



Koordinator na projekt 101124670 – INCDPM
Инж. DEÁK György, Ph.D. Habil
Асоцииран член на О.С.Р. Академия (INCDPM)

Ръководство за специфични мерки за отстраняване на замърсяване от въоръжени конфликти Black Sea SIERRA



EDITURA UNIVERSITARĂ



РЪКОВОДСТВО ЗА СПЕЦИФИЧНИ ОЗДРАВИТЕЛНИ МЕРКИ ПРИ ЗАМЪРСЯВАНЕ ОТ ВЪОРЪЖЕНИ КОНФЛИКТИ

Black Sea SIERRA



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Koordinator na projekt 101124670 – Black Sea SIERRA

Инж. DEÁK György, Ph.D. Habil

асоцииран член на О.С.Р. Академия (INCDPM)

**РЪКОВОДСТВО ЗА СПЕЦИФИЧНИ
ОЗДРАВТЕЛНИ МЕРКИ ПРИ
ЗАМЪРСЯВАНЕ ОТ ВЪОРЪЖЕНИ
КОНФЛИКТИ**

Black Sea SIERRA



EDITURA UNIVERSITARĂ

București

Redactor: Laura Nicolescu
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
R''kovodstvo za specifični merki za odstraněvane na
zam''rsăvane ot v''or''ženi konflikti / koordinirane:
György Deák. - București : Editura Universitară, 2026
Conține bibliografie
ISBN 978-606-28-2350-4

I. Deák, György (coord.)

504
556

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062823504

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2026
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București
Tel.: 021.315.32.47
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47 / 0745 200 718/ 0745 200 357
comenzi@editurauniversitara.ro
www.editurauniversitara.ro

DOCUMENT DETAILS

Акроним на проекта	Black Sea SIERRA
Заглавие на проекта	Устойчиво управление на гражданско и военно замърсяване на бреговата линия, притоците и лагуните в северната, западната и южната част на Черно море
Номер на договора за безвъзмездна помощ	101124670
Координатор на консорциума	Национален институт за научноизследователска и развойна дейност по опазване на околната среда (INCDPM) – Букурещ, Румъния
Продължителност на проекта	36 месеца (01.10.2023 г. – 30.09.2026 г.)
Оправомощаващ орган	Европейска изпълнителна агенция за климата, инфраструктурата и околната среда (CINEA)
Програма	Европейски фонд за морско дело, рибарство и аквакултури (EMFAF)
Обадете	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP - Regional flagships projects supporting sustainable blue economy in EU sea basins
Тема	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP-2-BLACK - Harnessing preparedness and response to marine pollution in the Black Sea
Заглавие на документа	<i>Ръководство за специфични мерки за отстраняване на замърсяване от въоръжени конфликти</i>
Работен пакет	WP6
Ниво на разпространение	PU - Public
Автори	Екип на ARCES: Алесандро Перниче и Мелинда Теранова
Превод и редакция	Доц. д-р Димитър Петков Димитров, ИО-БАН
Сътрудници	DEÁK György, Tudor Georgeta, Harabagiu Alexandra, Istrate Iulia - <i>Национален институт за изследване и развитие в областта на опазването на околната среда, Букурещ (INCDPM)</i> Aydin Mehmet, Tunca Evren - <i>Университет Орду (ORDU)</i> Komorin Viktor, Kotelnikova Yuliia - <i>Украински научен център по екология на морето (UkrSCES)</i> Pazara Tiberiu, Apetroaei Manuela Rossemary, Samoilescu Gheorghe, Toma Alecu, Nedelcu Andra - <i>Военноморска академия „Мирча чел Бътран“ (MBNAR)</i> Vizureanu Petrică, Sandu Andrei, Burduhos-Nergis Dumitru Doru - <i>Технически университет „Георге Асачи“ в Яш (TUIASI)</i>



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОТКАЗ ОТ ОТГОВОРНОСТ

Финансирано от Европейския съюз. Изразените възгледи и мнения обаче са само на автора(ите) и не е задължително да изразяват тези на Европейския съюз или на Европейската изпълнителна агенция за климат, инфраструктура и околна среда (CINEA). Нито Европейският съюз, нито предоставящият орган могат да бъдат държани отговорни за тях.



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

CONSORTIUM MEMBERS

Coordinator

**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
Italy**



P3

**ORDU UNIVERSITESI - ORDU
Türkiye**



P4

**UKRAINIAN SCIENTIFIC CENTRE OF ECOLOGY OF
THE SEA - UkrSCES
Ukraine**



P5

**ACADEMIA NAVALĂ MIRCEA CEL BĂTRÂN - MBNAR
România**



P6

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ GHEORGHE ASACHI DIN
IAȘI - TUIASI
România**



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

СЪДЪРЖАНИЕ

Списък на акронимите.....	11
Въведение.....	12
Глава 1: Политически рамки и ръководни принципи за морска рекултивация	16
1.1 Международни правни инструменти и конвенции	16
1.2 Директиви на Европейския съюз и инициативи за регионално управление	18
1.3 Основни принципи на управление на околната среда	20
Глава 2: Методологии за техническо обеззаразяване на морски замърсители.....	22
2.1 Интегрирана рамка за отстраняване и критерии за избор на технологии.....	22
2.2 Механично, химическо и биологично отстраняване на нефтени разливи	23
2.3 Модерни технологии за отстраняване на пластмаси и отпадъци от морската среда.	24
2.4 Екологична ремедиация на еутрофикацията и замърсяването с хранителни вещества	26
2.5 Физическо, химическо, биологично и нанотехнологично отстраняване на тежки метали	28
2.6 Нововъзникващи замърсители, остатъци от експлозивни и радиологични опасности	30
2.7 Дългосрочно наблюдение и проверка на производителността	31
Глава 3: Стратегическа оценка и реагиране при извънредни ситуации при замърсяване от въоръжен конфликт	33
3.1 Анализ на векторите на замърсяване в Черно море, причинено от конфликти	33
3.2 Оценка на екологичния риск и приоритизиране на горещите точки на замърсяване	34
3.3 Протоколи за мониторинг на аварийни ситуации и дистанционно реагиране.....	36
3.4 Следвоенно устойчиво възстановяване и възстановяване на екосистемите.....	38
Глава 4: Рамка за приоритизиране на риска и вземане на решения за замърсяване на морската среда, свързано с конфликти	40



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

4.1	Характеризиране на обекта и оценка на изходното състояние на околната среда	40
4.2	Класификация на екологичния риск и класиране по приоритет.....	41
4.3	Рамка за подпомагане на вземането на решения за избор на технология за отстраняване на щети.....	42
4.4	Мониторинг на околната среда, показатели за ефективност и адаптивно управление	45
4.5	Механизми за институционална координация и управление.....	46
4.6	Оперативна пътна карта за възстановяване на морската среда след конфликт.....	47
Заклучения		50
Литература		52



СПИСЪК НА АКРОНИМИТЕ

Акроним	Термин	Описание
HMX	Високотопимо взривно вещество (октахидро-1,3,5,7-тетранитро-1,3,5,7-тетразоцин)	Високоенергийно взривно съединение, използвано за военни цели.
ICZM	Интегрирано управление на крайбрежните зони	Интердисциплинарен подход за устойчиво управление на крайбрежните зони, интегриращи екологични, икономически и социални съображения.
LDPE	Полиетилен с ниска плътност	Гъвкав пластмасов полимер, често откриван като морски отпадък.
RDX	Взривно вещество - (цикло-триметилентринитрамин)	Използва се масово във военните боеприпаси.
SAR	Synthetic Aperture Radar Радар със синтетична апертура	Технология за дистанционно наблюдение на земната и морската среда.
TNT	Trinitrotoluene Тринитротолуен	Широко използвано военно взривно вещество и потенциален замърсител.
UDMH	Unsymmetrical Dimethylhydrazine Несиметричен диметилхидразин	Силно токсично и реактивно ракетно гориво.



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

ВЪВЕДЕНИЕ

Морските и крайбрежните екосистеми все повече се признават за критични компоненти на екологичната сигурност, предоставяйки основни екосистемни услуги, функции за опазване на биоразнообразието, механизми за регулиране на климата и социално-икономически ползи за крайбрежните общности по целия свят [6,11,12]. Тези екосистеми обаче са изключително уязвими към въздействието на въоръжените конфликти, които генерират сложни и често дълготрайни пътища на замърсяване, способни да компрометират екологичната цялост в регионален и трансграничен мащаб [2,3,4]. Замърсяването на морската среда, предизвикано от конфликти, се различава съществено от конвенционалното антропогенно замърсяване, тъй като се характеризира с внезапни изпускания на множество класове замърсители, ограничен достъп до обекта, повредени системи за управление на околната среда и сериозни ограничения върху дейностите по мониторинг и отстраняване [2,4,5]. Военните операции могат да въведат едновременно в морската среда петролни въглеводороди, тежки метали, остатъци от невзривени боеприпаси, устойчиви органични замърсители, пластмаси, опасни промишлени химикали, радиоактивни материали и нетретирани битови отпадъци, създавайки кумулативен екологичен натиск, който често продължава десетилетия след прекратяване на военните действия [2,3,15,16].

Последните оценки на конфликта между Русия и Украйна подчертаха мащаба на влошаване на околната среда, което може да възникне, когато военните дейности засегнат гъсто индустриализирани крайбрежни региони и стратегически важни морски коридори [3,8,15]. В Черноморския басейн екологичните въздействия включват изпускане на нефт и гориво от повредени кораби и пристанищна инфраструктура, замърсяване, свързано с атаки срещу промишлени съоръжения, нарушаване на системите за пречистване на отпадъчни води, натрупване на военни отломки, унищожаване на морски местообитания и повишен риск от изпускане на опасни вещества в крайбрежните води [3,15]. Тези натоварвания застрашават целите за



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

опазване на биоразнообразието, продуктивността на рибарството, екосистемните услуги, общественото здраве и регионалната икономическа стабилност [15,16].

