|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА | **Всемирная метеорологическая организация**  **КОМИССИЯ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЯМ В ОБЛАСТЯХ ПОГОДЫ, КЛИМАТА, ВОДЫ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОБЛАСТЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**  **Вторая сессия** 17−21 октября 2022 г., Женева | **SERCOM-2/INF. 5.8(1)** |
| Представлен: председателем ПК-ММО  12.IX.2022 |

## *[Этот документ был переведен для вашего удобства с использованием технологий машинного перевода и памяти переводов. ВМО приняла соответствующие меры для улучшения качества полученного перевода, однако не дает никаких гарантий какого-либо рода, явных или подразумеваемых, в отношении его точности, надежности или правильности. Любые расхождения или различия, которые могли возникнуть при переводе содержания оригинального документа на русский язык, не являются обязательными и не имеют юридической силы для соблюдения, исполнения или любой другой цели. Некоторые материалы (например, изображения) могут быть не переведены из-за технических ограничений системы. В случае возникновения вопросов, связанных с точностью информации, содержащейся в переведенном документе, просим обращаться к английскому оригиналу, который является официальной версией документа.]*

**ОБЗОР ПЕРЕДОВЫХ МЕТОДОВ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА МОРЕ**

# Цель документа

1) В данном документе представлен обзор передовых методов реагирования на чрезвычайные ситуации на море (РЧСМ), которые включают в себя как реагирование на чрезвычайные экологические ситуации на море (РЧЭСМ), так и поисково-спасательные операции (ПСО), а также связанные с ними процедуры. В обзоре демонстрируется понимание существующих процессов, включая процессы для разливов нефти, выбросов радионуклидов и ПСО, а также существующие пробелы. В нем рассматриваются различия в реагировании на чрезвычайные ситуации, происходящие в национальных или международных водах. Приводится краткая информация об основных субъектах, участвующих в этих процессах. В целом, результаты обзора проясняют необходимость того, чтобы ВМО предоставила Членам руководство о том, как они, особенно их НМГС, могут поддерживать и/или помогать реагировать на чрезвычайные ситуации на море.

2) Таким образом, данный обзор является обоснованием для предложения СЕРКОМ разработать руководящие материалы ВМО для Членов, участвующих или желающих участвовать в реагировании на чрезвычайные ситуации на море. Хотя данный доклад не соответствует схеме предлагаемого руководства, в нем содержится основная информация, которая должна быть предусмотрена, и в нем признается, что требуется дополнительная работа по разработке руководства для Членов, которое будет разработано после согласования с СЕРКОМ.

3) В данном докладе изложены основные направления работы, в которых ВМО сотрудничает с другими организациями для оказания поддержки различным ведомствам в случае возникновения чрезвычайных ситуаций на море. В настоящее время такая поддержка оказывается при трех видах чрезвычайных ситуаций на море: разливы нефти и других вредных или ядовитых веществ; выбросы радионуклидов; и дрейфующие объекты (включая деятельность по проведению ПСО). Это усложняет любую систему поддержки, поскольку управление всеми этими чрезвычайными ситуациями осуществляется на глобальном уровне в рамках различных систем. Например, управление ПСО осуществляется в рамках Международной морской организации (ИМО) посредством районов поисково-спасательных операций (РПСО), в то время как управление нефтяным и радиоактивным загрязнением осуществляется в основном на национальном или региональном уровнях. Основной общей переменной является моделирование дрейфующих веществ/объектов в водном объекте, и обычно такое моделирование требует неотложного внимания с учетом времени, чтобы предоставить соответствующим органам надлежащую информацию для реагирования на чрезвычайную ситуацию.

4) Как указано ниже, первоначальная структура реагирования на чрезвычайные ситуации на море через ВМО (через бывшую Комиссию ВМО по морской метеорологии (КММ) в 1989 г.) предусматривала создание сети центров реагирования на загрязнение моря для предоставления метеорологической и океанографической информации для операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды за пределами вод, находящихся под национальной юрисдикцией. К 1993 г. КММ ВМО на своей одиннадцатой сессии приняла Систему поддержки операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды (МПЕРСС) для открытого моря, испытания которой начались в 1994 г. С полной историей можно ознакомиться на сайте <https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#Background>. Районы МПРЕСС в настоящее время соответствуют МЕТЗОНАМ в рамках Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) ИМО для предоставления информации в целях обеспечения безопасности на море. Однако далеко не очевидно, что эта структура будет наиболее эффективной при оказании поддержки в чрезвычайных ситуациях на море. Учитывая вышеизложенное признание различных структур, существующих для реагирования, необходимо решить, нужно ли ВМО разрабатывать отдельные глобальные рамки для каждого типа чрезвычайных ситуаций, чтобы согласовать их с сетью реагирования, или можно принять единую структуру, которая попытается охватить все системы. Этот вопрос будет изучен в процессе разработки руководящих материалов ВМО.

5) В целях создания более эффективной и действенной сети реагирования предлагается, чтобы любая структура ВМО основывалась на возможностях и потенциале моделирования, при этом ограниченное число центров несло бы глобальную ответственность на основе глобальных возможностей моделирования всех типов экологических аварий. Кроме того, большее число центров может отвечать за конкретные бассейны, при этом любой бассейн, в котором в настоящее время отсутствуют возможности, может быть усилен центрами с глобальным потенциалом. Это может рассматриваться как в целом схожее с другими уже принятыми структурами, такими как концепция Всемирного центра зональных прогнозов (ВЦЗП) в авиации и структурами, согласованными с Глобальной системой обработки данных и прогнозирования (ГСОДП).

6) В оперативном масштабе считается целесообразным, что в том, что касается реагирования на радионуклиды, центры с глобальным потенциалом будут в наилучшем положении для предоставления информации о реагировании Международному агентству по атомной энергии (МАГАТЭ), в то время как для многих других типов чрезвычайных ситуаций центры бассейнового уровня будут в состоянии дать рекомендации национальным и региональным органам реагирования, таким как Средиземноморский региональный центр по ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением моря (РЕМПЕК).

7) Необходимо будет признать, что в целом потребуется более тесное взаимодействие с этими органами, хотя в случае с МАГАТЭ этому может способствовать тесное сотрудничество с другими подразделениями ВМО, которые уже имеют с ними эффективные рабочие отношения. На бассейновом уровне соответствующим центрам реагирования необходимо будет укреплять отношения с органами реагирования. В некоторых случаях, например в случае с РЕМПЕК, оно уже может быть налажено, но другим органами может потребоваться сотрудничать с ИМО для установления и развития этих отношений. Для Членов ВМО это будет иметь последствия в плане ресурсов.

8) На основании обзора и исследований, проведенных Постоянным комитетом по морской метеорологии Комиссии ВМО по обслуживанию при разработке настоящего доклада, ожидается, что следующие рекомендации будут в дальнейшем рассмотрены при разработке руководящего материала ВМО:

a) создание зон реагирования, которые в большей степени соответствуют зонам, используемым органами реагирования для каждого типа чрезвычайных ситуаций, например РПСО, используемые специалистами по ПСО;

b) обеспечение соответствия возможностей требуемому реагированию, например, использование «многоуровневого» подхода к возможностям моделирования, при котором несколько глобальных центров могут оказывать поддержку в моделировании любому Члену для всех чрезвычайных экологических ситуаций;

c) выстраивание отношений с глобальными органами власти для обеспечения последовательного и соответствующего уровня поддержки и, при необходимости, развитие существующих отношений, таких как отношения между ВМО, МАГАТЭ, ИМО.

### **Выражение признательности**

9) Настоящий доклад основывается на результатах работы над проектом (незавершенным) документа *Proposal on Future Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology* (Предложение о будущей деятельности Совместной технической комиссии по океанографии и морской метеорологии (СКОММ) в области РЧЭСМ), подготовленным в декабре 2016 г. бывшей Совместной целевой группой Технической комиссии по океанографии и морской метеорологии (СКОММ) ВМО и Межправительственной океанографической комиссии (МОК) по поддержке реагирования на чрезвычайные экологические ситуации на море. В феврале 2017 г. проект (неполный) Предложения был представлен на тринадцатой сессии Комитета по управлению СКОММ (МАН-13), который счел, что эта работа обосновывает необходимость поддержки СКОММ будущих мероприятий РЧЭСМ, и на пятой сессии СКОММ (2017 г.) была создана Экспертная группа по реагированию на чрезвычайные экологические ситуации на море. Однако окончательная доработка Предложения, описывающего будущую деятельность по поддержке РЧЭСМ, так и не была завершена.

10) После роспуска СКОММ в 2019 г. деятельность ВМО по РЧЭСМ теперь осуществляется через Постоянный комитет по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО) СЕРКОМ. Экспертная группа ПК-ММО по прибрежной зоне и реагированию на чрезвычайные ситуации (ЭГ-ПЧС) и ее подгруппа экспертов, специализирующихся на РЧЭСМ и ПСО, рассмотрели работу (и неполный проект доклада), начатую СКОММ и описанную выше. ЭГ-ПЧС использовала проект в качестве основы для пересмотра и уточнения материала в настоящем докладе, в котором обобщена текущая ситуация с РЧЭСМ и ПСО, а также предложены рекомендации для ВМО по рассмотрению наилучших способов оказания поддержки своим Членам в укреплении их потенциала в области РЧЭСМ и ПСО. Доклад является обоснованием рекомендации СЕРКОМ о том, чтобы ВМО рассмотрела возможность подготовки в будущем руководящих материалов для оказания поддержки Членам в работе по РЧЭСМ и ПСО.

11) В число авторов настоящего доклада входят члены Экспертной группы СК-ММО по прибрежной зоне и реагированию на чрезвычайные ситуации (ЭГ-ПЧС) и приглашенные эксперты при поддержке Секретариата ВМО:

a) Эйвинн Брейвик (Норвегия) — руководитель ЦГ-РЧЭСМ/вице-председатель ЭГ-ПЧС/ПК-ММО;

b) Брюс Хакетт (Норвегия) — ведущий автор;

c) Артур Аллен (США);

d) Пьер Даниэль (Франция);

e) Надао Кохно (Япония);

f) Грегори Сазерленд (Канада);

g) Алиса Соурис (Португалия);

h) поддержка Секретариата ВМО (Сара Граймс и Наён Ким).

Эти авторы и Секретариат полностью признают работу и вклад бывшей Целевой группы СКОММ по РЧЭСМ (2016—2017 гг.), которая заложила основу для настоящего доклада.

**ПРОЕКТ**

**Обзор ситуации с реагированием на чрезвычайные ситуации на море, имеющей отношение к метеорологическим службам и ВМО**

**Для представления на сессии СЕРКОМ-2 ВМО (октябрь 2022 г.)**

**Постоянным комитетом СЕРКОМ по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО)**

## **Расширенное резюме и рекомендации**

В данном документе изложены основные направления работы, в которых ВМО сотрудничает для оказания поддержки различным агентствам в реагировании на чрезвычайные ситуации на море, особенно экологические (называемом РЧЭСМ — реагирование на чрезвычайные экологические ситуации на море), и поисково-спасательных операциях (ПСО). Такая поддержка оказывается при трех видах чрезвычайных ситуаций: разливы нефти и другие вредные или ядовитые вещества; выбросы радионуклидов; и дрейфующие объекты (включая деятельность ПСО). Это само по себе усложняет любую систему поддержки, поскольку управление этими чрезвычайными ситуациями осуществляется на глобальном уровне в рамках различных систем. Например, управление ПСО осуществляется в рамках ИМО посредством ряда районов поисково-спасательных операций (РПСО), в то время как управление нефтяным и радиоактивным загрязнением осуществляется в основном на национальном или региональном уровнях.

