de modelare și infrastructurile de date interoperabile [75].

Acest ghid propune un cadru metodologic conceput pentru a sprijini autoritățile de mediu, instituțiile științifice și organizațiile regionale implicate în monitorizarea poluării marine asociate conflictelor armate. Un accent deosebit a fost pus pe armonizarea cu cadrele europene și regionale existente de monitorizare, inclusiv sistemele MSFD, WFD, BSIMAP, EMODnet și WISE Marine [76]. Consolidarea cooperării regionale și a coordonării transfrontaliere va rămâne esențială pentru îmbunătățirea capacităților de evaluare și răspuns în bazinul Mării Negre [77]. Metodologiile comune de monitorizare, sistemele interoperabile de date și eforturile științifice coordonate pot îmbunătăți semnificativ pregătirea regională și reziliența mediului.

Privind spre viitor, dezvoltarea tehnologică continuă, utilizarea extinsă a teledetecției și a sistemelor autonome și integrarea îmbunătățită dintre știința mediului și politicile publice vor avea un rol tot mai important în abordarea poluării marine asociate conflictelor armate. Protecția pe termen lung a mediului în regiunea Mării Negre va depinde în cele din urmă de capacitatea instituțiilor și a actorilor regionali de a dezvolta sisteme adaptive de guvernanță, capabile să răspundă eficient la viitoare crize de mediu, sprijinind în același timp recuperarea durabilă a ecosistemelor și securitatea mediului [78].

Referințe

1. European Environment Agency (EEA), *Marine Messages II*, EEA Report No 17/2019. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-marine-biodiversity-remains-under-pressure/overall-biodiversity-condition-and-trends-in-europes-seas
2. UNEP (2009). *Protecting the Environment During Armed Conflict: An Inventory and Analysis of International Law*. Nairobi: United Nations Environment Programme. https://ceobs.org/wp-content/uploads/2018/03/int_law.pdf
3. CEOBS (2024). *The Environmental Consequences of the War in Ukraine*. Conflict and Environment Observatory. https://ceobs.org/wp-content/uploads/2024/03/The-environmental-consequences-of-the-war-against-Ukraine-Preliminary-twelve-month-assessment-summary-and-recommendations.pdf
4. Black Sea Commission, 2008. State of the Environment of the Black Sea (2001-2006/7). Edited by Temel Oguz. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008-3, Istanbul, Turkey, 448 pp. https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
5. Tuchkovenko, Y.S., & Stepanenko, S. (2023). "The impact of destruction of the Kakhovka dam on the environmental status of the north-western Black Sea". https://www.researchgate.net/publication/374523309_The_impact_of_destruction_of_the_Kakhovka_dam_on_the_environmental_status_of_the_Odesa_area_of_the_Black_Sea
6. UNEP (2009). Post-Conflict Environmental Assessment. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/17457
7. European Commission. 2020. Programmes of measures and Exceptions under the Marine Strategy Framework Directive - Recommendations for implementation and reporting for the updates in the 2nd cycle. DG Environment, Brussels. pp 54 (MSFD Guidance Document 10 - update)
8. EMODnet Chemistry Consortium documentation referenced in the Black Sea SIERRA D11 Deliverable. https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMsb96JZOFMI
9. Tornero & Hanke (2016). Marine Pollution Bulletin 112: 17–38. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.091
10. International Maritime Organization. (2006). *Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating Oil Spills* (2005 Edition). International Maritime Organization. https://doi.org/10.62454/KA569E
11. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
12. ICPDR (2021). Danube River Basin Management Plan. https://www.icpdr.org/sites/default/files/nodes/documents/danube_river_basin_management_plan_-_update_2021_full_text.pdf
13. Burton, G.A. (2002). Sediment Quality Criteria in Use Around the World. https://www.researchgate.net/publication/225126804_Sediment_quality_criteria_in_use_around_the_world
14. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/22255
15. HELCOM (2018). Monitoring Manual for Marine Environmental Assessment. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf

16. Spaans, M. (2020). *The effectiveness of Marine Protected Areas in protecting marine mammals from shipping interactions: A Risk Assessment approach* (Master's thesis, University of Groningen). University of Groningen Student Theses Repository https://fse.studenttheses.ub.rug.nl/22454/1/mEE_2020_SpaansM.pdf.pdf
17. Ling, M. A., Coppens, L., Macdevette, M. and Mapendembe, A. 2015. An Introduction to Environmental Assessment. Cambridge, UK. Available at: https://resources.unep-wcmc.org/products/WCMC_RT321.
18. MSFD Technical Group on Marine Litter, Galgani, F., Ruiz-Orejón, L. F., Ronchi, F., Tallec, K., Fischer, E. K., Matiddi, M.,Anastasopoulou, A., Andresmaa, E., Angiolillo, M., Bakker Paiva, M., Booth, A. M., Buhhalko, N., Cadiou, B., Clarò, F., Consoli, P., Darmon, G., Deudero, S., Fleet, D., Fortibuoni, T., Fossi, M.C., Gago, J., Gérigny, O., Giorgetti, A., González-Fernández, D., Guse, N., Haseler, M., Ioakeimidis, C., Kammann, U., Kühn, S., Lacroix, C., Lips, I., Loza, A. L., Molina Jack, M. E., Norén, K., Papadoyannakis, M., Pragnel-Raasch, H., Rindorf, A., Ruiz, M., Setälä, O., Schulz, M., Schultze, M, Silvestri, C., Soederberg, L., Stoica, E., Storr-Paulsen, M., Strand, J., Valente, T., van Franeker, J., van Loon, W. M. G. M., Vighi, M., Vinci, M., Vlachogianni, T., Volckaert, A., Weiel, S., Wenneker, B., Werner, S., Zeri, C., Zorzo, P., and Hanke, G., Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas An update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive, EUR 31539 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, ISBN 978-92-68-04093-5, doi:10.2760/59137, JRC133594
19. WHO (2018). *Guidelines on Sanitation and Health.* *https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2f17fb04-1425-4680-bf39-d5bb6da0b7ed/content*
20. International Maritime Organization. (2006). *Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating Oil Spills* (2005 Edition). International Maritime Organization. https://doi.org/10.62454/KA569E
21. OSPAR Commission. Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP) guidelines for the monitoring and assessment of seafloor litter: https://www.ospar.org/documents?v=37515
22. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
23. UNITAR-UNOSAT (2023). *Satellite Damage Assessment Methodologies* https://2023results.unitar.org/unosat
24. ESA (2021). *Synthetic Aperture Radar Applications for Marine Monitoring*. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Tracking_maritime_traffic
25. ITOPF (2021). Oil Spill Modelling and Response Tools. https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/oil-spill-modelling/
26. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
27. HELCOM (2018). Monitoring Manual for Marine Environmental Assessment. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf
28. Black Sea Commission (2009). *State of the Environment of the Black Sea*. https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
29. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
30. UNEP (2017). *Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern*. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/22255

31. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
32. WHO (2018). *Guidelines on Sanitation and Health.* *https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2f17fb04-1425-4680-bf39-d5bb6da0b7ed/content*
33. EMODnet Chemistry Consortium documentation referenced in the Black Sea SIERRA D11 Deliverable. https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMsb96JZOFMI
34. Ibid.
35. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
36. International Maritime Organization. (2006). *Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating Oil Spills* (2005 Edition). International Maritime Organization. https://doi.org/10.62454/KA569E
37. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
38. Burton, G.A. (2002). *Sediment Quality Criteria in Use Around the World*. https://www.researchgate.net/publication/225126804_Sediment_quality_criteria_in_use_around_the_world
39. Black Sea Commission (2009). *State of the Environment of the Black Sea*. https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
40. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
41. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
42. HELCOM (2018). Monitoring Manual for Marine Environmental Assessment. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf
43. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
44. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
45. EMODnet Chemistry Consortium documentation referenced in the Black Sea SIERRA D11 Deliverable. https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMsb96JZOFMI
46. UNEP (2021). From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
47. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
48. Tagg, A. S., Harrison, J. P., Ju-Nam, Y., Sapp, M., Bradley, E. L., Sinclair, C. J., & Ojeda, J. J. (2017). *Fenton's reagent for the rapid and efficient isolation of microplastics from wastewater*. Analytical Methods, 9(9), 1432-1440. doi:10.1039/C6AY02495B.
49. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/22255

50. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
51. HELCOM (2018). Monitoring Manual for Marine Environmental Assessment. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf
52. International Maritime Organization. (2006). Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating Oil Spills (2005 Edition). International Maritime Organization. https://doi.org/10.62454/KA569E
53. UNEP (2021). From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
54. OSPAR Commission. Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP) guidelines for the monitoring and assessment of seafloor litter: https://www.ospar.org/documents?v=37515
55. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
56. HELCOM (2018). Monitoring Manual for Marine Environmental Assessment. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf
57. International Maritime Organization. (2006). Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating Oil Spills (2005 Edition). International Maritime Organization. https://doi.org/10.62454/KA569E
58. Black Sea Commission (2009). State of the Environment of the Black Sea. https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
59. WHO (2018). Guidelines on Sanitation and Health. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2f17fb04-1425-4680-bf39-d5bb6da0b7ed/content
60. Galgani et al. (2023), Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas, EUR 31539 EN, JRC133594.
61. UNEP (2021). From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
62. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/22255
63. Ibid.
64. Ibid.
65. WHO (2018). Guidelines on Sanitation and Health. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/2f17fb04-1425-4680-bf39-d5bb6da0b7ed/content
66. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
67. United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), 1982, UN Treaty Series Vol. 1833, available at: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
68. Additional Protocol I to the Geneva Conventions, 1977, Articles 35 and 55, ICRC, available at: https://ihl-databases.icrc.org/en/ihl-treaties/api-1977
69. ILC, Draft Principles on Protection of the Environment in Relation to Armed Conflicts, 2022, UN Doc. A/77/10, available at: https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/commentaries/8_7_2022.pdf
70. ENMOD Convention, 1976, available at: https://www.un.org/disarmament/wmd/enmod/

71. London Protocol, 1996, available at: https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx
72. Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution (Bucharest Convention), 1992, available at: https://www.blackseacommission.org/the-bucharest-convention
73. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/22255
74. UNEP (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf
75. UNEP (2022). Environmental Governance and Accountability in Conflict Areas. https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/commentaries/8_7_2022.pdf
76. EMODnet Chemistry Consortium documentation referenced in the Black Sea SIERRA D11 Deliverable. https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMsb96JZOFMI
77. ESA (2021). Synthetic Aperture Radar Applications for Marine Monitoring. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Tracking_maritime_traffic
78. UNITAR-UNOSAT (2023). *Satellite Damage Assessment Methodologies* https://2023results.unitar.org/unosat