Защитата на морските екосистеми по време на и след въоръжени конфликти се подкрепя от развиваща се рамка от международно екологично право, международно хуманитарно право и регионални механизми за управление на околната среда. Ключови правни инструменти включват Конвенцията на ООН по морско право, Женевските конвенции и техните допълнителни протоколи, Проекта за принципи на Комисията по международно право за защита на околната среда във връзка с въоръжени конфликти и регионални споразумения като Конвенцията за защита на Черно море от замърсяване [5,6,7,13]. Заедно тези инструменти установяват задължения за предотвратяване, минимизиране, оценка и отстраняване на екологичните щети, произтичащи от военни дейности. Научните доказателства показват, че нито една технология за отстраняване не е способна да се справи с разнообразието от замърсители, генерирани от съвременната война [1]. Следователно ефективното възстановяване на околната среда изисква интегрирани рамки за отстраняване, съчетаващи мерки за аварийно ограничаване, усъвършенствани технологии за мониторинг, техники за физическо отстраняване, процеси на химическа стабилизация, системи за биологично третиране, подходи за фиторемедиация и дългосрочни стратегии за възстановяване на екосистемите [1,28]. Изборът на подходящи коригиращи действия трябва да се ръководи от оценки, основани на риска, които отчитат характеристиките на замърсителя, екологичната чувствителност, пътищата на експозиция, техническата осъществимост и дългосрочните цели за устойчивост [9,10,22].

Въз основа на доказателствата, събрани в Базата данни за най-съвременни решения за отстраняване [1], този ръководен документ предоставя цялостна рамка за оценка, приоритизиране, отстраняване и възстановяване на морска и крайбрежна среда, засегната от замърсяване от въоръжени конфликти. Документът интегрира международни правни задължения, цели на европейската политика в областта на околната среда и най-съвременни технологии за отстраняване, за да подпомогне екологичните органи, политиците, инженерите, пристанищните администрации и



международните организации, участващи в екологичното възстановяване след конфликти. Крайната му цел е да улесни научно обосновани, оперативно осъществими и екологично устойчиви интервенции, способни да възстановят екологичната цялост и да укрепят устойчивостта на засегнатите от конфликти морски екосистеми [1,3,5].



ГЛАВА 1

ПОЛИТИЧЕСКИ РАМКИ И РЪКОВОДНИ ПРИНЦИПИ ЗА МОРСКА РЕКУЛТИВАЦИЯ

1.1 Международни правни инструменти и конвенции

Предотвратяването и смекчаването на замърсяването на морската среда в резултат на въоръжени конфликти се регулират от многопластова рамка от международното екологично право, международното хуманитарно право и обичайните правни принципи. Вzeti заедно, тези инструменти установяват задължения за държавите и страните в конфликта да предотвратяват екологичните щети, да минимизират екологичните щети по време на военни операции и да подкрепят възстановяването след конфликт [2,4,5].

Основната правна основа за защита на морската среда е Конвенцията на ООН по морско право (UNCLOS), приета през 1982 г. [6]. Членове 192 и 194 установяват задължението на държавите да защитават и опазват морската среда и да предотвратяват, намаляват и контролират замърсяването от всички източници, включително дейности с потенциално военно значение. Тези задължения се допълват от членове 204–206, които изискват мониторинг на околната среда, оценка на въздействието и обмен на информация в случаи на значителен екологичен риск [6].

Международното хуманитарно право допълнително засилва защитата на околната среда по време на въоръжени конфликти. Допълнителен протокол I към Женевските конвенции забранява методите за водене на война, за които се очаква да причинят широко разпространени, дългосрочни и сериозни щети на природната среда, и изисква защита на гражданската среда, включително екологичните системи. Въпреки че първоначално не са били разработени с оглед на морските екосистеми, тези разпоредби сега се тълкуват широко като приложими за военноморски операции, крайбрежни удари и промишлени нападения, засягащи морската среда [7].

Хагските правила от 1907 г. остават актуални чрез своите принципи за военна необходимост и пропорционалност, които съвременното правно тълкуване все повече



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

се разпростират върху опазването на околната среда [2,4]. Прекомерното или предотвратимо унищожаване на околната среда сега като цяло се счита за несъвместимо с тези принципи.

Значително развитие представлява проектът за принципи за защита на околната среда във връзка с въоръжени конфликти (2022 г.) на Комисията по международно право, който консолидира съществуващите правни норми във фазите преди конфликта, преди конфликта и след него [5]. Тези принципи наблягат на интеграцията на околната среда във военното планиране, забраняват сериозни екологични вреди и насърчават сътрудничеството, мониторинга и отстраняването на щети след конфликт.

Международното право засилва тези договорни задължения чрез „принципа за ненанасяне на вреда“, който изисква от държавите да предотвратят трансгранични екологични щети, причинени от дейности под тяхна юрисдикция [2,4]. Този принцип е особено важен в полузатворени морета като Черно море, където замърсяването може бързо да се разпространи през националните граници [6,13].

Оперативните насоки са допълнително разработени от Международния комитет на Червения кръст, който подчертава необходимостта от оценка на екологичния риск, предпазни мерки, защита на чувствителни екосистеми и отговорности за възстановяване след конфликти [4]. Тези насоки също така отчитат дългосрочните хуманитарни последици от влошаването на околната среда, включително въздействието върху качеството на водата, продоволствената сигурност и екосистемно-зависимите средства за препитание.

Последните оценки на Програмата на ООН за околна среда потвърждават, че екологичните щети от съвременните военни действия се простират далеч отвъд непосредствените бойни зони, засягайки речните басейни, крайбрежните системи и морските екосистеми в регионален мащаб [2,3]. В резултат на това опазването на околната среда при въоръжени конфликти все повече се признава за въпрос на международната сигурност, изискващ координирани правни, институционални и научни отговори [3].



1.2 Директиви на Европейския съюз и инициативи за регионално управление

В рамките на Европейския съюз опазването на морската среда се регулира от интегрирана политическа рамка, насочена към осигуряване на дългосрочна екологична устойчивост, като същевременно подкрепя икономическото развитие и екологичната устойчивост [11,12]. Тези инструменти предоставят подходящ референтен модел за възстановяване на околната среда след конфликти в европейските морски региони, включително Черно море. Рамковата директива за водите (2000/60/ЕО) установява целта за постигане на добро екологично и химично състояние на всички водни обекти чрез подход за управление на речните басейни [12]. Тази интегрирана перспектива е особено важна в засегнатите от конфликти райони, където замърсяването често произхожда от повредена инфраструктура и се пренася от вътрешни системи към крайбрежни и морски среди.

В допълнение към това, Рамковата директива за морска стратегия (2008/56/ЕО) има за цел да постигне добро екологично състояние в европейските морски води чрез единадесет екологични дескриптора, включително биоразнообразие, замърсители, морски отпадъци, подводен шум и целостност на екосистемите [11]. Много от тези видове натиск са пряко повлияни от военни дейности, което прави Директивата изключително важна за оценката на свързаната с конфликтите деградация на морската среда.

Заслужава да се отбележи, че нито един от гореспоменатите инструменти – нито други действащи европейски или международни екологични разпоредби – не установяват специфични стандарти за качество на околната среда за замърсители, пряко свързани с въоръжени конфликти, като например TNT, RDX и други взривни вещества, ракетни горива (напр. несиметричен диметилхидразин, UDMH) или тежки метали с военен произход. Съществуващите прагови стойности съгласно Рамковата директива за водите и свързаното с нея законодателство са разработени предимно за промишлени и селскостопански замърсители, оставяйки регулаторна празнина, която ограничава определянето на ясни, правно обвързващи цели за отстраняване на засегнати от конфликти морски среди.



Европейската „зелена сделка“ и Планът за действие за нулево замърсяване допълнително подсилват тези цели, като дават приоритет на предотвратяването на замърсяването, възстановяването на екосистемите, принципите на кръговата икономика и устойчивото управление на ресурсите [11]. В този контекст опазването на околната среда все повече се признава за по-ефективно и рентабилно, когато се интегрира рано в планирането на реконструкцията и развитието. На ниво изпълнение, мисията на ЕС „Възстановяване на нашия океан и води“ насърчава научно обосновани решения за възстановяване на морската среда, мониторинг на замърсяването и устойчивост на екосистемите чрез иновации и сътрудничество между заинтересованите страни [11]. В регионален мащаб управлението на Черно море е структурирано предимно чрез Букурещката конвенция за защита на Черно море от замърсяване [13]. Тази правно обвързваща рамка разглежда замърсяването от наземни източници, морските дейности, изхвърлянето на отпадъци и извънредните ситуации.

Конвенцията се прилага чрез Комисията за Черно море, която координира мониторинга на околната среда и насърчава хармонизирани практики за управление сред крайбрежните държави [13]. Нейната работа се подкрепя от Стратегическия план за действие за възстановяване и защита на Черно море, който се фокусира върху намаляването на замърсяването, опазването на биоразнообразието, устойчивото рибарство и регионалното сътрудничество [14]. След въздействието върху околната среда от конфликта между Русия и Украйна, значението на координираното регионално управление се увеличи значително, което подчертава уязвимостта на морските екосистеми към геополитическа нестабилност [3,15]. Тъй като замърсяването на морската среда се разпространява през националните граници чрез хидродинамични процеси, ефективното отстраняване на замърсяването в Черно море изисква интегрирано прилагане на политиките на ЕС, международните конвенции и регионалните споразумения [3,13,15].



1.3 Основни принципи на управление на околната среда

Ефективното отстраняване на замърсяването на морската среда, свързано с конфликти, изисква стабилни принципи за управление на околната среда, способни да ръководят вземането на решения в условия на несигурност, екологична сложност и оперативни ограничения [1,2]. Тези принципи формират концептуалната основа за интегриране на правни задължения, технически интервенции и дългосрочни стратегии за възстановяване. Принципът на предпазливостта е от основно значение за управлението на околната среда, изисквайки превантивни действия в случаи на потенциални сериозни или необратими екологични щети, дори когато научната сигурност е непълна [11,12]. В постконфликтни условия, където достъпът и данните често са ограничени, този принцип е от съществено значение за намаляване на по-нататъшните екологични щети [4,5].

Тясно свързан с това, принципът на превенция набляга на избягването на замърсяването при източника му, тъй като превенцията обикновено е по-ефективна и по-евтина от отстраняването. Това изисква интегриране на контрола на замърсяването и устойчивия дизайн в реконструкцията и промишленото планиране от самото начало [1,11]. Принципът „замърсителят плаща“ засилва екологичната отговорност, като изисква от отговорните за екологичните щети да поемат разходите за мониторинг, отстраняване и възстановяване. Въпреки предизвикателствата пред прилагането в конфликтни контексти, той остава ключов елемент от възпирането и управлението на околната среда [5,11,12].