Бывшая Комиссия ВМО по морской метеорологии (КММ) в 1989 г. согласилась создать первоначальную основу для реагирования на аварийные загрязнения морской среды путем создания сети центров реагирования для предоставления метеорологической и океанографической информации для операций по реагированию на аварийные загрязнения морской среды за пределами вод, находящихся под национальной юрисдикцией. К 1993 г. КММ ВМО на своей одиннадцатой сессии приняла Систему поддержки операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды (МПЕРСС) для открытого моря, испытания которой начались в 1994 г. С полной историей можно ознакомиться на сайте <https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#Background>. Районы МПЕРСС поддерживаются координаторами метеорологической и океанографической области (АМОК), которые соответствуют МЕТЗОНАМ в рамках Глобальной морской системы при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) Международной морской организации (ИМО) для предоставления информации о безопасности на море. Однако далеко не очевидно, что эта структура будет наиболее эффективной для оказания поддержки в чрезвычайных ситуациях на море. Учитывая вышеизложенное признание различных структур, существующих для реагирования, необходимо решить, нужно ли ВМО разрабатывать отдельные глобальные рамки для каждого типа чрезвычайных ситуаций, чтобы согласовать их с сетью реагирования, или можно принять единую структуру, которая попытается охватить все системы.

В целях создания более эффективной и действенной сети реагирования предлагается, чтобы любая структура ВМО основывалась на возможностях и потенциале моделирования, при этом ограниченное число центров несло бы глобальную ответственность на основе глобальных возможностей моделирования всех типов экологических аварий. Кроме того, большее число центров может отвечать за конкретные бассейны, при этом любой бассейн, в котором в настоящее время отсутствуют возможности, может быть усилен центрами с глобальным потенциалом. Это предложение может рассматриваться как в целом схожее с другими уже принятыми структурами, такими как концепция Всемирного центра зональных прогнозов в авиации; и приведено в соответствие с рамочной программой ГСОДП.

На оперативном уровне считается целесообразным, что в том, что касается реагирования на радионуклиды, эти центры с глобальным потенциалом будут в наилучшем положении для обеспечения реагирования для Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), в то время как для многих других типов чрезвычайных ситуаций центры бассейнового уровня будут в состоянии реагировать для национальных и региональных органов реагирования, таких как Региональный центр реагирования на загрязнение морской среды в Средиземном море (РЕМПЕК).

Придется признать, что в целом потребуется более тесное взаимодействие с этими органами. В случае МАГАТЭ этому может способствовать тесное сотрудничество с другими подразделениями ВМО (например, реагирование на чрезвычайные экологические ситуации ядерного и неядерного характера, связанное с ГСОДП), которые уже имеют с ними эффективные рабочие отношения.

В масштабах бассейна соответствующим центрам ВМО по реагированию на чрезвычайные ситуации на море необходимо будет укреплять отношения с органами реагирования. В некоторых случаях, например в случае с РЕМПЕК, оно уже может быть налажено, но другим органами может потребоваться сотрудничать с ИМО и другими организациями для установления и развития этих отношений.

В данном обзоре представлен значительный объем доказательств того, что процесс реагирования на чрезвычайные ситуации на море может быть сложным, с многочисленными элементами опасностей и ответных мер, в дополнение к многочисленным ролям национальных, региональных и международных учреждений. Метеорологические службы играют важную роль в предоставлении своевременной информации для поддержки реагирования на чрезвычайные ситуации на море. Роль ВМО в поддержке Членов в этих усилиях, а также в содействии бесперебойному взаимодействию с соответствующими региональными и международными партнерами должна быть обозначена. При разработке этого доклада Постоянный комитет ВМО по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО) предлагает Комиссии ВМО по обслуживанию, что Членам ВМО было бы полезно получить руководящие материалы, которые помогут им лучше понять и оказать поддержку в реагировании на чрезвычайные ситуации на море.

**Введение**

В данном докладе представлен обзор реагирования на чрезвычайные ситуации на море, который охватывает как чрезвычайные экологические ситуации, (известное как реагирование на чрезвычайные экологические ситуации на море (РЧЭСМ)), так и ПСО на море, имеющие отношение к метеорологическим службам и ВМО, а также их роли и статусу в содействии таким процессам. Эти процессы могут быть сложными и/или запутанными, с функционированием в различных масштабах и в рамках различных рамок и инструментов на международном, региональном и национальном уровнях. На протяжении почти 40 лет ВМО играет роль в оказании поддержки национальным метеорологическим и гидрологическим службам (НМГС) в реагировании на чрезвычайные ситуации на море, особенно на ПСО и РЧЭСМ. Бывшая КММ ВМО на своей девятой сессии (1984 г.) обсудила вклад ВМО и метеорологических служб в ПСО на море со ссылкой на Гамбургскую конвенцию 1979 г. В то время эта Конвенция была направлена на разработку международного плана ПСО, чтобы при возникновении аварии спасение людей на море координировалось организацией по ПСО и, при необходимости, при сотрудничестве между соседними организациями по ПСО — см. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Maritime-Search-and-Rescue-(SAR).aspx>.

КММ ВМО на своей десятой сессии (1989 г.) признала, что национальные метеорологические службы (НМС) способны играть значительную роль в обеспечении здоровья океана, и предложила разработать более формализованный подход к оказанию метеорологической и океанографической поддержки в операциях по реагирования на аварийные загрязнения морской среды (см. полную историю вопроса на сайте <https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#Background>). Ни одно учреждение ООН не отвечает за развитие РЧЭСМ и ПСО, и, действительно, НМГС часто играют важную роль в предоставлении данных, моделей и прогнозов родственным учреждениям, которые осуществляют реагирование. Четкое понимание потенциальной роли НМГС в реагировании на чрезвычайные ситуации на море и руководство для них по поддержке этого процесса требует базового понимания РЧЭСМ и ПСО, текущего состояния дел, выявленных пробелов в процессе, а также знания основных участников или партнеров, чтобы НМГС могли наилучшим образом выполнять свои функции в поддержку защиты и охраны жизни и имущества. В докладе используется структура объяснения чрезвычайных ситуаций на море, приводится обзор роли ВМО и НМГС (прошлой и настоящей) в этих процессах, рассматриваются различные международные, региональные и другие конвенции, рамки, учреждения и программы, которые могут играть ключевую или вспомогательную роль, выделяются некоторые пробелы, требующие внимания, и, наконец, даются рекомендации по дальнейшим действиям.

### **Раздел 1.1. Обзор реагирования на чрезвычайные ситуации на море — что это такое, почему это важно и какова роль метеорологической службы?**

Реагирование на чрезвычайные ситуации на море означает процесс реагирования на чрезвычайную ситуацию, связанную с дрейфующими веществами или объектами в воде, обычно океане, как в национальных, так и в международных водах. Реагирование на чрезвычайные ситуации может быть вызвано экологическими причинами, т. е. РЧЭСМ, и понимается как чрезвычайная ситуация в связи с угрозой нанесения вреда морской среде, например, разливом нефти. Чрезвычайная ситуация также может быть связана с дрейфующими объектами или людьми при угрозе жизни и имуществу, например, при проведении ПСО для пропавших без вести людей и/или судов в море. В обоих случаях общая переменная заключается в том, что вещества, предметы, животные или люди «дрейфуют» в текучей среде, и существует острая необходимость обнаружения и/или мониторинга такого дрейфа, чтобы минимизировать ущерб для окружающей среды и/или имущества и/или гибель людей.

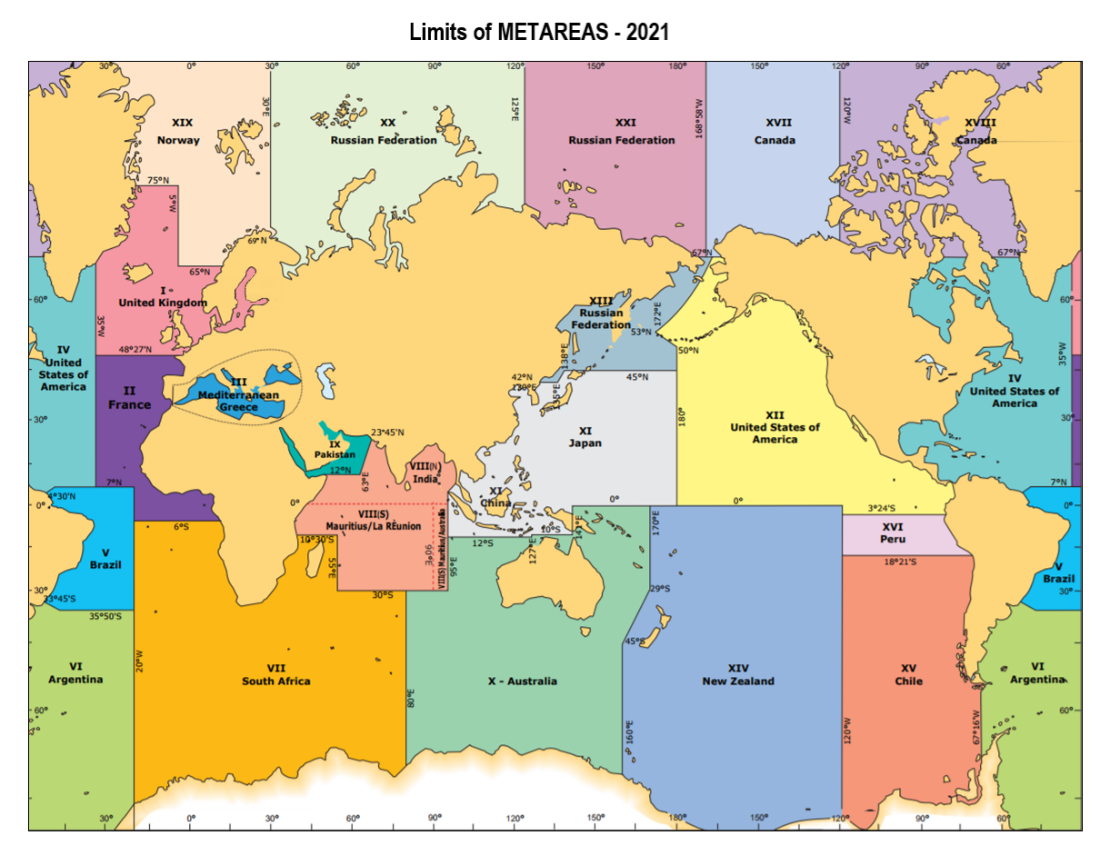
В случае чрезвычайного реагирования на аварийные загрязнения морской среды последние могут значительно отличаться по масштабу и сложности. При возникновении аварийного загрязнения морской среды, которое может быть спровоцировано, например, разливом нефти и других вредных веществ или выбросом радионуклидов, могут возникнуть чрезвычайные экологические ситуации в морских водах. Когда это происходит, власти реагируют, чтобы устранить и/или минимизировать опасность. РЧЭСМ — это область, в которой задействованы многочисленные законодательные или политические рамки, а также ведомства, участвующие в предотвращении таких чрезвычайных ситуаций, подготовке к ним и/или реагировании на них. Эффективность реагирования в значительной степени зависит от готовности и способности вовлеченных лиц выполнять конкретные задачи по реагированию на чрезвычайные ситуации и управлению ими. Как минимум, это требует распределения ролей и обязанностей различных заинтересованных сторон, определения стратегий реагирования и процедур, которым необходимо следовать в случае инцидента, а также обучения для получения необходимых знаний и навыков.

Учитывая природу динамики океана, часто реагирование на чрезвычайную экологическую ситуацию включает моделирование и отслеживание движения токсичного вещества по воде. Тот же метод моделирования и отслеживания применим для дрейфующих объектов (например, людей, судов и даже контейнеров в море). В связи с этим для реагирования и обеспечения готовности к ПСО часто используются те же инструменты прогнозирования и реагирования, что и для РЧЭСМ. Метеорологические и океанографические наблюдения и прогнозы, а также наблюдения и прогнозы, связанные с волнами, являются данными, формирующими такое моделирование дрейфа. Поэтому НМГС являются одной из заинтересованных сторон в системах обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям и реагирования на них. Кроме того, метеорологические данные и информация также могут быть эффективными в снижении риска аварий и чрезвычайных ситуаций, если они будут включены в программы предотвращения чрезвычайных экологических ситуаций. Оперативное обслуживание, предоставляемое метеорологическим сообществом, играет важную роль в снижении потерь и рисков при смягчении последствий всех видов бедствий. Кроме того, экстремальные явления естественного происхождения разрушительны и могут вызвать множество аварий, которые, в свою очередь, могут привести к разливам и выбросам опасных веществ в воздух и воду, что увеличивает бремя реагирования на чрезвычайные ситуации для защиты и обеспечения безопасности исчезающих популяций и загрязненной окружающей среды.

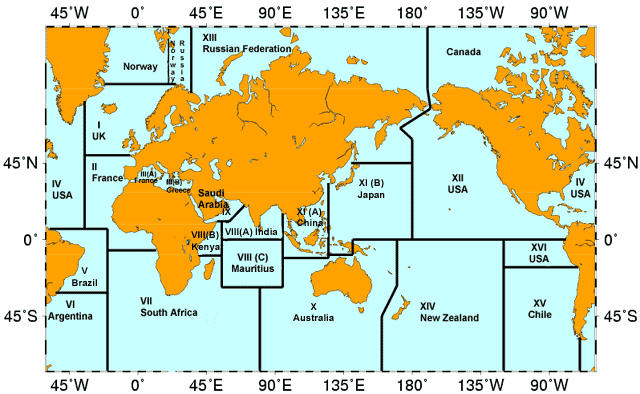
В следующем разделе 2 описаны различные виды опасностей, в которых НМГС играют роль в поддержке реагирования на чрезвычайные ситуации на море.

### **Раздел 2. Реагирование на чрезвычайные ситуации на море**

В данном разделе представлен обзор современной передовой практики прогнозирования судьбы веществ или объектов, ставших причиной чрезвычайной ситуации на море. В настоящее время ВМО координирует работу по предоставлению анализов и прогнозов метокеанических условий (погода, состояние моря, ледовые условия и т. д.). Эта поддержка оказывается через Всемирную службу ИМО/ВМО метеорологической и океанографической информации и предупреждений (ВСМОИП) и ГМССБ ИМО для определенных океанических районов за пределами национальных экономических зон, известных как МЕТЗОНЫ. В рамках этих МЕТЗОН назначенные Члены ВМО отвечают за предоставление информации. Кроме того, чрезвычайные ситуации, связанные с загрязнением окружающей среды, рассматриваются в МПЕРСС с помощью координаторов метеорологической области, ответственных за поддержку соответствующей метеорологической и океанографической информации, как описано во введении. Эти координаторы метеорологической и океанографической области (АМОК) очень близко соответствуют МЕТЗОНАМ — см. рис. 2.1 и 2.2.



**Рисунок 2.1. Пределы МЕТЗОН (с 2018 г.) (ВМО 2018a) для предоставления информации для обеспечения безопасности на море**



**Рисунок 2.2. Координатор метеорологической и океанографической области (АМОК) для предоставления метокеанической информации в поддержку реагирования на аварийное загрязнение морской среды. Они тесно связаны с МЕТЗОНАМИ**

В настоящем докладе метокеаническая поддержка безопасности плавания не будет рассматриваться далее, читателю предлагается обратиться к соответствующим руководствам и пособиям ВМО: в частности, ВМО (2018a), ВМО (2018b), ВМО (2018c), WMO (2021).

В разделе 2.1 дается общий обзор методов и средств прогнозирования дрейфа объектов и веществ в океане. Будет показано, что используемые методы основаны на оперативных системах численного моделирования и в значительной степени могут быть идентичными для широкого круга объектов. Далее в разделах 2.2–2.4 описываются модели и обслуживание, предназначенные для прогнозирования дрейфа и дальнейшей ситуации в трех важных классах чрезвычайных ситуаций на море: разливы нефти и других вредных веществ; дрейфующие объекты (включая поисково-спасательные операции (ПСО)); и выбросы радионуклидов.

### **Раздел 2.1. Общие аспекты систем реагирования на чрезвычайные ситуации**

В этом разделе мы сначала дадим обзор целей и функций системы реагирования на чрезвычайные ситуации на море. Затем мы рассмотрим элементы системы оперативного прогнозирования, включая описание моделей, используемых для оценки дрейфа и поведения в окружающей среде объектов и веществ, а также источники исходных метокеанических данных, необходимых для их работы. Более конкретная информация и примеры систем оказания поддержки для чрезвычайных ситуаций на море, выбранных для данного доклада, т. е. распространение радиоактивности, разливы нефти и дрейфующие объекты, приведены в разделах 2.2–2.4.

2.1.1 Основы реагирования на чрезвычайные ситуации на море

Органы, отвечающие за реагирование на чрезвычайные ситуации на море, должны принимать своевременные решения о развертывании критически важных и ограниченных ресурсов для смягчения чрезвычайной ситуации. Ключевыми факторами для принятия решения органом реагирования являются прогнозы дрейфа и поведения в окружающей среде, а также оперативные условия на месте происшествия. Прогнозы дрейфа и поведения в окружающей среде должны быть сделаны, по возможности, с самого начала чрезвычайной ситуации и до отбытия следующего потока средств реагирования. Океанографические и метеорологические условия на месте происшествия в поддержку операций охватывают период доставки средств реагирования на место происшествия, проведения операций и возвращения после операций на безопасную базу. Каждая чрезвычайная ситуация будет иметь свои собственные сроки, которые будут определять периоды ретроспективного анализа, прогноза текущей и будущей погоды для прогноза дрейфа и поведения в окружающей среде. Тип чрезвычайной ситуации и соответствующие средства реагирования будут определять необходимость получения информации о состоянии на месте происшествия. По мере развития ситуации органам реагирования необходимо своевременно обновлять прогнозы и информацию об условиях на месте происшествия.

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.1.1. Хронология чрезвычайной ситуации**

Чрезвычайные ситуации на море имеют общие временные рамки. Как показано на рисунке 2.1.1, в хронологии есть четыре этапа: условия до возникновения чрезвычайной ситуации; начальные условия события; условия в период реагирования; заключение и анализ после события. Условия до возникновения чрезвычайной ситуации охватывают события и условия, предшествующие фактическому чрезвычайному происшествию. Это, как правило, первопричины чрезвычайной ситуации на море, которые могут включать, но не ограничиваться: экстремальные погодные условия и волны, ограниченная видимость, мели и течения, обледенение надстроек, интенсивное движение судов, механическая усталость или неисправность, недостаточно отказоустойчивая конструкция, человеческая усталость и принятие неверных решений. Начальные условия события включают вероятную область, где произошла чрезвычайная ситуация; период времени, когда чрезвычайная ситуация могла произойти или происходит, а также тип и количество материалов или предметов, вовлеченных в чрезвычайную ситуацию. Условия в период реагирования включают траектории дрейфа и поведение в окружающей среде материала или объектов от начальной зоны вероятности и периода времени до конца следующей эпохи реагирования. Также учреждениям реагирования для проведения операций необходима информация об условиях и ограничениях на месте происшествия. По мере продолжения операций реагирования начальные условия, вероятно, будут обновляться и уточняться; следующая последовательность ответных мер будет определяться и осуществляться до тех пор, пока не будет достигнут последний этап временной шкалы; заключение. Активные меры по реагированию на процессы миграции либо прекращаются, либо перерастают в долгосрочные мероприятия более низкого уровня. На этом этапе может быть проведен анализ после события для определения первопричины чрезвычайной ситуации и оценки усилий по реагированию с целью уменьшить вероятность повторения подобных чрезвычайных ситуаций или улучшения методов борьбы с ними.

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

**Рисунок 2.1.2. Соответствующие шкалы времени и глубины, связанные с различными чрезвычайными ситуациями на море**

Хотя компоненты реагирования на чрезвычайные ситуации на море сложны, их можно разделить на два ключевых аспекта: во-первых, точные оценки океанографических и метеорологических условий и, во-вторых, модель дрейфа и поведения в окружающей среде, специфичная для типа чрезвычайной ситуации. Последний аспект является уникальным для каждого типа реагирования на чрезвычайную ситуацию, например таблицы сноса при ПСО или естественном разрушении нефти под атмосферным воздействием или радиоактивном распаде радионуклидов, и они будут рассмотрены в отдельных разделах. Первый аспект, касающийся качественных оценок метеорологических и океанографических условий, необходим для всех операций по реагированию на чрезвычайные ситуации на море. Важно иметь в виду, что для различных чрезвычайных ситуаций потребуются данные в разных пространственных и временных масштабах. Иллюстрация соответствующих шкал времени и глубины, связанных с различными морскими чрезвычайными ситуациями, показана на рисунке 2.1.2. Обратите внимание, что пространственный масштаб требуемых данных будет линейно связан с соответствующими временными масштабами. Работы по смягчению последствий разлива нефти и восстановлению экосистемы обычно ограничиваются атмосферным пограничным слоем, а их временные рамки могут варьироваться от получаса для реагирования до нескольких лет для восстановительных работ. В отличие от этого, смягчение последствий разлива мазута, который опускается на дно, ограничивается придонным пограничным слоем. Лица, найденные при проведении ПСО, и уцелевшие суда занимают слой постоянного потока океана. Сроки реагирования при ПСО составляют несколько минут, но могут достигать и нескольких дней; при этом они ограничены фактором выживаемости. Объекты, не относящиеся к ПСО (например, грузовые контейнеры или их содержимое), могут располагаться глубже, чем объекты, находимые при ПСО, и могут потребовать более длительного времени реагирования или прогнозирования. Прогнозы экстремальных погодных условий и обычных погодных условий для судов должны представлять условия на морской поверхности и в нижней части атмосферного пограничного слоя (также известного как слой постоянного потока) и в зоне океанских волн, в то время как для морских сооружений потребуются прогнозы, распространяющиеся глубже в слой перемешивания океана (слой Экмана) и на мелководье вплоть до бетнических зон непосредственно над придонным пограничным слоем. На более длинном и глубоком конце шкалы реагирования и прогноза находится перенос радиоактивных частиц и растворенных нуклидов.