Integrated Coastal Zone Management (ICZM) provides a framework for coordinating land–sea interactions and balancing environmental, social, and economic objectives, supporting coherent remediation across administrative and ecological boundaries [11]. Sustainable waste management and circular economy approaches are particularly relevant in post-conflict environments with large volumes of debris and contaminated materials. Resource recovery and minimization of secondary pollution are essential to reduce long-term environmental impacts [1,11,22].



Управлението, основано на екосистемите, допълва този подход, като се фокусира върху екологичните взаимодействия, свързаността на местообитанията и кумулативните въздействия, а не върху отделните замърсители. Това е особено важно в конфликтни сценарии, където множество стресови фактори действат едновременно върху морските системи [1,11,16]. Природосъобразните решения, като биоремедиация, фиторемедиация, възстановяване на местообитанията и екологично инженерство, допълнително повишават устойчивостта и рентабилността [1,18,20,23].

И накрая, адаптивното управление е от съществено значение поради несигурността в моделите на замърсяване и реакциите на екосистемите. Непрекъснатият мониторинг и итеративните корекции гарантират, че стратегиите за отстраняване остават ефективни във времето [1,9,10]. Заедно тези принципи осигуряват оперативната основа за всички дейности по оценка, отстраняване, мониторинг и възстановяване, описани в това ръководство, като гарантират съгласуван и устойчив подход към възстановяването на морската екосистема в постконфликтни контексти.



ГЛАВА 2

МЕТОДОЛОГИИ ЗА ТЕХНИЧЕСКО ОБЕЗЗАРАЗЯВАНЕ НА МОРСКИ ЗАМЪРСИТЕЛИ

2.1 Интегрирана рамка за отстраняване и критерии за избор на технологии

Замърсяването на морската среда, причинено от въоръжени конфликти, представлява уникални технически предизвикателства поради едновременното наличие на множество класове замърсители, повредена инфраструктура, ограничен достъп до обекта и повишени екологични рискове [1,3,15]. За разлика от конвенционалните замърсявания, замърсяването, свързано с конфликти, често включва едновременно изпускане на петролни въглеводороди, тежки метали, пластмаси, остатъци от невзривени боеприпаси, опасни промишлени химикали, непречистени отпадъчни води и военни отломки, което води до изключително сложни екологични сценарии, изискващи интегрирани стратегии за отстраняване [1,31].

Научните доказателства показват, че нито една отделна технология за отстраняване не е способна ефективно да се справи с пълния спектър от замърсители, генерирани по време на военни операции [1]. Следователно, съвременните рамки за отстраняване все повече възприемат подход, основан на риска, при който физични, химични, биологични и природосъобразни решения се комбинират според специфичните за обекта условия и екологичните цели [1,2]. Изборът на подходящи технологии трябва да отчита характеристиките на замърсителя, нивата на концентрация, чувствителността на околната среда, хидродинамичните условия, оперативната осъществимост, ограниченията за сигурност и изискванията за дългосрочна устойчивост [9,10,35].

Ефективните програми за отстраняване на замърсители обикновено следват последователна рамка, започваща с мерки за ограничаване на разпространението на замърсители при извънредни ситуации. Тези действия впоследствие се допълват от активни технологии за отстраняване, предназначени да намалят концентрациите на



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

замърсители, последвани от интервенции за екологично възстановяване, целящи възстановяване на функционалността на екосистемата. Дългосрочният мониторинг на околната среда и адаптивното управление остават съществени компоненти през целия процес на отстраняване, гарантиращи постигането и поддържането на целите за възстановяване във времето [3,9,10].

2.2 Механично, химическо и биологично отстраняване на нефтени разливи

Замърсяването с нефт представлява едно от най-сериозните екологични последици, свързани с морската война и атаките срещу крайбрежната инфраструктура. Машабните изпускания на нефт могат бързо да се разпространят в морската среда, засягайки крайбрежните местообитания, рибните ресурси, морското биоразнообразие и екосистемните услуги, като същевременно генерират както остри, така и хронични токсикологични ефекти [29,30,31].

Технологиите за механично ограничаване и възстановяване представляват предпочитаният вариант за първа реакция, тъй като те физически отстраняват замърсителите от околната среда, без да въвеждат допълнителни химически агенти. Плаващите заграждения за ограничаване обикновено се използват за ограничаване на хоризонталното разпръскване на нефтени петна, докато скимери и вакуумни системи за възстановяване се използват за събиране на плаващи въглеводороди от водната повърхност. При благоприятни метеорологични условия и условия на морското състояние, тези технологии могат да постигнат значителна ефективност на възстановяването и да намалят риска от замърсяване, достигащо до екологично чувствителни зони като естуари, влажни зони, ливади с морска трева и крайбрежни лагуни [8,29,30].

Когато само механичното възстановяване е недостатъчно, могат да се използват технологии за химическо реагиране, за да се ускори естественото разграждане на въглеводородите. Химичните дисперсанти намаляват междупазовото напрежение между нефт и вода, насърчавайки образуването на по-малки капчици, които стават достъпни за процесите на микробно разграждане [32]. Въпреки че дисперсантите могат



значително да намалят рисковете от замърсяване на бреговата линия, тяхното използване остава предмет на научен дебат поради опасения относно потенциалните токсикологични въздействия върху морските организми и повишената експозиция на замърсители във водния стълб. Следователно, приложението на дисперсанти трябва да се разглежда само след цялостни оценки на риска за околната среда и под подходящ регулаторен надзор [32].

Биоремедиацията се очертава като един от най-обещаващите дългосрочни подходи за третиране на замърсяване с въглеводороди в морска среда [18,19]. Тази стратегия използва метаболитните възможности на естествено срещащи се или интродуцирани микроорганизми, способни да разграждат петролни съединения до по-малко вредни вещества. Техниките за биостимулация включват повишаване на активността на местните микробни общности чрез добавяне на хранителни вещества, докато биоаугментацията разчита на въвеждането на специализирани микроорганизми, разграждащи въглеводороди [18]. Многобройни проучвания са показали ефективността на бактериални консорциуми, съдържащи видове като *Pseudomonas aeruginosa* и *Rhodococcus erythropolis*, за ускоряване на разграждането на въглеводороди в морски условия [19]. Въпреки това, ефективността на биологичното третиране остава силно зависима от параметрите на околната среда, включително температура, наличие на кислород, концентрации на хранителни вещества и състав на замърсителите.

2.3 Модерни технологии за отстраняване на пластмаси и отпадъци от морската среда

Замърсяването на морската среда с пластмаса се е превърнало в основен екологичен проблем поради своята устойчивост, широко разпространение и неблагоприятни екологични ефекти [26,27,33]. Въоръжените конфликти допринасят значително за този проблем чрез унищожаването на инфраструктура, военно оборудване, опаковъчни материали, синтетични компоненти и отломки, генерирани от военни операции. Веднъж въведени в морската среда, тези материали могат да претърпят процеси на



фрагментация, които водят до образуването на микропластмаси и нанопластмаси, способни да навлязат във водните хранителни вериги [26].

Физическото отстраняване остава най-ефективният подход за управление на големи пластмасови отпадъци и плаващи отпадъци. Плаващите бариери, пасивните системи за прихващане, автономните съдове за събиране и операциите по почистване на бреговата линия са показали значителна ефективност при намаляване на натрупването на макропластмаси в крайбрежната и морската среда [34]. Успешното прилагане обаче изисква непрекъсната поддръжка, подходяща инфраструктура за управление на отпадъците и координирани управленски усилия с участието на екологичните органи и местните заинтересовани страни.



Фигура 1: Пластмасови отпадъци и отломки, замърсяващи воден басейн, подчертаващи проблема с морските отпадъци. Източник: Pexels



За да се увеличи максимално възстановяването на ресурсите и да се сведат до минимум вторичните въздействия върху околната среда, събраните пластмасови отпадъци трябва да се включат в рамките на кръговата икономика, когато е възможно [11]. Усъвършенстваните технологии за термично и химическо рециклиране, включително процесите на пиролиза и каталитична деполимеризация, позволяват превръщането на пластмасовите материали в горива, химически суровини и промишлени продукти за многократна употреба [27,33]. Такива подходи допринасят не само за намаляване на замърсяването, но и за опазване на ресурсите и целите за минимизиране на отпадъците.

Технологиите за биологично разграждане привличат нарастващ научен интерес като устойчиви алтернативи за управление на пластмасови отпадъци [28]. Някои бактериални и гъбични видове притежават ензимни системи, способни да разграждат полимерни структури при специфични условия на околната среда. Морските гъби, принадлежащи към рода *Aspergillus*, например, са демонстрирали обещаваща ефективност на разграждане на полиетилен и сродни полимери чрез производството на хидролитични ензими, които улесняват разграждането на полимерите [28]. Някои бактериални и гъбични видове притежават ензимни системи, способни да разграждат полимерни структури при специфични условия на околната среда. Морските гъби, принадлежащи към рода *Aspergillus*, например, са демонстрирали обещаваща ефективност на разграждане на полиетилен и сродни полимери чрез производството на хидролитични ензими, които улесняват разграждането на полимерите [17,48]. Въпреки че тези технологии остават до голяма степен експериментални в големи оперативни мащаби, те представляват обещаваща област за бъдещи изследвания и иновации.

2.4 Екологична ремедиация на еутрофикацията и замърсяването с хранителни вещества

Разрушаването на пречиствателни съоръжения за отпадъчни води, канализационни мрежи и промишлена инфраструктура по време на въоръжени конфликти често води до значително изхвърляне на хранителни вещества в крайбрежната и морската среда [15].



Повишените концентрации на азот и фосфор стимулират прекомерния растеж на водораслите, което води до процеси на еутрофикация, характеризирани се с изчерпване на кислорода, загуба на биоразнообразие, смъртност на рибите и влошаване на качеството на водата [20].

Мерките за физическо отстраняване обикновено се прилагат за възстановяване на концентрациите на разтворен кислород и подобряване на циркулацията на водата в засегнатите водни басейни. Технологии като изкуствена аерация и хиполимнетична оксигенация увеличават наличността на кислород и смекчават хипоксичните условия, като по този начин подпомагат възстановяването на екосистемите [20]. В някои ситуации може да се използва и драгиране на седименти за отстраняване на богати на хранителни вещества седименти, които действат като дългосрочни вътрешни източници на хранителни вещества.