2.1.2 Предоставление метокеанической информации для реагирования на чрезвычайные ситуации

Успех реагирования на чрезвычайные ситуации на море в значительной степени зависит от точного знания метеорологических и океанографических условий, причем пространственные и временные масштабы диктуются характером чрезвычайной ситуации. Это требует наличия систем, способных своевременно предоставлять эту информацию учреждениям, ответственным за реагирование на чрезвычайные ситуации на море. Основным средством оценки метеорологических и океанографических условий для краткосрочных прогнозов являются системы оперативного прогнозирования, представляющие собой численные модели, которые могут использоваться для прогнозирования условий, как правило, на срок от 2 до 10 дней вперед. Для условий, близких к реальному времени, также могут существовать модели, основанные на данных, в районах, где существует достаточное количество данных наблюдений, например, если чрезвычайная ситуация находится вблизи метеорологической станции или берегового радара высокого разрешения (ВЧ-радар). Наконец, если чрезвычайная ситуация выходит далеко за пределы синоптических масштабов, например, в случае радиоактивности, то климатологические данные могут быть использованы для обеспечения долгосрочных прогнозов.

2.1.2.1 Системы оперативного прогнозирования

Члены ВМО способны обеспечить, как за счет собственного производства, так и за счет сотрудничества с другими сообществами, такие виды наблюдений и прогнозов, которые могут поддержать реагирование на чрезвычайные ситуации. В частности, сеть НМГС собирает данные наблюдений в режиме близкого к реальному времени и запускает оперативные цифровые модели прогнозирования океана и атмосферы от локальных и региональных до глобальных масштабов. Эти модели являются оперативными в том смысле, что они запускаются регулярно (ежедневно или чаще) с достаточной поддержкой для устранения перерывов в работе и обеспечения открытого доступа к прогнозам в конкретно установленные сроки. Важно, что результаты моделей, а также данные наблюдений могут быть предоставлены пользователям в стандартных форматах и с использованием принятых стандартов обмена данными.

Для описания метокеанических условий для РЧЭСМ и ПСО обычно используются три типа моделей: модели численного прогнозирования погоды (ЧПП), которые позволяют получить данные о метеорологических условиях, модели океанической циркуляции, которые позволяют получить данные об океанических условиях, таких как течения, и волновые модели, которые обеспечивают информацию о поле поверхностных волн. Модели ЧПП производят основные данные форсирования и граничных условий для моделей океанической циркуляции и моделей волнения. Они могут быть запущены в объединенной конфигурации, что позволяет моделям быстро обмениваться информацией через общую границу, или запущены по отдельности. Более конкретно, эти модели предоставляют **данные геофизического форсирования**, т. е. метеорологические и океанографические данные, необходимые для моделей дрейфа и поведения в окружающей среде.

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.1.3. Схема общей системы численного прогнозирования дрейфа и поведения объектов и веществ в океане**

Данные геофизического форсирования обычно производятся с помощью оперативных численных моделей, хотя может использоваться продукция наблюдений и данные климатологии. Модульная концепция обеспечивает гибкость в конфигурации системы. Например, модель дрейфа и поведения в окружающей среде может быть моделью разлива нефти, моделью радионуклидов или моделью дрейфующего объекта, без серьезного изменения других компонентов и соединительных механизмов. Схема «один к одному» — это когда все компоненты модели выполняются на одном вычислительном устройстве с использованием собственных форматов данных. На рисунке 2.1.3 представлена концептуальная схема общей системы оперативного моделирования для прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде. На нем показана взаимосвязь между моделями океанической циркуляции, волнения и ЧПП, которые предоставляют геофизические данные форсирования, и моделью дрейфа и поведения в окружающей среде конкретного объекта или вещества. Кроме того, на нем показана зависимость от начальных условий чрезвычайного происшествия и важность передачи и архивирования данных. Обратите внимание, что это концептуальный рисунок и что фактическая реализация ныне действующих систем прогнозирования сильно отличается. Элементы системы, показанные на рисунке, будут более подробно рассмотрены в следующих подразделах.

2.1.2.2 Численное прогнозирование погоды (ЧПП)

Информационные продукты оперативного ЧПП охватывает Мировой океан от глобальных до очень локальных масштабов, с горизонтальным разрешением от сотен метров до нескольких километров и в масштабах времени от нескольких часов до нескольких дней (обычно 10). Доступ к передовым вычислительным средствам, всеобъемлющим сетям наблюдения, а также к научно-ориентированному технологическому развитию обычно обеспечивается за счет высокого общественного спроса. Научная литература, связанная с ЧПП, и документация по моделям ЧПП очень объемна, и любое исчерпывающее описание выходит за рамки данного отчета. В данном контексте важно то, что и модели океанической циркуляции, и модели волнения форсируются полями ЧПП (ветры, давление, тепловые потоки и т. д.), особенно на синоптических временных масштабах. Это особенно характерно для волн. Кроме того, модели поведения в окружающей среде также напрямую зависят от метеорологических параметров, например, от температуры воздуха для выживания объектов при ПСО и разрушении нефти под атмосферным воздействием. Поэтому точность форсирующих данных ЧПП имеет решающее значение для точности других моделей в системе.

2.1.2.3 Численные модели океанической циркуляции

Модели океанической циркуляции также являются одним из ключевых компонентов реагирования на чрезвычайные ситуации на море, поскольку они обеспечивают информацию обо всех важнейших поверхностных течениях в дополнение к другим важным параметрам, таким как температура поверхности моря. В более холодном климате также принято объединять модель морского льда с моделью океанической циркуляции для получения оценок состояния морского льда. Существуют также ключевые технические детали применения данных о поверхностных течениях в оперативной океанографии, которые подробно освещены в недавнем обзорном документе (Röhrs et al., 2021), и здесь мы коснемся их лишь вкратце.

Вопрос точности особенно серьезен для моделей океанической циркуляции в контексте системы прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде. Как отмечалось в других частях, точность модели ЧПП имеет фундаментальное значение для системы (см. раздел 2.1.2.2). Хотя прогнозы по моделям волнения в значительной степени определяются данными модели ЧПП (см. раздел 2.1.2.4), в океане существуют физические процессы, которые могут вносить существенный вклад в общее поле течений. Топографическое управление, градиенты плотности с сопутствующими им механизмами неустойчивости и приливы — это процессы, которые изменяют и генерируют компоненты течений, которые могут соответствовать компонентам дрейфовых течений и даже превосходить их. Более того, океанографический мезомасштаб, т. е. масштаб вихрей и меандров, едва определяется текущим разрешением моделей, и существует мало наблюдений, которые надежно определяют его. Эти факторы объясняют, почему данные модели океанической циркуляции, вероятно, наименее точны из трех компонентов геофизического форсирования. Это является серьезной проблемой для краткосрочного реагирования на чрезвычайные ситуации на море, особенно когда речь идет о ПСО и разливах нефти, которые в значительной степени зависят от точных прогнозов поверхностных течений высокого разрешения.

Использование ассимиляции данных может значительно повысить точность среднего состояния океана, но существуют ограничения в отношении того, на какие мелкие масштабы распространяется это улучшение. Это в значительной степени зависит от разрешения ассимилируемых данных, а также от модели. Jacobs et al. (2021) продемонстрировали, что ассимиляция наблюдений низкого разрешения не улучшает прогноз мезомасштабных особенностей даже в модели с вихревым разрешением. В Мексиканском заливе было показано, что использование пространственного фильтра с масштабом времени реакции 58 км на моделированных поверхностных течениях фактически уменьшило ошибки в средних траекториях по сравнению с использованием полных моделированных данных с разрешением 1 км. Как отмечалось выше, изменчивость этих малых масштабов имеет первостепенное значение для реагирования на чрезвычайные ситуации, и модели и наблюдения с более высоким разрешением важны для воспроизведения этой изменчивости. Это делает краткосрочное прогнозирование в океане сложной задачей (Christensen et al., 2018).

В контексте реагирования в прибрежных районах, модели здесь в основном имеют ограниченный диапазон для увеличения разрешения береговых линий и батиметрии. Они часто имеют общую открытую границу с оперативной глобальной моделью и форсируются с помощью данных о ветре высокого разрешения. Эти прибрежные модели могут быть чувствительны к неопределенности границ, а также батиметрии. Были достигнуты определенные успехи в ассимиляции данных ВЧ-радаров (Breivik and Sætra, 2001; Sperrevik et al., 2015; Hernandez-Lasheras et al., 2021) или двустороннего гнездования в узких каналах (Herzfield and Rizwi, 2019; Ding et al., 2021) для повышения точности и разрешения в прибрежных районах. Существует определенный потенциал для новых продуктов альтиметрии высокого разрешения, таких как SWOT (Carrier et al., 2016) и волновой планер на 5 Гц, измеряющий высоту морской поверхности (ВМП), (Penna et al., 2018), которые также могут привести к ограничению большей части изменчивости малого масштаба.

Если наблюдения за океаном доступны в режиме близкого к реальному времени, то можно использовать статистические методы для создания краткосрочных прогнозов на срок от 24 до 48 часов. Традиционно они разрабатывались с использованием установок ВЧ-радаров (Barrick и др., 2012; Solabarrieta et al., 2021), поскольку эти наблюдения обеспечивают информацию о поверхностных течениях на сетке. Кроме того, часто дрифтеры используются во время операций по реагированию на чрезвычайные ситуации, поскольку эти данные могут быть использованы для «отслеживания» чрезвычайной ситуации на море, если характеристики их дрейфа похожи на объект или материал, который необходимо отследить. Размещение этих дрифтеров также позволяет быстро оценить выходные данные численной модели в районе, что может быть качественно связано с неопределенностью в прогнозе местных поверхностных течений.

Приливные течения являются еще одним источником изменчивости течений, особенно в прибрежном контексте, и иногда имеют свою собственную обратную модель, не зависящую от моделей океанической циркуляции (Egbert and Erofeeva, 2002; Carrière et al, 2016). Хотя приливные движения находят отражение в спутниковых альтиметрических данных, часто эти сигналы малы по отношению к динамической высоте уровня моря и часто отфильтрованы из сигнала. Однако, поскольку составляющие баротропного прилива неподвижны, для создания обратной модели высот и течений прилива можно использовать множество точек прохождения (Egbert and Erofeeva, 2002; Carrière et al, 2016). Эти модели чувствительны к точности береговых линий и батиметрии, но как только составляющие данные рассчитаны, можно легко создать временной ряд для любого периода времени.

2.1.2.4 Численные модели волнения

Модели волнения тесно связаны с метеорологическими моделями, но роль волн в чрезвычайных ситуациях на море велика, поэтому мы кратко коснемся некоторых аспектов. Точное знание волнового поля очень важно для операций по реагированию, будь то ПСО или смягчение последствий разлива нефти, поскольку волновое поле в значительной степени влияет на их безопасность и успех. Как указано в разделе 2.1.2.2, метеорологическое форсирование от моделей ЧПП является доминирующим для моделей волнения, что означает, что точность волновой модели в значительной степени определяется точностью модели ЧПП, лежащей в ее основе. Это особенно касается ветровых волн, которые очень важны в моделях дрейфа и поведения в окружающей среде. С другой стороны, прогнозирование зыбей меньше зависит от приземного ветра в региональной модели волнения и больше — от боковых граничных условий.

Волны важны для лагранжева переноса материала, поскольку они вносят дополнительный лагранжев дрейф, также известный как стоксов дрейф, который зависит от крутизны волны и обычно составляет от 1 до 1,5 % от 10-метровой скорости ветра на поверхности и быстро уменьшается с глубиной. Этот стоксов дрейф должен быть добавлен к эйлеровым течениям, полученным из продуктов данных с координатной привязкой, чтобы получить лагранжеву скорость. Волны также могут непосредственно воздействовать на крупные объекты, которые по масштабу схожи с доминирующей длиной волны, такие как контейнеровозы, либо путем разрушения, либо путем отражения. Это дополнительный фактор, который необходимо учитывать при проведении некоторых ПСО.

Волны, благодаря их разрушению, также играют важную роль в размыве и вертикальном перемешивании нефти и других материалов, обладающих небольшой или нейтральной плавучестью, таких как морской пластик (Reisser et al., 2015). Такое вертикальное перемешивание может влиять на горизонтальный перенос нефти (Röhrs et al., 2018) из-за сильного сдвига вблизи поверхности океана. Время, в течение которого материал будет находиться под поверхностью, зависит от баланса между нисходящим турбулентным потоком импульса от поверхности, преимущественно посредством волнового срыва, и положительной плавучестью материала.

2.1.2.5 Системы данных для реагирования на чрезвычайные ситуации на море

Появление оперативных численных моделей океанической циркуляции и волн, обусловленное оперативными метеорологическими моделями, привело к первому численному моделированию траектории дрейфа для разливов нефти и объектов ПСО. В этих первых попытках модуль траектории дрейфа был встроен в модель океанической циркуляции. Океанограф(ы), ответственный(ые) за модель, запустил(и) траекторный модуль по запросу организации реагирования, которая предоставила моделистам довольно ограниченный набор начальных условий. Небольшая вариация этой системы «один к одному» заключалась в том, что разработчики моделей предоставляли в едином конкретном формате поля течения и ветра для собственной модели траектории, разработанной организацией реагирования. В обеих этих схемах область прогнозирования дрейфа ограничена областью модели океанической циркуляции. Прогнозы текущей и будущей погоды ограничены возможностями моделей, а ретроспективные анализы также ограничены внутренними возможностями архивирования. Схема передачи модельных данных «один к одному» показана на рисунке 2.1.3.

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.1.4. Схема системы численного прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде с моделью(ями) дрейфа и поведения в окружающей среде, независимой(ыми) от данных геофизического форсирования. Последние должны быть предоставлены в определенном формате**

С увеличением доступности оперативных океанографических моделей была реализована вторая схема. В этой схеме модели траектории и поведения в окружающей среде запускаются независимо от океанографических и метеорологических моделей. Однако эти входные модели должны предоставлять свои выходные данные для модели траектории и поведения в окружающей среде в определенном формате, например, [GNOME Data Formats (https://cordc.ucsd.edu/projects/mapping/documents/GNOME\_data\_formats.pdf](https://cordc.ucsd.edu/projects/hfrnet/)), или в ограниченном наборе форматов, как показано на рисунке 2.1.4. В этой схеме количество областей, доступных оперативной модели поведения в окружающей среде и траектории, увеличилось по сравнению со схемой «один к одному». Однако ретроспективные анализы, прогнозы текущей и будущей погоды все еще ограничены возможностями океанографических и метеорологических моделей.

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.1.5. Схема системы численного прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде с моделью(ями) дрейфа и путей, независимой(ыми) от данных геофизического форсирования**

Последние управляются системой приема данных, которая поддерживает обновляемое хранилище данных, всегда готовое предоставить прогнозные и ретроспективные данные для модели(ей) дрейфа и поведения в окружающей среде.

Третья схема была разработана для устранения недостатков двух вышеупомянутых схем. В этой схеме существует система доступа к данным, их архивирования и извлечения, которая полностью независима как от океанографических и метеорологических моделей, так и от моделей поведения в окружающей среде и траектории, как показано на рис. 2.1.5. Доступ к выходным файлам океанографических и метеорологических моделей осуществляется в их исходных форматах на графиках моделей, где поля прогнозов текущей погоды архивируются, а поля последних прогнозов будущей погоды замещают поле прогноза текущей погоды. Поэтому необходимые поля ветра и течений архивируются не производителями, а этой системой приема данных. Оперативная модель поведения в окружающей среде и траектории, а также, если имеется, модель до аварийной ситуации, затем делают запросы данных в систему приема данных для определенного куба данных (тип продукта/широтно-долготная зона/период времени). Затем система приема данных возвращает только данные в формате моделей поведения в окружающей среде и траектории для указанного куба данных. Условия на месте происшествия и некоторые модули, предшествующие аварийной ситуации, формируют запросы на получение временных рядов из определенного места.

В последнее время все более широкое внедрение международно признанных протоколов доступа к данным, управления ими и их документирования в атмосферном и океанографическом сообществах делает доступными все больше данных геофизического форсирования. Эти протоколы призваны обеспечить соблюдение принципов FAIR: FAIR-данные — это находимые, доступные, функционально совместимые и пригодные для повторного использования данные (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) (Wilkinson et al., 2016). Основная идея, лежащая в основе FAIR-данных, заключается в том, чтобы сделать данные легкодоступными и все более полезными для большего числа пользователей, где бы они ни находились. Одновременно с этим несколько национальных, региональных и глобальных центров подготовки метеорологических и океанографических данных превратились в эффективные общественные службы данных и активно внедряют политику в отношении данных и систем управления данными в соответствии с принципами FAIR. Соответствующим примером является Информационная система ВМО (ИСВ 2.0; https://community.wmo.int/activity-areas/wis/wis2-implementation) для оперативных метеорологических данных и данных о волнах, предоставляемых сетью региональных специализированных метеорологических центров (РСМЦ); рассматривается вопрос о включении продуктов глобального численного прогнозирования океана. Что касается оперативных данных океанической циркуляции и волнах, то в качестве примера можно привести Службу морского и экологического мониторинга «Коперник» (<https://marine.copernicus.eu>) и некоторых участников сотрудничества в рамках проекта OceanPredict (<https://www.godae-oceanview.org/science/ocean-forecasting-systems/system-descriptions>). С точки зрения схем потоков данных, показанных на рисунках 2.1.4 и 2.1.5, эти сервисы представляют собой альтернативные источники данных геофизического форсирования, которые могут предоставлять данные в местные хранилища и во многих случаях позволяют передавать кубы данных по запросу, тем самым снижая необходимость хранения больших объемов данных локально.

2.1.3 Оперативные транспортные модели — поведение в окружающей среде и дрейф

Численный подход также применяется для оперативного прогнозирования дрейфа и поведения веществ и объектов в океане. Эти модели разрабатываются для определенного класса веществ или объектов, но все они зависят от входных данных, которые описывают метеорологические и океанографические условия, т. е. данные геофизического форсирования. В отличие от оперативных моделей прогнозирования океана и погоды, оперативные модели переноса обычно запускаются по требованию в ответ на конкретный запрос. Кроме того, эти модели прогнозирования часто используются частными или другими государственными поставщиками в соответствующих секторах, например, в морской нефтяной промышленности, береговой охране. Эти модели обычно могут быть запущены как вперед во времени, для составления прогнозов, необходимых для принятия коррективных мер, так и назад по времени, чтобы иметь возможность предсказать источник чрезвычайной ситуации на море.

Первоначально в оперативных моделях переноса использовалось очень ограниченное (1–11) количество моделируемых частиц, которые представляли собой нефть или объекты ПСО. Около каждой частицы задавалось поле неопределенности, которое увеличивалось либо со временем, либо с расстоянием от начала координат по траектории частиц жидкости или по прямой. Затем обведенная область заключалась в рамку, и это место становилось местом реагирования. Эти методы содержали многочисленные упрощения, которые включали: постоянные или равномерные течения или ветры, один тип дрейфующего объекта или нефти, отсутствие моделирования поведения в окружающей среде и процедуры оптимизации ограниченных ресурсов. Однако эти методы могут быть реализованы путем использования исторической или простой экологической информации с помощью основных ручных навигационных инструментов на бумажных навигационных картах. С развитием персональных компьютеров эти «ручные» методы были затем запрограммированы с использованием электронных графиков.

На сегодняшний день наиболее распространенный метод определения поведения в окружающей среде и путей дрейфа основан на модели отслеживания лагранжевых частиц (ОЛЧ) (van Sebille et al, 2018, Dagestad et al, 2018), также называемой методом Монте-Карло. Этот тип модели предполагает, что материал может быть разложен на несколько сотен — тысяч частиц, или в случаях с ПСО они представляют собой разложение вероятности объекта поиска. Затем эти частицы адвектируются из отдельных точек и времени их возникновения с использованием наилучших оценок течений, ветров и волн до интересующего нас времени. Наилучшая оценка метеорологических и океанографических параметров интерполируется на расположение частицы и время. Интерполяция неизбежно сопровождается ошибками, причем ошибки зависят от масштаба координатной сетки входных данных. Эта ошибка особенно велика в прибрежных зонах, что зависит от точности и разрешения береговой линии в системе прогнозирования. Кроме того, выбор схемы адвекции для частицы может внести неопределенность; наиболее популярным вариантом, благодаря его надежности и небольшой погрешности, является схема Рунге — Кутты четвертого порядка (Nordam and Duran, 2020).

Кроме того, несложно добавить стохастический компонент к движению каждой частицы (Griffa, 1996) для моделирования дисперсии в подсеточном пространстве и других неопределенностей модели. Метод «случайного блуждания» с постоянной диффузной способностью является наиболее распространенным методом для моделирования мелкомасштабной дисперсии, но могут также использоваться стохастические методы более высокого порядка, такие как модель «случайного полета». Обе модели добавляют стохастический компонент на каждом временном шаге адвекции.

Существует еще один лагранжев метод, в котором траектории рассчитываются вдоль линий тока, которые являются контурами мгновенной скорости распространения сейсмических звуков под водой, а не вдоль траектории частиц жидкости. Примерами такого типа ОЛЧ являются ARIANE (Blanke and Raynaud, 1997) и TRACMASS (Döös et al., 2013). Этот подход разработан для эффективной работы с выходными данными модели на С-сетке и не зависит от схем интерполяции или адвекции, поскольку аналитически рассчитывает траекторию частиц по ячейкам сетки. Использование линий тока предполагает устойчивое состояние или, по крайней мере, кусочно устойчивое состояние, и траектории рассчитываются для всех выходных данных модели. Этот метод также требует полного трехмерного нерасходящегося поля скорости, а любая поверхностная дивергенция, которая часто встречается в океане, может привести к появлению большой вертикальной компоненты линии тока. Этот подход также усложняет добавление любого компонента, который может привести к дивергенции, например добавление компонента сноса или стохастической диффузии. В связи с этими ограничениями, эти модели потоковой адвекции обычно не используются на практике для краткосрочных прогнозов, но остаются полезными, если требуется более масштабный прогноз.