Подходите за химическо третиране се фокусират върху намаляване на бионаличността на хранителните вещества чрез процеси на утаяване и адсорбция. Различни коагуланти и флокуланти могат да свързват фосфор и други хранителни вещества в неразтворими съединения, които впоследствие се отстраняват от водната среда. Въпреки че тези методи могат да постигнат бързо намаляване на концентрациите на хранителни вещества, е необходимо внимателно управление, за да се избегнат нежелани екологични последици, свързани с добавянето на химикали [20].

Биологичните и природосъобразни решения все по-често представляват предпочитани стратегии за отстраняване поради способността им да осигуряват множество ползи за околната среда едновременно. Изкуствените влажни зони, системите за отглеждане на макроводорасли, проектите за възстановяване на морска трева и екологичните инженерни интервенции могат ефективно да премахнат излишните хранителни вещества, като същевременно подкрепят възстановяването на местообитанията, опазването на биоразнообразието и целите за улавяне на въглерод [20]. Интегрирането на тези подходи в по-широки програми за възстановяване на екосистемите допринася значително за дългосрочната устойчивост на околната среда.



2.5 Физическо, химическо, биологично и нанотехнологично отстраняване на тежки метали

Замърсяването с тежки метали представлява едно от най-устойчивите екологични предизвикателства, свързани с въоръжените конфликти, тъй като металите не се разграждат по естествен път и могат да останат екологично достъпни за продължителни периоди. Военните дейности могат да въведат значителни количества олово, кадмий, хром, живак, мед, никел и цинк в морските екосистеми чрез остатъци от боеприпаси, повредена инфраструктура, промишлени аварии и военни отломки [24].

Сред технологиите за физическо възстановяване, драгирането на седименти остава един от най-широко прилаганите методи за отстраняване на силно замърсени материали [22,35]. Този подход може бързо да намали запасите от замърсители в засегнатите райони и значително да намали рисковете за околната среда. Независимо от това, операциите по драгиране трябва да се управляват внимателно, за да се предотврати повторно суспендиране на утайки и вторично разпръскване на замърсители. Освен това, дългосрочното управление и изхвърляне на замърсени седименти често представляват големи логистични и икономически предизвикателства [22].

Технологиите за химическа ремедиация се стремят да намалят мобилността и бионаличността на замърсителите чрез процеси на стабилизиране и имобилизиране. Техники като фосфатна стабилизация, електрокоагулация, реактивно затваряне и обработка на втвърдяване могат ефективно да превърнат разтворените метални видове в по-стабилни и по-малко бионалични форми [21]. Тези подходи са особено полезни в екологично чувствителни райони, където мащабното отстраняване на седименти може да не е осъществимо.

Методите за биологична ремедиация са получили значително внимание поради относително ниското си въздействие върху околната среда и дългосрочната си устойчивост [18]. Стратегиите за биостимулация и биоаугментация използват микробни съобщества, способни да трансформират, имобилизират или акумулират тежки метали при контролирани условия. По подобен начин, подходите за



фиторемедиация използват водна, крайбрежна и соленоблатна растителност, за да абсорбират замърсители чрез кореновите си системи или да стабилизират замърсени седименти във високосоленост. Халофитни видове като *Spartina alterniflora* (соленоблатна трева) [38] и морски потопени макрофити като *Zostera marina* (морска трева) [38,46] са демонстрирали значителни възможности за фитоекстракция и ризофилтрация за отстраняване на кадмий, олово, хром и други опасни метали от естуари и крайбрежна морска екосистема [36].

Последните постижения в нанотехнологиите допълнително разшириха възможностите за отстраняване на замърсители. Наноразмерни железни частици с нулевалентна активност, въглеродни нанотръби, композити на основата на графен и инженерни наноматериали показват изключително висока реактивност и адсорбционен капацитет, което позволява ефективно отстраняване както на неорганични, така и на органични замърсители [23,25]. Въпреки че тяхното широкомащабно приложение все още е в процес на оценка, тези технологии предлагат значителен потенциал за бъдещи приложения за отстраняване на замърсители в сложни сценарии на замърсяване, свързани с конфликти.





Фигура 2: Механизъм на излужване на брегови отпадъци. Непрекъснатото вълново действие ерозира промишлени/военни отпадъци, освобождавайки тежки метали директно в морския воден стълб.
Източник: Pexels

2.6 Нововъзникващи замърсители, остатъци от експлозиви и радиологични опасности

Съвременните въоръжени конфликти генерират класове замърсители, които често се пренебрегват в конвенционалните рамки за морска рекултивация [3,37]. Остатъци от експлозиви, получени от военни боеприпаси, включително съединения като TNT, RDX и HMX, могат да се задържат в морските седименти и да представляват дългосрочни екологични рискове. По подобен начин, пропелентните химикали, страничните продукти от горенето, смазочните материали и специфичните за военните промишлени съединения могат да допринесат за сложни профили на замърсяване, изискващи специализирани подходи за оценка и рекултивация [3]. Теренните оценки по румънското крайбрежие на Черно море потвърждават, че боеприпасите и взривните



вещества са значителен източник на тежки метали като олово, мед, цинк и кадмий, като са предложени количествени модели на масов баланс в подкрепа на предварителната оценка на замърсяващите товари в засегнатите от конфликти крайбрежни води [50].

Допълнителни опасения възникват от потенциалното изпускане на радиоактивни материали след атаки срещу ядрени съоръжения, промишлени инсталации или инфраструктура за съхранение на радиоактивни отпадъци [37]. Такива сценарии на замърсяване изискват високоспециализирани програми за мониторинг, радиологични оценки, мерки за ограничаване и дългосрочно наблюдение на околната среда. Тъй като поведението на замърсителите, токсичността и устойчивостта им в околната среда варират значително между тези вещества, стратегиите за отстраняване трябва да се разработват за всеки отделен случай и да се подкрепят от мултидисциплинарна експертиза [5,37].

2.7 Дългосрочно наблюдение и проверка на производителността

Ефективността на програмите за отстраняване на замърсяванията в крайна сметка зависи от внедряването на надеждни системи за мониторинг, способни да проверят възстановяването на околната среда и да идентифицират остатъчни рискове от замърсяване [9,10]. Дългосрочният мониторинг следва да обхваща физични, химични и биологични показатели, включително параметри на качеството на водата, химичен състав на седиментите, бионаличност на замърсителите, показатели за екологично състояние и оценки на биоразнообразието [24]. Хидрографският мониторинг, използващ CTD/SVP профилиране, допълнително показва, че силната сезонна стратификация в крайбрежните води на Черно море, като например на рейда на пристанището Констанца, може значително да намали вертикалното смесване и да увеличи времето за задържане на замърсителите в повърхностния слой, което подчертава значението на отчитането на стратификацията на водния стълб при интерпретирането на данните от дългосрочния мониторинг [51].

Технологичният напредък значително подобри възможностите за мониторинг чрез интегрирането на сателитни наблюдения, автономни сензорни мрежи, платформи



за дистанционно наблюдение и системи за данни за околната среда в реално време [10]. Тези технологии улесняват непрекъснатото наблюдение на околната среда и дават възможност за бързо откриване на възникващи замърсявания. Оценката на ефективността трябва да бъде свързана с ясно определени цели за екологично възстановяване и измерими екологични показатели. Адаптивните рамки за управление позволяват стратегиите за отстраняване да бъдат променяни в отговор на резултатите от мониторинга, осигурявайки непрекъснато подобрене и максимизирайки вероятността за постигане на дългосрочни цели за възстановяване на околната среда [1,9]. Следователно, мониторингът не трябва да се разглежда като последен етап от отстраняването, а по-скоро като неразделна част от непрекъснат процес на управление на околната среда, подкрепящ устойчивото възстановяване на екосистемите.



ГЛАВА 3

СТРАТЕГИЧЕСКА ОЦЕНКА И РЕАГИРАНЕ ПРИ ИЗВЪНРЕДНИ СИТУАЦИИ ПРИ ЗАМЪРСЯВАНЕ ОТ ВЪОРЪЖЕН КОНФЛИКТ

3.1 Анализ на векторите на замърсяване в Черно море, причинено от конфликти

Продължаващият руско-украински конфликт породи сериозна екологична криза, засягаща морските екосистеми в Черно море, с последици, които далеч надхвърлят непосредствените хуманитарни последици. Военните дейности въвеждат множество, взаимодействащи си пътища на деградация на околната среда, които заплашват екологичната цялост на басейна в дългосрочен план [3,15,39,40]. За разлика от конвенционалните източници на замърсяване, замърсяването, свързано с конфликтите, се характеризира с едновременно освобождаване на физични, химични и биологични стресови фактори в широки пространствени мащаби и при силно динамични условия [16].

Черно море е особено уязвимо поради полузатворената си морфология, ограничения водообмен и съществуващите екологични натоварвания, като еутрофикация и промишлено замърсяване [14,42]. Тези характеристики благоприятстват устойчивостта и натрупването на замърсители, които могат да се разпространят отвъд националните граници и да предизвикат дългосрочни кумулативни ефекти [13,42].

Военните операции допринасят пряко за замърсяването на морската среда чрез изпускането на отломки, остатъци от гориво, тежки метали, остатъци от експлозиви и синтетични материали. Военноморските сражения, потъванията на кораби и подводните детонации също генерират акустично замърсяване, което може да наруши морската фауна и екосистемните процеси [15,41]. Освен това, потъналите военни материали могат да се превърнат в дългосрочни вторични източници на замърсяване чрез корозия и постепенно отделяне на замърсители.

Щетите по промишлената и енергийната инфраструктура представляват друг критичен път на замърсяване. Унищожаването на рафинерии, складови съоръжения,



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

химически заводи и транспортни мрежи може да освободи въглеводороди, разтворители, тежки метали и странични продукти от горенето в речните и крайбрежните системи [3,39]. Тези вещества могат да се натрупат в седиментите и да попаднат в морските хранителни вериги чрез процеси на биоаккумуляция [24].