В дополнение к двум лагранжевым подходам иногда используется эйлеровский подход, при котором рассчитывается уравнение адвекции-диффузии для концентрации трассера (Ivorra et al., 2021). Эйлеровы модели переноса хорошо подходят для моделирования длительных периодов, когда диффузия потребовала бы от лагранжевых моделей переноса запредельного количества частиц. Эйлеровы модели переноса также подвержены чрезмерной численной диффузии, особенно на краях пятна, хотя последние достижения позволяют устранить этот недостаток (Ivorra et al., 2021).

2.1.4 Ожидаемые изменения для улучшения качества обслуживания

В предыдущих подразделах была представлена современная передовая практика создания оперативных систем прогнозирования дрейфа и поведения объектов и веществ в океане. Основное внимание было уделено элементам, общим для систем, ориентированных на разливы нефти, дрейфующие объекты и дисперсию радионуклидов: данные геофизического форсирования и производящие их модели, а также модели переноса, оценивающие перемещение, распространение и диффузию объектов и веществ. Было показано, что существуют хорошо зарекомендовавшие себя модели и виды обслуживания, которые могут быть внедрены и использованы новыми участниками и для новых классов объектов и веществ. В данном разделе представлены некоторые важные тенденции, направленные на повышение эффективности работы служб прогнозирования и качества их продукции.

1. Повышение точности форсированных данных океанической циркуляции. Повышение точности моделей океанической циркуляции, несомненно, является единственным фактором, который в наибольшей степени улучшит качество любой системы моделирования переноса. Это основная область океанографических исследований и разработок, которые активно ведутся во всем мире. Она включает в себя не только разработку моделей, но и внедрение и обслуживание систем наблюдения и разработку схем ассимиляции данных, которые связывают их воедино. В связи с этим она не может развиваться только за счет служб, предоставляющих прогнозы о дрейфе и поведении в окружающей среде объектов и веществ. Эти службы могут, в принципе, найти наилучшие доступные данные об океанической циркуляции для их конкретной области из различных источников, от глобальных моделей до моделей в прибрежной зоне — чаще всего в сочетании друг с другом. На практике, однако, отдельные оперативные службы будут продолжать полагаться в первую очередь на свои установленные источники данных форсирования по соображениям надежности. Использование других форсирующих наборов данных обеспечит альтернативу или дополнение к их номинальным форсирующим наборам данных.

2. Многонациональное сотрудничество для разработки моделей. Поскольку разработка кодов численных моделей и схем ассимиляции данных является очень сложной задачей, причем не только для океанической циркуляции, но и для атмосферы, волн и переноса, разработка кодов моделей открытого сообщества, поддерживаемых распределенными группами разработчиков, стала уже устоявшейся практикой. Несколько модельных кодов были упомянуты выше. Это особенно выгодно в контексте внедрения систем прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде в развивающихся морских государствах. Важным требованием при разработке модели является определение эталонных тестов и примеров. В данном контексте особенно ценно установить несколько хорошо описанных реальных случаев, для которых легко доступны данные геофизического форсирования и проверочные данные.

3. Доступ к данным геофизического форсирования. Если данные альтернативного форсирования должны стать эффективным дополнением, то они должны быть легко доступны и отличаться достаточной надежностью. Существуют подходящие технологические решения для доступа к данным и их передачи (ftp, OpENDAP, API и т. д.), и все большее число поставщиков данных делают свои оперативные данные доступными в режиме онлайн и через машинные интерфейсы, например, ИСВ 2.0. Теперь есть возможность свободно загружать данные из моделей численного прогнозирования для атмосферы, волн и океана для любой части Мирового океана. Есть один нюанс: смешивание наборов данных об океанической циркуляции, волнах и метеорологических наборов данных из разных источников может привести к противоречивым данным форсирования; непротиворечивые данные — это когда метеорологические данные используются те же, что и для моделирования волн и океанической циркуляции. Отсутствие согласованности является источником неопределенности в прогнозе дрейфа, которую трудно оценить.

В целом, доступность полезных данных геофизического форсирования улучшается и делает все более возможным внедрение служб прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде в новых областях, а также повышение эффективности работы существующих служб. Тем не менее, для многих аварийно-спасательных служб и НГМС оперативно надежное предоставление данных геофизического форсирования через сеть типа РСМЦ было бы полезным.

4. Информация о неопределенности. Оценка точности прогнозов дрейфа и поведения в окружающей среде является потенциально полезной для служб реагирования, но труднодоступной для производителей. Во-первых, трудно количественно оценить точность в цифрах, независимо от того, исходят ли они из теоретической комбинации точности данных форсирования или из прямых сравнений модельных прогнозов и наблюдений за дрейфом в реальных условиях. Другая трудность заключается в том, чтобы эффективно донести информацию о неопределенности до пользователей.

Часто используемым подходом к решению этой проблемы является применение ансамблевых методов прогнозирования, при которых прогоняется несколько различных, но одинаково реалистичных сценариев одной и той же ситуации. Распределение результатов дает информацию о наиболее вероятном прогнозе и о его неопределенности; узкое распределение указывает на большую уверенность, чем широкое распределение. В ЧПП, при прогнозировании волнения и океанической циркуляции, в настоящее время реализуются два варианта:

a) Ансамбли, созданные с помощью одной модели с использованием различных возмущений модельной системы (начальные условия, граничные условия, параметры модели и т. д.). Как правило, для достижения достаточной статистической значимости используется 30–100 членов ансамбля. Следовательно, этот тип ансамбля требует больших вычислительных затрат, и создание ансамбля обычно выполняется с несколько меньшим разрешением, чем основной прогон детерминированной модели.

b) Методы мультимодельного ансамбля (MMA) пытаются объединить моделирование с использованием различных модельных кодов, обычно путем сопоставления выходных данных нескольких существующих систем прогнозирования, охватывающих одну и ту же территорию. Число членов ансамбля гораздо меньше (<10), поэтому основное внимание уделяется качественной оценке различий, а не статистической неопределенности. Вычислительные затраты меньше, чем для первого типа, и они являются распределенными.

Ансамблевые методы первого типа используются в ЧПП уже несколько лет. В последнее время они распространились на прогнозирование волнения и океанической циркуляции. Несмотря на это, преобразование этих вероятностей в понятную для пользователей информацию остается сложной задачей.

[5. Данные о поверхности океана. Реагирование на большинство чрезвычайных происшествий на море сосредоточено на поверхности океана или в приповерхностном слое (приблизительно верхний метр). Многие системы моделирования океанической циркуляции не дают данные, рассчитанные специально для этого слоя. Как правило, рассчитывается среднее значение по нескольким верхним метрам, либо фиксированный интервал по всей области моделирования, либо интервал, изменяющийся в зависимости от глубины дна. В некоторых моделях рассчитывается средняя величина толщины верхнего слоя, изменяющаяся во времени. Модели дрейфа и поведения в окружающей среде для РЧЭСМ и ПСО зависят от точного знания приповерхностного слоя, предпочтительно с тонким разрешением профиля течений. При отсутствии таких данных на выходе численной модели океана, приповерхностные переменные могут быть определены путем постобработки выходных данных модели с использованием априорных предположений о распределении переменных в верхнем слое модели. Такие расчеты могут быть выполнены в модели переноса или до попадания в модель переноса. Следует поощрять основных поставщиков данных о глобальной и региональной циркуляции предоставлять данные о приповерхностном слое и/или предоставлять наиболее эффективные алгоритмы расчета профилей приповерхностного слоя.](http://www.ntis.gov/)

### **Раздел 2.2: Разливы нефти и других вредных веществ**

Вредные и опасные вещества здесь определяются как вещества, которые потенциально вредны для людей или морской среды. Они могут быть как природного (например, нефть), так и антропогенного происхождения (например, полихлорированные бифенилы, ПХБ). Вещества могут быть вредными либо из-за своих токсичных химических характеристик, либо из-за экстремальных концентраций, которые образуются при их попадании в океан. Аварии с нефтепродуктами, как сырой, так и переработанной нефтью, привлекают наибольшее внимание в контексте инцидентов с разливами нефти, и процедуры аварийного реагирования были разработаны в первую очередь для разливов нефти. В этом разделе описаны модели дрейфа и поведения нефти в океане и системы прогнозирования, построенные на их основе.

Уроки, полученные при разработке и применении инструментов прогнозирования дрейфа и поведения в окружающей среде разливов нефти, способствуют применению этих инструментов к другим вредным веществам, таким как коммунально-бытовые сточные воды. Следует отметить, что различие между описанными здесь вредными веществами и дрейфующими объектами, описанными в разделе 2.3, не всегда бывает четким; например, некоторые дрейфующие предметы, такие как пластик, могут считаться вредными. В данном контексте, однако, различие основано на том, какие инструменты считаются наиболее применимыми. Разлитые жидкости и очень мелкие объекты, такие как зола, обычно обрабатываются инструментами для работы с разливами нефти, в то время как более крупные плавающие объекты, индивидуальные характеристики дрейфа которых можно оценить, могут обрабатываться методами, применяемыми для работы с дрейфующими объектами (см. раздел 2.3).

Как указано выше, в настоящем разделе будут рассмотрены почти исключительно методы ликвидации разливов нефти, учитывая, что они служат моделью для других вредных веществ.

2.2.1 Справочная информация

Разливы нефти в океане происходят с момента появления промышленной деятельности, которая привела к строительству крупных объектов на побережье (например, нефтеперерабатывающие заводы), в море (например, морские нефтяные платформы) и морской транспорт. Необходимость в коррективных ответных мерах возникла уже в   
1960-х и 1970-х гг. после крупных разливов нефти в связи с бурным ростом танкерных перевозок и морской нефтедобычи. Обеспокоенность общественности по поводу экологического ущерба, нанесенного береговой линии, морскому дну и дикой природе в результате крупных разливов нефти (например, «Торри-Каньон» в 1967 г., выброс на «Экофиск-Браво» в 1977 г. и «Амоко-Кадис» в 1978 г.), привела к наращиванию потенциала возможностей реагирования на чрезвычайные ситуации в основных промышленно развитых морских государствах.

Однако введение в эксплуатацию все более крупных танкеров, открытие новых нефтяных месторождений и прокладка трубопроводов по морскому дну увеличили риск разлива нефти. В конце 1980-х гг. произошли серьезные происшествия с разливом нефти: «Одиссей» в 1988 г., «Эксон Валдиз» в 1989 г., «Кхарк 5» в 1989 г. и «АБТ Саммер» в 1991 г. (В 1991 г. один из крупнейших разливов нефти произошел в Персидском заливе во время войны в Персидском заливе). Эти инциденты с разливами нефти привели к принятию Международной конвенции ИМО по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству (БЗНС). Стороны обязаны установить меры по ликвидации последствий случаев загрязнений либо на национальном уровне, либо в сотрудничестве с другими странами. Несмотря на то, что количество случаев разлива нефти уменьшается, время от времени все же случаются крупные разливы, такие как крушение танкера «Престиж» в 2002 г., разлив нефти на платформе «Дипуотер хорайзон» в 2010 г. и столкновение танкера «Санчи» в 2018 г. Разлив нефти на торговом судне «Вакашио» в 2020 г., в результате которого был нанесен большой экологический ущерб на Маврикии, является недавним случаем, который был описан Daniel и Virasami 2021, и хорошо иллюстрирует различных участников, вовлеченных в реагирование на такую чрезвычайную ситуацию. В 2019 г. контейнеровоз «Гранд Америка», следовавший по маршруту Гамбург — Касабланка, загорелся и перевернулся[[1]](#footnote-2), что привело к появлению в океане как нефтяных пятен, так и опасных химических веществ, и аналогичным образом несколько метеорологических служб были задействованы в предоставлении информации органам реагирования. Совсем недавно извержение вулкана в Тонга в январе 2022 г. продемонстрировало каскадное воздействие множества опасностей, возникших в результате первоначального извержения, вызвавшего волну цунами по всему бассейну Тихого океана, где волны, приблизившись к побережью Перу, повредили нефтяной объект, что привело к разливу нефти[[2]](#footnote-3).

Хотя такие крупные разливы приводят к серьезному ущербу для местной окружающей среды, они происходят не часто. В действительности, большинство случаев разлива связаны с небольшим количеством нефти, и происходят они часто (почти ежедневно). Хотя объем каждого разлива довольно мал, общий объем и совокупное воздействие на пострадавшие территории значительны, особенно в районах с интенсивным движением. Трудно обнаружить небольшие разливы, что затрудняет реагирование и сбор надежных статистических данных.

Реагирование на случаи разлива нефти включает: обнаружение, мониторинг и оценку разлива; закупку и размещение оборудования для уменьшения масштабов разлива (например, физические ограничения, химическая обработка); коррективные меры, такие как очистка береговой линии, донных отложений и окружающей природной среды; а также юридические и финансовые последствия.

С самого начала прогнозирование дрейфа веществ, разлитых в океане, основывалось на местных знаниях о течениях, ветровых и волновых условиях, картах приливов и отливов и картах статических течений, если таковые имеются. Во многих странах это, в действительности, все еще так. За последние несколько десятилетий были разработаны более сложные системы прогнозирования, сначала в крупных промышленно развитых прибрежных странах. Как описано в разделе 2.1, эти системы основаны на численных моделях, в которых используются имеющиеся численные прогнозы ветров, течений и волнения для расчета вероятного дрейфа и распространения разлитого вещества.

Если в 1980-х гг. было всего несколько служб-первопроходцев, то сегодня в большинстве развитых морских странах действуют государственные службы прогнозирования разливов нефти, и еще больше служб находятся в стадии развития. Поскольку национальные государства несут ответственность за защиту своего побережья и ресурсов в своих исключительных экономических зонах, прогнозирование разливов нефти в первую очередь осуществляется в рамках национальной государственной службы. Создание региональных или других трансграничных служб возможно, и эта возможность активно изучается, например, МПЕРСС и региональные примеры, представленные в разделе 2.2.2.1 ниже. Однако активно действующих служб, действующих на общественное благо, в глобальном масштабе немного: например, одна из них работает под эгидой «Метео-Франс». С другой стороны, существует ряд коммерческих поставщиков, предоставляющих специальное обслуживание, например, нефтяным компаниям, и некоторые из них имеют международный масштаб (см. пример в Hackett et al., 2009).

2.2.2 Обзор существующих возможностей

Существует два подхода к построению моделей разливов нефти, а именно эйлерова и лагранжева модели. В первом типе поведение нефтяных пятен рассчитывается с помощью уравнения адвекции-диффузии для концентрации трассера на сетке конечно-разностной модели. Во втором типе предполагается наличие нефтяных пятен, представленных большим количеством частиц, и рассчитывается поведение частиц. В большинстве имитационных моделей разливов нефти используется модель (ОЛЧ), поскольку она более рентабельна, чем эйлерова модель.

Разливы нефти в океане регулируются очень широким спектром процессов: адвекция, распространение, диффузия, вертикальное перемешивание, испарение, эмульгирование, дисперсия, растворение нефти, фотоокисление, биодеградация и так далее. При моделировании разливов нефти трудно учесть все эти процессы, и обычно рассматриваются только доминирующие процессы. Выбор процесса зависит от конкретной ситуации и местных потребностей, но адвекция, распространение, диффузия, испарение и эмульгирование считаются основными в большинстве моделей дрейфа и поведения в окружающей среде разливов нефти.

Физические процессы, определяющие поведение нефти в океане, включая адвекцию, диффузию и вертикальное перемешивание, в основном аналогичны другим дрейфующим веществам и объектам; эти процессы и то, как они реализуются в моделировании дрейфа и поведения в окружающей среде, описаны в разделе 2.1.2.

Процессы, специфичные для нефти, рассматриваются в модели дрейфа и поведения в окружающей среде. Распространение основано на трехфазной теории Фэя (Fay, 1971), но в последних моделях часто модифицируется с учетом других факторов, например диффузии сдвига. Испарение, эмульгирование и другие процессы разрушения под атмосферным воздействием зависят от характеристик нефти и могут сильно различаться в зависимости от типа нефти. Существует несколько способов оценки испарения, начиная от эмпирической формулы объема (например, Stiver and Mackay, 1984; Fingas, 2015) и заканчивая сложными псевдокомпонентными моделями (например, Jones, 1997). Эмульгирование, особенно водно-масляная эмульсия, резко изменяет характеристики нефти, что, в свою очередь, влияет на операции по ликвидации разлива.

Много усилий было посвящено разработке моделей разливов нефти, и современные системы моделирования разливов нефти способны имитировать базовое поведение нефтяных пятен на вполне удовлетворительном уровне. Однако в отношении отдельных процессов еще есть над чем работать. Для всестороннего обзора научных и технологических аспектов морских разливов нефти читатель может обратиться к Fingas (2017) и Davidson et al. (2008). Более подробный обзор систем моделирования и прогнозирования разливов нефти (включая их историю) см. например, Spaulding (1988), Reed et al. (1999), Hackett et al. (2006), Jones et al. (2016), Zodiatis et al. (2017) и Keramea et al. (2021).

В моделях разливов нефти нефтяные пятна представлены как пассивные трассеры, движение которых в основном зависит от физических условий окружающей среды. Как обсуждалось в разделе 2.1.2, данные геофизического форсирования, которые обеспечиваются с помощью численных моделей атмосферы, океанической циркуляции и волнения, являются ключевыми факторами для точности моделирования разливов нефти. Поэтому совершенствование этих моделей — в частности, модели океанической циркуляции (см. раздел 2.1.2.3) — имеет решающее значение для совершенствования прогнозов дрейфа и поведения в окружающей среде разливов нефти.

Параметры и эффективность модели также зависят от цели. Если крупный инцидент с разливом нефти происходит в море, для моделирования требуется более широкий регион, чтобы охватить все потенциально пострадавшие районы. Это также потребует долгосрочных прогнозов, включая химическое выветривание. С другой стороны, для небольших разливов может быть достаточно ограниченной площади, хотя для этого потребуется подробная информация с высоким разрешением. В этом случае процессы выветривания могут даже не понадобиться, если можно быстро принять коррективные меры.

Как отмечалось в разделе 2.1, численные модели для геофизического форсирования дают данные, содержащие ошибки, которые, в свою очередь, распространяются на результаты модели дрейфа и поведения в окружающей среде нефти, где также есть свои неточности. Для аварийно-спасательных служб информация о неопределенности прогнозов может быть ценной. Использование ансамблевых методов прогнозирования является одним из подходов, который набирает обороты в современном прогнозировании разливов нефти.

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.2.1. Схема прогнозирования разлива нефти на примере системы ЯМА**

Типичная операция по прогнозированию разлива нефти показана на рисунке 2.2.1. После получения сообщения об инциденте с разливом нефти собирается или оценивается соответствующая информация о разливе, необходимая для построения модели разлива нефти. Затем проводится прогнозирование разлива нефти с использованием имеющихся входных данных, и прогнозируемые результаты предоставляются органам по ликвидации последствий бедствий.

Характеристики разлива варьируются от инцидента к инциденту, т. е. количество нефти, характер разлива — единовременный или продолжительный, а также местоположение (поверхность моря, глубоководье, фиксирования точка, плавучее судно и т. д.). Как задать начальные условия зависит от системы и предоставленной информации. Что касается мониторинга, то нефтяные пятна уже давно обнаруживаются и отслеживаются с самолетов и кораблей. В последние пару десятилетий спутниковый радиолокатор с синтезированной апертурой зарекомендовал себя как мощный инструмент для анализа ситуации с разливом нефти, а полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для некоторых продвинутых моделей нефтяных разливов (Klemas 2010; Zodiatis et al. 2012).

Быстрый и надежный доступ к необходимым данным форсирования необходим для оперативной системы прогнозирования разливов нефти, поэтому обычно такие системы управляются НМГС или родственными им структурами, использующими собственные оперативные данные форсирования. С другой стороны, за последнее десятилетие любому человеку стало проще получить доступ к набору данных геофизического форсирования через Интернет, благодаря усовершенствованию технологий и тенденции к менее ограничительной политике в отношении данных (см. раздел 2.1.2.5).

В начале и конце производственной цепочки стоит важная задача коммуникации с аварийно-спасательными службами и другими пользователями, включая распространение результатов. В большинстве национальных служб эта задача возложена на группу дежурных операторов, доступных 24/7/365. Они запускают модели прогнозирования, предоставляют результаты пользователям в согласованных формах и консультируются со штатными экспертами для интерпретации и получения рекомендаций. В некоторых случаях пользователям предлагается онлайн-сервис на базе Интернета, чтобы они могли проводить собственное моделирование и загружать результаты непосредственно, например, в бортовую ЭКНИС.

2.2.2.1 Многонациональные усилия по мониторингу и прогнозированию разливов нефти

В нескольких региональных морях были разработаны передовые практики координации и интеграции на многонациональном уровне для поддержки управления прогнозированием разливов нефти. Ниже приведены некоторые актуальные примеры, которые, однако, не являются исчерпывающим списком:

**Северное море**

В районе Северного моря Северо-Западная шельфовая оперативная океанографическая система (NOOS; http://noos.cc) — региональное объединение — занимается разработкой и применением передовой практики среди национальных служб прогнозирования разливов нефти. В качестве примера можно привести шведскую систему прогнозирования дрейфа нефти Seatrack Web (STW; Ambjorn, 2007), которая покрывает потребности не только национальных, но и международных пользователей в Балтийском море и части Северного моря. Это дрейфовая модель/система прогнозирования и ретроспективного анализа дрейфа ХЕЛКОМ, которая используется для вычисления поведения в окружающей среде разливов нефти. Она доступна в режиме онлайн для национальных органов и некоторых исследовательских организаций. Еще одним примером является OSERIT (Комплексный инструмент оценки разливов нефти и реагирования на них, Legrand and Duliere, 2014), впервые разработанный в Бельгии и в настоящее время обслуживающий потребности EMSA-CSN (Европейское агентство по безопасности на море — CleanSeaNet) в Северном море. NOOS-Drift — это транснациональная система MMA, которая может составлять прогнозы дрейфа по запросу. Она позволяет повысить доверие конечных пользователей к результатам модели дрейфа и помогает им ориентироваться в процессе принятия решений, что является реальной потребностью, выраженной пользователями. NOOS-Drift включает набор количественных показателей точности траектории дрейфа, оцениваемых на основании разброса участвующих прогнозов моделей дрейфа. Она помогает определить, какие различия обусловлены разными моделями траекторий, а какие — разными данными форсирования. Она опирается на оперативные океанографические прогнозы, предоставляемые Службой морского и экологического мониторинга «Коперник» (СМЭМК). Область обслуживания — все европейские северо-западные шельфовые моря, с акцентом на территориальные воды и исключительные экономические зоны Бельгии, Франции и Норвегии.