По подобен начин, нарушаването на пречиствателните системи за отпадъчни води и градските дренажни системи увеличава изхвърлянето на непречистени отпадъчни води във водната среда, което води до обогатяване с хранителни вещества, разпространение на патогени, хипоксични условия и по-нататъшно влошаване на околната среда [15,20]. Конфликтът също така е нарушил рибарството и морските дейности в региона, променяйки достъпа до риболовни зони, увреждайки пристанищната инфраструктура и увеличавайки навигационните рискове поради военни опасности [43]. Тези смущения засягат не само икономическата стабилност, но и динамиката на екосистемите чрез промени в риболовния натиск и разпределението на ресурсите. Като цяло, комбинираният ефект на тези вектори на замърсяване подчертава необходимостта от интегрирани рамки за екологична оценка, способни да се справят едновременно с множество стресови фактори. Следователно ефективното управление трябва да излезе отвъд подходите, насочени към един замърсител, и да се съсредоточи върху кумулативните и взаимодействащи си въздействия от деградацията на екосистемите, предизвикана от конфликти [3,15,40].

3.2 Оценка на екологичния риск и приоритизиране на горещите точки на замърсяване

Предвид мащаба и сложността на екологичните щети, свързани с въоръжените конфликти, ресурсите за отстраняване трябва да се разпределят съгласно научно обосновани критерии за приоритизиране [9,10,35]. Следователно оценката на екологичния риск представлява крайъгълният камък на всички дейности по планиране на отстраняването след конфликт.

Основната цел на оценката на риска за околната среда е да се идентифицират местата, където замърсяването представлява най-голяма заплаха за човешкото здраве,



екологичната цялост, икономическите дейности и екологичната сигурност [10,35]. Този процес изисква интегриране на данни от мониторинг на замърсителите, оценки на екологичната чувствителност, анализи на пътищата на експозиция и социално-икономически съображения. Първоначалната характеристика на обекта трябва да се фокусира върху идентифициране на източниците на замърсители, видовете замърсители, засегнатите компоненти на околната среда и потенциалните пътища на експозиция. Анализи на качеството на водата, изследвания на седиментите, оценки на местообитанията и моделиране на транспорта на замърсители трябва да се провеждат винаги, когато условията за сигурност позволяват полеви операции [10,35]. В ситуации, когато директният достъп остава ограничен, технологиите за дистанционно наблюдение и автономните системи за мониторинг могат да предоставят ценна предварителна информация относно условията на околната среда [9].

Особено внимание трябва да се обърне на екологично чувствителни зони, включително влажни зони, естуари, места за хвърляне на хайвер, защитени морски зони, ливади с морска трева и горещи точки на биоразнообразие [41,42]. Замърсяването, което се случва в такива среди, може да доведе до непропорционално тежки екологични последици и следователно изисква по-висок приоритет за отстраняване. Рамките за класифициране на риска следва да оценяват тежестта на замърсяването според множество критерии, включително токсичност на замърсителите, устойчивост, мобилност, екологична чувствителност, експозиция на популацията и потенциал за трансгранични въздействия [10,35]. Зоните с високи концентрации на замърсители, обширна деградация на местообитанията и значителни пътища на експозиция на хора следва да бъдат класифицирани като критични зони за интервенция, изискващи незабавни мерки за реагиране.

Използването на географски информационни системи, картографиране на чувствителността на околната среда и инструменти за многокритериален анализ на решенията може значително да подобри процесите на приоритизиране чрез интегриране на екологични, социални, икономически и оперативни променливи в рамките на единна рамка за оценка [10,41]. Такива подходи улесняват прозрачното



вземане на решения и подпомагат ефективното разпределение на ограничените ресурси за отстраняване. Оценката на екологичния риск не трябва да се разглежда като еднократно упражнение, а по-скоро като итеративен процес, непрекъснато актуализиран чрез данни от мониторинг и научни изследвания. Този адаптивен подход позволява на властите да променят приоритетите си с развитието на условията на околната среда и появата на нова информация [1].

3.3 Протоколи за мониторинг на аварийни ситуации и дистанционно реагиране

Зоните на активни конфликти представляват значителни предизвикателства за дейностите по мониторинг на околната среда и възстановяване поради ограничения, свързани със сигурността, ограничен достъп и бързо променящи се оперативни условия [3,39]. Следователно, системите за реагиране при извънредни ситуации трябва все повече да разчитат на технологии за дистанционно наблюдение и възможности за автономно реагиране.

Разгръщането на интегрирани мрежи за мониторинг представлява критичен компонент от управлението на екологични извънредни ситуации. Съвременните системи за мониторинг комбинират сателитни наблюдения, платформи за въздушно наблюдение, автономни надводни превозни средства, подводни дроне, оборудвани със сензори буйове и технологии за предаване на данни в реално време, за да предоставят непрекъсната информация за околната среда [9,10]. Тези системи позволяват бързото идентифициране на горещи точки на замърсяване, пътища за пренос на замърсители и нововъзникващи екологични заплахи.

Сателитният мониторинг се оказва особено ценен за откриване на нефтени разливи, струи от суспендирани седименти, цъфтеж на водорасли, термични аномалии и щети по инфраструктурата в големи географски райони [10]. Напредъкът в радарите със синтезирана апертура (SAR) и технологиите за мултиспектрално изобразяване позволява на екологичните органи да наблюдават замърсяването на морската среда дори при неблагоприятни метеорологични условия или в райони, недостъпни за полеви



персонал. Автономните и дистанционно управляваните технологии играят все по-важна роля в управлението на околната среда след конфликти. Безпилотните надводни апарати и дистанционно управляваните подводни апарати могат да събират проби от околната среда, да инспектират потопена инфраструктура, да идентифицират военни отломки и да оценяват разпределението на замърсителите, без да излагат персонала на неприемливи рискове [9]. Тези технологии са особено ценни в райони, засегнати от военноморски мини, невзривени боеприпаси или текуща военна дейност.

Протоколите за реагиране при извънредни ситуации трябва да дават приоритет на действията, насочени към предотвратяване на разпространението на замърсители и намаляване на непосредствените екологични щети. Бързото разполагане на бариери за ограничаване, системи за временно съхранение, плаващо оборудване за възстановяване и аварийни пречиствателни станции за отпадъчни води може значително да намали въздействието върху околната среда по време на началните етапи на замърсяване [8,29]. Ранната интервенция е особено важна в крайбрежни среди, където процесите на транспортиране на замърсители могат бързо да засегнат чувствителни местообитания и населени места. Ефективността на операциите за реагиране при извънредни ситуации зависи силно от комуникацията и координацията между екологичните агенции, органите за управление на извънредни ситуации, военните организации, научните институции и международните партньори [3,40]. Създаването на оперативно съвместими платформи за мониторинг и стандартизирани процедури за докладване може значително да подобри ефективността на реагирането и да улесни споделянето на информация между юрисдикциите.





Figure 3: Field monitoring and water sampling. An environmental engineer logs real-time data while analyzing a water sample from a stagnant, eutrophic water body. Source: Pexels

3.4 Следвоенно устойчиво възстановяване и възстановяване на екосистемите

С намаляването на активните военни действия, екологичните приоритети се изместват от реагиране при извънредни ситуации към дългосрочно възстановяване и устойчива реконструкция [3,8]. Следконфликтната фаза предлага критична възможност за възстановяване на повредената инфраструктура, като същевременно се подобряват екологичните показатели, устойчивостта на климата и защитата на екосистемите. Реконструкцията трябва да следва подхода „възстановяване на по-добро“, интегрирайки екологичната устойчивост във всички процеси на планиране и проектиране [8]. Крайбрежната инфраструктура, пристанищата, системите за отпадъчни води, промишлените съоръжения и транспортните мрежи трябва да бъдат препроектирани в съответствие със съвременните екологични стандарти, които



намаляват бъдещите рискове от замърсяване и повишават устойчивостта към екологични стресови фактори.

Възстановяването на околната среда трябва да се простира отвъд премахването на замърсителите и да включва възстановяване на структурата и функцията на екосистемата. Възстановяването на местообитания във влажни зони, ливади с морска трева, крайбрежни лагуни, естуари и зони за хвърляне на хайвера може да ускори екологичното възстановяване, като същевременно подкрепя биоразнообразието и екосистемните услуги, като например улавяне на въглерод, стабилизиране на бреговата линия и подобряване на рибарството [1,41].

Решенията, основани на природата, трябва да бъдат приоритетни, когато е възможно. Подходи като биоремедиация, фиторемедиация, екологично инженерство и „живи брегови линии“ предлагат рентабилни и устойчиви алтернативи или допълнения към конвенционалните инженерни решения [1,20,23]. Тяхната интеграция с методите за техническа ремедиация все повече се счита за най-добра практика в деградираните крайбрежни системи.

Социално-икономическите измерения също са от съществено значение. Устойчивото управление на рибарството, екологичното образование, ангажирането на заинтересованите страни и мониторингът, базиран на общността, спомагат за укрепване на системите за управление и подобряване на дългосрочната устойчивост на усилията за възстановяване [43]. В крайна сметка, ефективното възстановяване след конфликт зависи от прилагането на международните правни рамки и механизмите за регионално сътрудничество [5,6,13]. Предвид трансграничния характер на замърсяването на морската среда в Черно море, координираните политики, споделените системи за мониторинг и устойчивото научно и институционално сътрудничество са от съществено значение за предотвратяване на повторно замърсяване и осигуряване на трайно възстановяване на околната среда. Като цяло, успешното възстановяване на засегнатите от конфликти морски среди изисква не само техническо отстраняване, но и силно управление, международно сътрудничество и дългосрочен институционален ангажимент за екологична устойчивост.



ГЛАВА 4

РАМКА ЗА ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА РИСКА И ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ ЗА ЗАМЪРСЯВАНЕ НА МОРСКАТА СРЕДА, СВЪРЗАНО С КОНФЛИКТИ

4.1 Характеризиране на обекта и оценка на изходното състояние на околната среда

Ефективността на всяка програма за отстраняване зависи от сериозна първоначална оценка на околната среда. Преди да изберат технологии или да разпределят ресурси, властите трябва да развият ясна представа за условията на обекта, разпределението на замърсителите, екологичната чувствителност и пътищата на експозиция [44,45]. В засегнати от конфликти морски среди, където множество източници на замърсяване действат едновременно в големи и хетерогенни райони, е от съществено значение мултидисциплинарен подход, интегриращ физични, химични, биологични и социално-икономически данни [3,15,39].

Характеризирането на обекта започва с идентифициране на източниците на замърсяване и видовете замърсители, включително повредени промишлени съоръжения, военна инфраструктура, потънали плавателни съдове, складове за гориво, системи за отпадъчни води, транспортни мрежи и полета с отломки [3,15]. Особено внимание трябва да се обърне на обекти с висок риск, съдържащи опасни материали с дългосрочна устойчивост в околната среда. След това екологичните изследвания трябва да определят количествено нивата на замърсители във водата, седиментите и биотата, като се прави разлика между зони на първично въздействие и зони, засегнати от хидродинамични транспортни процеси [10,35]. В контексти с ограничен достъп до терен, дистанционното наблюдение и прогнозното моделиране осигуряват съществена подкрепа за предварителните оценки [9].

Екологичните условия на изходното ниво също трябва да бъдат оценени, за да се определи уязвимостта на екосистемата и потенциалът за възстановяване. Картографирането на местообитанията, оценките на биоразнообразието, данните за



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

рибарството и анализите на екосистемните услуги помагат за изясняване на по-широките последици от влошаването на околната среда, особено когато въздействията от конфликти се припокриват с вече съществуващи натиски [41,42]. Интегрирането на екологични и социално-икономически данни позволява идентифицирането на области, където замърсяването може да има значителни последици за общественото здраве, продоволствената сигурност и икономическата стабилност. Това гарантира, че планирането на отстраняването на щетите подкрепя както екологичното възстановяване, така и дългосрочната регионална устойчивост [43,49].

4.2 Класификация на екологичния риск и класиране по приоритет

Предвид ограничените финансови, технически и оперативни ресурси, обикновено налични по време на възстановяване след конфликт, екологичните интервенции трябва да бъдат приоритизирани според обективни и прозрачни критерии [44,45]. Приоритизирането, основано на риска, осигурява систематичен механизъм за насочване на ресурси към области, където дейностите по възстановяване ще генерират най-големи ползи за околната среда и обществото. Екологичният риск трябва да се оценява като функция на опасността от замърсяване, вероятността от експозиция, екологичната чувствителност и потенциалните последици [44]. Силно токсичните и устойчиви замърсители като тежки метали, нефтени въглеводороди, остатъци от експлозивни и радиоактивни вещества обикновено изискват повишен приоритет поради тяхната дългосрочна устойчивост в околната среда и способност за биоакмулиране [24,31,37].

Екологичната чувствителност представлява втори критичен компонент от оценката на риска. Замърсяването, възникващо във влажни зони, естуари, морски защитени зони, ливади с морска трева, места за хвърляне на хайвера или горещи точки на биоразнообразие, трябва да получи по-висок приоритет от въздействията, засягащи по-малко чувствителни среди [41,42]. Увреждането на такива местообитания често води до каскадни екологични ефекти, простиращи се далеч отвъд непосредствената зона на замърсяване. Пътищата на човешкото излагане също трябва да се вземат предвид. Районите, където замърсяването застрашава запасите от питейна вода,



рибните ресурси, развлекателните дейности или крайбрежните общности, може да изискват спешна намеса, дори когато екологичните въздействия остават относително локализирани [44,49]. Този подход признава силната взаимозависимост между качеството на околната среда и човешкото благосъстояние.

За да се улесни вземането на оперативни решения, замърсените обекти могат да бъдат класифицирани в четири приоритетни категории. Обектите с критичен риск включват места, където замърсяването представлява непосредствена заплаха за човешкото здраве, екологичната сигурност или оцеляването на екосистемата. Обектите с висок риск се характеризират със сериозни нива на замърсяване и значителни екологични въздействия, но може да не изискват незабавна спешна намеса. Обектите с умерен риск показват измеримо влошаване на околната среда, което може да се управлява чрез планирани програми за отстраняване, докато обектите с нисък риск обикновено остават подходящи за подходи за управление, базирани на мониторинг, наблюдаващи на естествените процеси на възстановяване [44,45]. Използването на стандартизирани системи за класификация на риска подобрява прозрачността, подкрепя решенията за разпределение на ресурсите и улеснява комуникацията между правителствени агенции, международни организации и технически заинтересовани страни [47].

4.3 Рамка за подпомагане на вземането на решения за избор на технология за отстраняване на щети

След класификацията на риска, вземащите решения трябва да идентифицират технологии за отстраняване, способни да постигнат екологични цели, като същевременно останат технически осъществими и икономически устойчиви [1,35]. Тъй като замърсяването, свързано с конфликти, обикновено включва множество замърсители и компоненти на околната среда, изборът на технологии трябва да следва структурирана рамка за подпомагане на вземането на решения, а не да се разчита единствено на индивидуална експертна преценка. Първият момент при вземането на решение е дали е необходима незабавна намеса. Обектите, показващи рискове от остро



замърсяване, активни изпускания на замърсители или значителни пътища на експозиция, обикновено изискват мерки за аварийно ограничаване, насочени към предотвратяване на разпространението на замърсители [8,29]. Типичните интервенции могат да включват предпазни бариери, временни бариери, системи за отклоняване на отпадъчни води и операции за аварийно възстановяване.

След като непосредствените рискове бъдат стабилизирани, властите трябва да определят дали активното отстраняване или наблюдаваното естествено възстановяване представлява най-подходящата стратегия за управление. Активното отстраняване обикновено е оправдано, когато концентрациите на замърсители надвишават регулаторните прагове, екологичните щети са сериозни или е малко вероятно процесите на естествено затихване да постигнат приемливо възстановяване в разумни срокове [35]. Изборът на специфични технологии за отстраняване трябва да отчита характеристиките на замърсителя, условията на околната среда, оперативните ограничения, зрялостта на технологиите и дългосрочните цели за устойчивост (вижте Таблица 1) [1]. Физическите технологии могат да бъдат предпочитани, когато е необходимо бързо отстраняване на замърсители, докато биологичните и природосъобразните подходи могат да предложат по-голяма устойчивост за дългосрочни усилия за възстановяване. В много ситуации хибридните системи за отстраняване, комбиниращи множество технологии, осигуряват най-ефективното решение [1,23].



Таблица 1: Сравнителен преглед на технологиите за отстраняване на замърсителите в морската среда, свързани с конфликти

Технология	Основна цел	Относителна цена	Типична времева рамка	Техническа зрялост	Ключово предимство	Ключово ограничение
Механично локализиране и събиране	Нефт / въглеводороди	Ниска-Умерена	Незабавна (часове-дни)	Висока – утвърдена	Без добавени химикали; безопасна първа реакция	Завис от времето/състоянието на морето; пропускателна способност на фракция
Химически дисперсанти	Нефт / въглеводороди	Ниска	Незабавна (часове)	Висока, но регулирана	Бързо намаляване на риска за бреговата линия	Екоотоксикологични дебати; премества замърсителя във водния стълб
Биоремедиация (биостимулация / биоаугментация)	Въглеводороди; някои метали	Ниска-Умерена	Средна-дълга (седмични-месеци+)	Висока за нефт; по-ниска за метали	Нисък вторичен ефект; устойчив метод	Бавен процес; силно зависим от температура, кислород и хранителни вещества
Драгиране на утайки (седименти)	Тежки метали; заварени утайки	Висока	Кратка-средна (седмични-месеци)	Висока – широко прилагана	Бързо отстраняване на наличния замърсител	Риск от ресуспендиране; скъпо
Химическа стабилизация / реактивно покритие	Тежки метали	Умерена-Висока	Средна (месеци)	Утвърдена; нарастваща употреба	На място (in-situ); избягва мащаби	Замърсителят не се отстранява; изисква дългосрочен мониторинг
Фиторемедиация	Тежки метали (чрез растителност)	Ниска	Дълга (месеци-години)	Доказана главно в сладководни/естуарни води	Ниска цена; допълнителни ползи за местообитанията	Бавен процес; ограничения мащаб; ограничен поради толерантността към соланост
Ремедиация на базата на нанотехнологии	Тежки метали и органични вещества	Висока (в момента)	Възникваща / експериментална	Ниска-Умерена – предимно в пилотен мащаб	Много висока реактивност/капацитет на адсорбция	Ограничено потвърждение в голям мащаб; висока цена; неизвестни екологични ефекти
Физическо отстраняване и бариери	Морски пластмаси / отпадъци	Ниска-Умерена	Незабавна-продължаваща	Висока	Директно отстраняване; предотвратява фрагментацията	Изисква непрекъсната поддръжка и инфраструктура за отпадъци
Изкуствени влажни зони / природосъобразни системи	Хранителни вещества / еутрофикация	Ниска-Умерена	Средна-дълга (месеци-години до съзряване)	Утвърдена за отпадъчни води; развиваща се за крайбрежия	Множество съпътстващи ползи: местообитания, въглерод, биоразнообразие	Изисква пространство/земя; по-бавни от химическото третиране

*Таблица 1: Индикативно сравнение на основните семейства технологии за отстраняване на щети беше обхванато в Глава 2. Оценките за разходи, времева рамка и зрялост са качествени и относителни, предназначени да подпомогнат първоначалния скрининг; специфични за обекта проучвания за осъществимост остават необходими за решения на ниво проект.



Анализите на разходите и ползите трябва да бъдат включени в оценките на технологиите, когато е възможно. Въпреки че опазването на околната среда остава основната цел, лицата, вземащи решения, трябва да гарантират, че инвестициите в отстраняване на щети генерират измерими екологични подобрения спрямо разходите за внедряване [47]. Това съображение става особено важно по време на мащабни програми за възстановяване след конфликти, където финансовите ресурси може да са ограничени.

Принципите на адаптивното управление трябва да останат централни в целия процес на избор на технологии. Стратегиите за отстраняване на щети трябва да се разглеждат като динамични системи, способни да се развиват в отговор на данните от мониторинга, технологичния напредък и променящите се условия на околната среда [1].

4.4 Мониторинг на околната среда, показатели за ефективност и адаптивно управление

Мониторингът на околната среда предоставя доказателствената база, необходима за оценка на ефективността на отстраняването на замърсяванията и подпомага адаптивното вземане на решения по време на целия процес на възстановяване [9,10]. Без надеждни програми за мониторинг, властите не могат да определят дали целите за възстановяване се постигат или да идентифицират възникващи екологични рискове, изискващи допълнителна намеса. Програмите за мониторинг трябва да бъдат разработени в съответствие с ясно определени цели и измерими екологични показатели. Параметрите на качеството на водата, химичният състав на седиментите, бионаличността на замърсителите, състоянието на местообитанията, състоянието на биоразнообразието и функционалността на екосистемата представляват ключови компоненти на всеобхватните рамки за мониторинг [24,41]. Честотата на мониторинг трябва да отразява характеристиките на замърсителите, екологичната чувствителност и целите на управлението.

Последните технологични постижения значително разшириха възможностите за мониторинг на околната среда. Сателитните наблюдения, автономните сензорни мрежи,



платформите за дистанционно наблюдение, безпилотните превозни средства и системите за предаване на данни в реално време позволяват непрекъснато наблюдение в големи географски райони, като същевременно намаляват оперативните разходи и рисковете от излагане на персонала [9,10]. Тези технологии са особено ценни в засегнатите от конфликти региони, където конвенционалните подходи за мониторинг могат да бъдат ограничени от достъпността и ограниченията за сигурност. Оценката на ефективността трябва да бъде свързана с предварително определени екологични цели, установени по време на планирането на проекта. Показателите могат да включват намаляване на концентрациите на замърсители, подобрения в показателите за биоразнообразие, скорости на възстановяване на местообитанията, възстановяване на екосистемните услуги и намаляване на рисковете от излагане на хора [1,41]. Използването на количествени показатели за ефективност повишава отчетността и улеснява сравнението между различните програми за отстраняване.

Резултатите от мониторинга трябва да се използват директно в процесите на адаптивно управление. Ако целите за ефективност не бъдат постигнати, стратегиите за отстраняване може да изискват промяна чрез допълнителни интервенции, алтернативни технологии или преразгледани управленски цели [45,46]. Този итеративен процес позволява на екологичните органи да реагират ефективно на несигурността, като същевременно непрекъснато подобряват резултатите от възстановяването.

4.5 Механизми за институционална координация и управление

Сложността на замърсяването на морската среда, свързано с конфликти, изисква широка координация между множество институции, действащи на местно, национално, регионално и международно ниво [3,5,49]. Програмите за възстановяване на околната среда често включват екологични агенции, морски власти, организации за управление на извънредни ситуации, научни институции, военни заинтересовани страни, международни организации и местни общности. Ефективните рамки за управление следва да установят ясни роли и отговорности за всички участващи организации. Механизмите за координация трябва да улесняват обмена на информация,



техническото сътрудничество, разпределението на финансовите ресурси и хармонизираните процеси на вземане на решения [13,49]. Неуспехът да се установят такива механизми често води до дублиране на усилията, неефективно използване на ресурсите и намалена ефективност на отстраняването.

Регионалното сътрудничество придобива особено значение в полузатворени морски системи като Черно море. Тъй като замърсителите могат лесно да преминават политически граници чрез хидродинамични процеси, изолираните национални интервенции е малко вероятно да постигнат дългосрочно възстановяване на околната среда [13,42]. Следователно споделените програми за мониторинг, съвместните оценки на околната среда и координираните стратегии за отстраняване представляват съществени компоненти на ефективното регионално управление. Международните организации могат да предоставят ценна техническа експертиза, финансова помощ и институционална подкрепа по време на процесите на възстановяване след конфликти [2,3,49]. Организации като UNEP, UNDP, Европейската комисия, Световната банка и Черноморската комисия притежават богат опит в оценката на околната среда, планирането на отстраняването и възстановяването на екосистемите, което ги прави важни партньори за националните власти.

В крайна сметка, успешното възстановяване на околната среда зависи не само от технологични решения, но и от институционалния капацитет, политическия ангажимент, ангажираността на заинтересованите страни и дългосрочната стабилност на управлението. Тези фактори заедно определят дали усилията за отстраняване водят до трайни подобрения в околната среда или просто до временно намаляване на нивата на замърсяване [45,49].

4.6 Оперативна пътна карта за възстановяване на морската среда след конфликт

Предложената в настоящия документ с насоки рамка завършва с шестетапна оперативна пътна карта, предназначена да подпомогне екологичните органи през целия процес на възстановяване след конфликт (вижте таблица 2).



Първият етап включва бърз екологичен скрининг, насочен към идентифициране на основни източници на замърсяване, екологични рискове и приоритетни области за интервенция. Вторият етап се фокусира върху подробна оценка на околната среда и класификация на риска, генерирайки техническата информация, необходима за вземане на решения, основани на доказателства. Третият етап обхваща мерки за ограничаване на извънредни ситуации, предназначени да стабилизират замърсяването и да предотвратят по-нататъшно влошаване на околната среда. Четвъртият етап включва прилагането на активни технологии за отстраняване, избрани според специфичните условия на обекта и целите за възстановяване. Петият етап се фокусира върху възстановяването на местообитанията и екосистемите, интегрирайки природосъобразни решения и принципи на дългосрочна устойчивост. Накрая, шестият етап се състои от непрекъснат мониторинг, адаптивно управление и дейности за институционално укрепване, предназначени да осигурят трайността на резултатите от възстановяването на околната среда [1,44,49].

Таблица 2. Оперативна пътна карта за възстановяване на морската среда след конфликт

Етап	Наименование	Цел / Ключови действия
1	Бърз екологичен скрининг	Идентифициране на основните източници на замърсяване, екологичните рискове и приоритетните зони за интервенция.
2	Подробна екологична оценка и класификация на риска	Генериране на техническата информация, необходима за вземане на решения, основани на доказателства (охарактеризиране на обекта, данни за замърсителите, определяне на риска).
3	Спешни мерки за локализиране	Стабилизиране на замърсяването и предотвратяване на по-нататъшно влошаване на екологичната среда (бонове, бариери, отклоняване на отпадъчни води, аварийно събиране).
4	Технологии за активна ремедиация	Внедряване на технологии за ремедиация, избрани в съответствие със специфичните условия на обекта и целите на възстановяването (физически, химически, биологични, хибридни).
5	Възстановяване на местообитанията и екосистемите	Възстановяване на структурата и функцията на местообитанията чрез интегриране на природосъобразни решения и принципи за дългосрочна устойчивост.
6	Непрекъснат мониторинг, адаптивно управление и укрепване на институциите	Гарантиране на трайността на резултатите от екологичното възстановяване чрез постоянен мониторинг, адаптивно управление и изграждане на капацитет за управление.



Този пътна карта установява структуриран и научно обоснован път, свързващ екологичната оценка, отстраняването на щети, възстановяването и управлението в единна рамка. Нейното прилагане може да подпомогне възстановяването на засегнатите от конфликти морски екосистеми, като същевременно укрепи екологичната устойчивост, регионалното сътрудничество и дългосрочната екологична сигурност.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въздействието на въоръжените конфликти върху околната среда представлява изключително сложна форма на замърсяване на морската среда, характеризираща се с едновременно изпускане на множество видове замърсители, широко разпространено нарушаване на местообитанията и силно ограничени условия за мониторинг и отстраняване. Тези фактори генерират дългосрочни и често трансгранични екологични последици, които могат да продължат далеч след прекратяването на военните действия [2,3,15,42].

Този ръководен документ показва, че ефективното възстановяване не може да разчита на единични технологии или изолирани интервенции. Вместо това, успешното възстановяване на засегнатите от конфликти морски среди изисква интегриране на международни правни рамки, методологии за оценка, основани на риска, многотехнологични подходи за възстановяване и дългосрочни стратегии за възстановяване на екосистемите в рамките на единна оперативна структура [1,5,6]. Анализът на случая с Черно море подчертава уязвимостта на полузатворените морски системи към кумулативния натиск от замърсяване, произтичащ от военна дейност, промишлени щети и срыв на инфраструктурата [3,15,42]. Тези условия подчертават значението на координираното трансгранично управление и споделените системи за мониторинг за справяне с екологичните рискове, които се простират отвъд националните граници.

Рамката за вземане на решения, представена в този документ, предоставя структуриран подход за приоритизиране на интервенциите, избор на подходящи технологии за отстраняване и осигуряване на адаптивно управление, основано на данни от мониторинг и показатели за екологични резултати [44,45,49]. Този подход, основан на риска, позволява по-ефективно разпределение на ресурсите, като същевременно подобрява ефективността и прозрачността на усилията за възстановяване.



Co-funded by the
European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily express those of the European Union or European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

В бъдеще, укрепването на интегрираните системи за мониторинг на околната среда, подобряването на разбирането за сложните смеси от замърсители и усъвършенстването на технологиите за отстраняване на нововъзникващи замърсители остават ключови приоритети. Особено внимание трябва да се обърне на остатъците от експлозиви, микропластмасите и други устойчиви замърсители, свързани със съвременните военни действия [23,37].

В крайна сметка, възстановяването на засегнатите от конфликти морски екосистеми изисква повече от техническо отстраняване. То изисква устойчиво институционално сътрудничество, дългосрочен ангажимент за управление и включване на опазването на околната среда в по-широките политики за сигурност и възстановяване. Рамката, представена в този документ, предлага преносим модел за подкрепа на екологичното възстановяване в морските региони, засегнати от въоръжени конфликти, и допринася за укрепване на глобалните подходи към екологичната сигурност [4,49].



ЛІТЕРАТУРА

- [1] **Vizureanu, P., Deák Gy., Kotelnikova, Y., Tiberiu, P., & Georgeta, T.** (2025). *State of the art remedial solutions database* (Deliverable No. T4.3/1; Version 2.0). Black Sea SIERRA Project Consortium.
https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMSb96JZOFMI
- [2] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2009). *Protecting the Environment During Armed Conflict: An Inventory and Analysis of International Law*. Nairobi. https://ceobs.org/wp-content/uploads/2018/03/int_law.pdf
- [3] **Grygaski, T.** (2023) *Comprehensive Report on Ukraine Environmental Damage Assessments* [unpublished report], Informal inter-agency coordination group on environmental assessments for Ukraine. https://unece.org/sites/default/files/2024-02/Comprehensive%20Report_Ukr%20Env%20Damage%20Assessments_IACG_Dec.%202023.pdf
- [4] **International Committee of the Red Cross (ICRC).** (2020). *Guidelines on the Protection of the Natural Environment in Armed Conflict*. Geneva.
https://www.icrc.org/sites/default/files/document_new/file_list/guidelines_on_the_protection_of_the_natural_environment_in_armed_conflict_advance-copy.pdf
- [5] **International Law Commission (ILC).** (2022). *Draft Principles on Protection of the Environment in Relation to Armed Conflicts*. United Nations.
https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/commentaries/8_7_2022.pdf
- [6] **United Nations.** (1982). *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*. 1833 U.N.T.S. 397.
https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
- [7] **Geneva Conventions.** (1977). *Geneva Conventions and Additional Protocol I*.
https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/en/assets/files/other/icrc_002_0321.pdf
- [8] **World Bank.** (2025). *Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4)*.
https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-02/ukraine_fourth_rapid_damage_and_needs_assessment_rdna4_february_2022_december_2024.pdf
- [9] **International Maritime Organization (IMO).** *Manual on Oil Pollution: Section IV Combatting Oil Spills*. <https://doi.org/10.62454/KA569E>
- [10] **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).** *Environmental Sensitivity Index Guidelines*.
https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf
- [11] **European Parliament and Council of the European Union.** (2008). *Directive 2008/56/EC of 17 June 2008 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Marine Environmental Policy (Marine Strategy Framework Directive)*.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj/eng>



- [12] **European Parliament and Council of the European Union.** (2000). *Directive 2000/60/EC (Water Framework Directive)*.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>
- [13] **Black Sea Commission.** (1992). *Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution (Bucharest Convention)*.
<https://www.blackseacommission.org/Official%20Documents/The%20Convention/full%20text/>
- [14] **Black Sea Commission.** (2009). *Black Sea Strategic Action Plan*.
https://www.blackseacommission.org/Downloads/SAP2009_ver_09Apr09.pdf
- [15] **Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J. A., & Gleick, P.** (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6, 578–586.
https://www.researchgate.net/publication/368926198_Impact_of_the_Russia-Ukraine_armed_conflict_on_water_resources_and_water_infrastructure_2023
- [16] **Hanson, T.** (2018). *Biodiversity Conservation and Armed Conflict: A warfare ecology perspective*.
https://www.researchgate.net/publication/324708554_Biodiversity_conservation_and_a_rmed_conflict_A_warfare_ecology_perspective
- [17] **Ameen, F., Moslem, M., Hadi, S., & Al-Sabri, A.** (2015). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by mangrove fungi from the Red Sea coast. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 31(2), 125–144. doi.org
- [18] **Hassan, S., Sabreena, Khurshid, Z., Bhat, S. A., Kumar, V., Ameen, F., & Ganai, B. A.** (2022). Marine bacteria and omic approaches: A novel and potential repository for bioremediation assessment. *Journal of Applied Microbiology*, 133(4), 2299–2313. doi: 10.1111/jam.15711. Epub 2022 Jul 20. PMID: 35818751.
- [19] **Yanuar, A. T., Amin, A. A., Salamah, L. N., Sujadi, F. M., Wiratno, E. N., Dewi, C. S. U., & Kurniawan, A.** (2023). Oxygenase enzyme activity and compound profile in hydrocarbon bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa* and *Rhodococcus erythropolis* consortium. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 16, 106–118.
<https://e-journal.unair.ac.id/JIPK/article/view/45528/27791>
- [20] **Akinnawo, S. O.** (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 12, Article 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- [21] **Porcino, N., Crisafi, F., Catalfamo, M., Denaro, R., & Smedile, F.** (2024). Electrokinetic remediation in marine sediment: A review and a bibliometric analysis. *Sustainability*, 16, 4616.
https://www.researchgate.net/publication/381031670_Electrokinetic_Remediation_in_Marine_Sediment_A_Review_and_a_Bibliometric_Analysis
- [22] **Pasciucco, F., Pecorini, I., Di Gregorio, S., Pilato, F., & Iannelli, R.** (2021). Recovery strategies of contaminated marine sediments: A life cycle assessment. *Sustainability*, 13, 8520.
<https://arpi.unipi.it/retrieve/e0d6c931-c705-fcf8-e053-d805fe0aa794/sustainability-13-08520%20%281%29.pdf>



- [23] **Kaul, I., & Sharma, J. G.** (2022). Nanotechnology for the bioremediation of organic and inorganic compounds in aquatic and marine ecosystems. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 10(6), 22–33. <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.100603>
- [24] **Vidyalakshmi, D., Yesudas, A., Sivan, G., Akhil Prakash, E., & Priyaja, P.** (2024). Heavy metal accumulation analysis using bivalve, sponge, sea urchin, and gastropod species as bioindicators. *Marine Pollution Bulletin*, 202, Article 116374. https://www.researchgate.net/publication/380034606_Heavy_metal_accumulation_analysis_using_bivalve_sponge_sea_urchin_and_gastropod_species_as_bioindicators
- [25] **Bernardeschi, M., Guidi, P., Palumbo, M., Genovese, M., Alfè, M., Gargiulo, V., Lucchesi, P., Scarcelli, V., Falleni, A., Bergami, E., et al.** (2021). Suitability of nanoparticles to face benzo(a)pyrene-induced genetic and chromosomal damage in *Mytilus galloprovincialis*: An *in vitro* approach. *Nanomaterials*, 11, 1309. https://www.researchgate.net/publication/351629912_Suitability_of_Nanoparticles_to_Face_Benzoapyrene-Induced_Genetic_and_Chromosomal_Damage_in_M_galloprovincialis_An_In_Vitro_Approach
- [26] **Sharma, S., & Chatterjee, S.** (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: A short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530–21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- [27] **Skirtun, M., Sandra, M., Strietman, W. J., van den Burg, S. W. K., De Raedemaeker, F., & Devriese, L. I.** (2022). Plastic pollution pathways from marine aquaculture practices and potential solutions for the North-East Atlantic region. *Marine Pollution Bulletin*, 174, Article 113178. [10.1016/j.marpolbul.2021.113178](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113178)
- [28] **Zeghal, E., Vaksmaa, A., Vielfaure, H., Gibson, H., & Niemann, H.** (2024). Environmental factors control microbial colonization of plastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 209, Article 117101.
- [29] **International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF).** (n.d.). *Technical Information Papers on Oil Spill Response*. London. <https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Papers/spillcon.pdf>
- [30] **Fingas, M.** (2012). *The Basics of Oil Spill Cleanup* (4th ed.). CRC Press. https://www.researchgate.net/publication/346058341_The_Basics_of_Oil_Spill_Cleanup
- [31] **National Research Council (NRC).** (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. National Academies Press. https://downloads.regulations.gov/MARAD-2019-0095-0006/attachment_83.pdf
- [32] **International Maritime Organization (IMO).** (2024). *Guidelines on the Use of Dispersants for Combating Oil Pollution at Sea*. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/OPRC%20&%20HNS/IMO%20Dispersants%20Guidelines%202024_Final.pdf
- [33] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (n.d.). *Marine Litter: A Global Challenge*. Nairobi. <https://new.racrempeitc.org/wp-content/uploads/2022/07/MLAGC.pdf>
- [34] **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Marine Debris Program.** (n.d.). *Removal Technologies and Best Practices Guide*.



- [35] **United States Environmental Protection Agency (US EPA).** (n.d.). *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*. <https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/P1000R7F.PNG?-r+75+-g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C00THRU05%5CTIFF%5C00001148%5CP1000R7F.TIF>
- [36] **Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC).** (2024). *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance*. <https://itrcweb.org/wp-content/uploads/2024/09/PHYTO-3.pdf>
- [37] **International Atomic Energy Agency (IAEA).** (n.d.). *Radiological Assessment and Remediation of Marine Environments*. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-marine-radioactivity-information-system-transforms-ocean-research>
- [38] **Khan, M. A. A., Alpona, A. A., & Ullah, S.** (2026). Sustainable management of coastal heavy metals through *Spartina alterniflora* transplantation and biomass utilization. *Total Environment Engineering*, 7, Article 100090. <https://doi.org/10.1016/j.teengi.2026.100090>
- [39] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2022). *Environmental Impact of the Conflict in Ukraine: Preliminary Assessment of Environmental Damage*. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40746>
- [40] **Zoï Environment Network.** (2023). *Environmental Consequences of the War in Ukraine: A Preliminary Review*. Geneva. https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/01/OSCE-Ukraine-env-cons_EN.pdf
- [41] **European Environment Agency (EEA).** *Marine Ecosystems and Human Activities: Pressures and Impacts Assessment*.
- [42] **Black Sea Commission.** (2009). *State of the Environment of the Black Sea Report*. https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
- [43] **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** (n.d.). *Guidelines for the Fisheries and Aquaculture Sector on Damage and Needs Assessments in Emergencies*. Rome. <https://www.fao.org/4/i3433e/i3433e.pdf>
- [44] **United States Environmental Protection Agency (US EPA).** (1992). *Framework for Ecological Risk Assessment* (EPA/630/R-92/001). https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/framework_eco_assessment.pdf
- [45] **International Organization for Standardization (ISO).** (2018). *ISO 31000:2018. Risk Management—Guidelines*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
- [46] **Wang, L. T.** (2024). Heavy metal tolerance in aquatic plants: Physiological adaptations and detoxification strategies. *International Journal of Aquaculture*, 14(3), 165–173. <https://aquapublisher.com/index.php/ija/article/view/3863>
- [47] **European Commission Joint Research Centre (JRC).** *Risk Assessment and Decision Support for Environmental Management*.
- [48] **Lesuis, C., Niemann, H., Kienhuis, M. V. M., van der Meer, M. T. J., Vielfaure, H., Polerecky, L., & Vaksmaa, A.** (2025). Mineralization of photodegraded polyethylene by the marine-derived fungus *Aspergillus terreus*. *Total Environment Microbiology*, 1, Article 100027. <https://doi.org/10.1016/j.temicr.2025.100027>



- [49] **Jensen, D.** (2012). Evaluating the impact of UNEP's post-conflict environmental assessments. In D. Jensen & S. Lonergan (Eds.), *Assessing and Restoring Natural Resources in Post-Conflict Peacebuilding*. Earthscan.
- [50] **Samoilescu, G., Pazara, T., Apetroaei, M. R., Nedelcu, A., & Toma, A.** (2024). Identification and quantitative pollutant analysis: A novel approach for environmental assessment on the Romanian Black Sea coast. *Scientific Bulletin of Naval Academy "Mircea cel Bătrân"*, XXVII(2), 74–87.
https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2024_Issue2/04_FAR/74-87.pdf
- [51] **Nedelcu, A.-T., Pazara, T., & Apetroaei, M. R.** (2026). Hydrographic stratification and pollutant retention at Constanța Port Roadstead, NW Black Sea: Five-layer dissolved oxygen structure and a CTD-derived retention index from a single-station profile. *Hydrology*, 13(7), 168. <https://doi.org/10.3390/hydrology13070168>