**Средиземное море**

В Средиземном море сообщество оперативной океанографии СОСГСНО (Средиземноморская океанографическая сеть для Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО)) и НМГС придерживались концепции интеграции существующих национальных метеорологических и океанографических систем прогнозирования и СМЭМК для создания специального онлайнового хранилища данных, что облегчает доступ ко всем этим данным для их использования в хорошо зарекомендовавших себя моделях разливов нефти в регионе. Была создана многомодельная служба прогнозирования разливов нефти, известная как MEDESS-4MS (Средиземноморская система поддержки принятия решений по морской безопасности). Система MEDESS-4MS (Zodiatis et al., 2016) также интегрирована с данными платформ мониторинга разливов нефти, включая спутники, и предлагает ряд сценариев обслуживания, доступ к мультимодельным данным и интерактивные возможности для удовлетворения потребностей РЕМПЕК Средиземноморский региональный центр по ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением моря), EMSA-CSN и национальных пользователей, таких как береговая охрана. MEDESS-4MS не привела к созданию оперативной системы, но послужила предшественницей для разработки подобных систем, таких как NOOS-Drift.

**Северо-западная часть Тихого океана**

В западной части северной части Тихого океана меры по ликвидации разливов нефти в основном принимались национальными учреждениями, такими как береговая охрана во многих странах. Тем не менее серьезный случай разлива нефти в Находке в 1997 г. привел к осознанию важности систематического прогнозирования и ликвидации разливов. Японская береговая охрана (ЯБО) и Японское метеорологическое агентство (ЯМА) заключили соглашение о сотрудничестве для повышения потенциала в области реагирования. ЯМА разработала имитационную модель разливов нефти (JMA, 2002), с помощью которой государства-члены также получают прогнозы разливов в рамках МПЕРСС. После получения сообщения о разливе нефти ЯБО предоставляет данные об условиях аварии (место, время, тип нефти, количество разлитой нефти и т. д.), а ЯМА составляет прогнозы разливов. Прогнозы доводятся до ЯБО вместе с метеорологическими и океанографическими условиями для поддержки мер реагирования. Во время недавнего инцидента с разливом нефти в 2021 г. прогнозы, подобные показанным на рисунке 2.2.2, были предоставлены ЯБО. Случай в Находке также послужил толчком к укреплению международной структуры: План действий в северо-западной части Тихого океана (НОУПАП) Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), членами которого являются Китай, Япония, Республика Корея и Россия. В 2000 г. НОУПАП учредила Региональный центр деятельности по обеспечению готовности к чрезвычайным ситуациям и реагированию на них в морской среде (МЕРРАК). В его обязанности входит хранение и обновление контактных данных государств — членов НОУПАП, участвующих в предотвращении загрязнения моря и реагировании на него, а также регистрация инцидентов с разливом нефти, опасных и вредных веществ.

A picture containing text

Description automatically generated

**Рисунок 2.2.2. Пример прогноза разлива нефти, составленного ЯМА и переданного Японской береговой охране, которая является ответственным учреждением по реагированию. Нефтяное пятно представлено в виде облака частиц (синие точки)**

2.2.3 Ожидаемые изменения для улучшения качества обслуживания

В предыдущих подразделах были представлены современные передовые методы оперативного прогнозирования разливов нефти. Было показано, что существуют хорошо зарекомендовавшие себя модели и виды обслуживания, которые могут быть задействованы и использованы новыми участниками и регионами. В настоящем разделе, со ссылкой на общие тенденции, перечисленные в разделе 2.1.4, представлены некоторые важные тенденции, направленные на повышение эффективности служб прогнозирования разливов нефти и качества их продукции.

1. Многонациональное сотрудничество для разработки моделей разливов нефти. Оперативное моделирование разливов нефти началось как надомное производство, в котором создавались собственные коды моделей для использования на коммерческом рынке. Только в последнее десятилетие сотрудничество в разработке моделей и разработка открытых — даже общественных — кодов достигли реального прогресса. Разработка открытых общественных кодов моделей особенно выгодна в контексте внедрения моделей разливов в развивающихся морских государствах. Было организовано несколько совместных мероприятий такого рода, однако существуют возможности для расширения рамок развития.

Важным требованием при разработке модели является определение эталонных тестов и примеров. Особенно ценным было бы создание нескольких хорошо описанных реальных случаев разлива нефти, для которых легко доступны данные форсирования и проверки.

2. Многонациональное сотрудничество для повышения качества обслуживания. Преимущество сотрудничества между национальными службами прогнозирования дрейфа уже упоминалось в контексте мультимодельного ансамблевого прогнозирования (MMA). Помимо обмена результатами моделирования, потенциальные преимущества дает сотрудничество по другим звеньям производственной цепочки. Например, активный обмен данными форсирования, информацией о начальных условиях (данные обнаружения), согласованными форматами файлов, методами визуализации, архивирование данных о тестировании и т. д.

Еще одним аспектом многонационального сотрудничества является поддержка развития морских государств, которые в настоящее время не имеют собственных соответствующих служб прогнозирования разливов. Кроме того, возможно совместное использование служб на региональном уровне, учитывая улучшение доступа к данным форсирования и кодам дрейфовых моделей, что может стать экономически эффективным способом развития. Хотя весь Мировой океан может быть охвачен глобальными системами, работающими в нескольких развитых странах, потребность в детальной информации вблизи побережья подразумевает, что в итоге существует необходимость в службах прогнозирования дрейфа в локальном масштабе для поддержки местных мер реагирования на чрезвычайные ситуации.

3. Специфические функциональные возможности моделей разлива нефти. Модели поведения в окружающей среде разливов были разработаны с несколько различными функциональными возможностями в зависимости от наиболее насущных потребностей на местах. Однако наблюдается тенденция к расширению возможностей моделей. Ниже приведен список возможностей модели, которые получили ограниченное применение, но которые следует сделать более широкодоступными:

- характеристики вредных веществ, отличных от нефти,

- нефть в морском льду,

- соединение модели дрейфа вещества с моделью дрейфа судна,

- подповерхностный источник (и трехмерное моделирование),

- повторная инициализация геометрии разлива в соответствии с наблюдениями,

- учет приливных течений в тех областях, где нет доступных данных океанических моделей,

- возможность обратного (инверсного) расчета,

- доступ к данным климатологического форсирования для долгосрочного прогнозирования (от нескольких недель до нескольких месяцев).

4. Стандартная система обмена информацией о разливах. В настоящее время не существует стандартов форматирования информации о разливах нефти и обмена ею. Схемы различаются в национальных службах и региональных объединениях. Различия могут быть обусловлены специфическими требованиями, но желательно определить общий стандарт, который не зависит от конкретных систем прогнозирования. Это может способствовать сотрудничеству между поставщиками и пользователями информации, а также содействовать сотрудничеству между составителями прогнозов на национальном, региональном и международном уровнях.

2.2.4 Обзор потребностей пользователей в метокеанической информации о разливах нефти и других вредных веществ

**Потребности пользователей**

|  |  |
| --- | --- |
| Международная организация | ИМО |
| Международная документация | **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНВЕНЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ВМЕШАТЕЛЬСТВА В ОТКРЫТОМ МОРЕ В СЛУЧАЯХ АВАРИЙ, ПРИВОДЯЩИХ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ НЕФТЬЮ (1969 г.) и ПРОТОКОЛ О ВМЕШАТЕЛЬСТВЕ В ОТКРЫТОМ МОРЕ В СЛУЧАЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЕЩЕСТВАМИ, ИНЫМИ ЧЕМ НЕФТЬ (1973 г.)** направлены на наделение прибрежного государства полномочиями по вмешательству в открытом море в случае аварии, приводящей к загрязнению и угрожающей нанести ущерб или наносящей ущерб его береговой линии или соответствующим интересам.  http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-Relating-to-Intervention-on-the-High-Seas-in-Cases-of-Oil-Pollution-Casualties.aspx  **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНВЕНЦИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С СУДОВ (МАРПОЛ 73/78)** направлена на ликвидацию загрязнения моря нефтью и другими вредными веществами, а также сточными водами и мусором. Совершенствование контроля за эксплуатационными сбросами нефти и снижение количества нефти, выброшенной в результате аварий, являются наиболее важными вопросами в области предотвращения чрезвычайных ситуаций, обеспечению готовности и мерам реагирования (ПЧСОГМР). Некоторые важные районы обозначены как специальные районы МАРПОЛ. Арктическая зона еще не получила такого статуса.  **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНВЕНЦИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГОТОВНОСТИ НА СЛУЧАЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ, БОРЬБЕ С НИМ И СОТРУДНИЧЕСТВУ (БЗНС, 1990 г.) и ПРОТОКОЛ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГОТОВНОСТИ, РЕАГИРОВАНИЮ И СОТРУДНИЧЕСТВУ ПРИ ИНЦИДЕНТАХ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОПАСНЫМИ И ВРЕДНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ (ПРОТОКОЛ БЗНС-ОВВ, 2000 г.)** охватывают две из областей, входящих в компетенцию ПЧСОГМР, а также в них обсуждаются вопросы планирования действий в чрезвычайных ситуациях, подготовки кадров и сотрудничества в рамках исследовательских программ. |
| Любые международные координационные границы | Данных нет, передано в ведение прибрежного государства |
| Ответственность за реагирование | Национальный уровень |
| Требования к оперативному реагированию | Безопасность и эффективность работы бригад по очистке, оценка времени дисперсии нефти, прогноз движения нефти |
| Как сообщается о происшествии | Суда несут ответственность за сообщение о разливе нефти в национальные органы власти |
| Как координируются меры реагирования | Национальный орган несет ответственность за инициирование своего плана реагирования и организацию метокеанической информационной поддержки |

### **Раздел 2.3. Аварии, связанные с людьми и предметами**

Аварии, связанные с людьми и предметами, плавающими и дрейфующими на поверхности океана, рассматриваются аналогичным образом. Действительно, цели часто в совокупности называют дрейфующими объектами. Однако основная мотивация для разработки процедур реагирования на дрейфующие объекты всегда была связана с людьми, т. е. с ПСО. Поэтому в данном разделе речь пойдет в основном о методах ПСО. В последнее время уроки, извлеченные в ходе разработки инструментов ПСО, способствовали применению этих инструментов к другим классам дрейфующих объектов, таких как плавающие грузовые контейнеры, потерянные в море.

2.3.1 Справочная информация

Введение в организацию и моделирование ПСО

ПСО в первую очередь направлены на поиск людей и судов, уцелевших на море, и спасение выживших. ПСО также имеют общие черты и пересекаются с ликвидацией разливов нефти, поскольку позволяют прогнозировать дрейф потенциально опасных плавающих объектов, таких как морские контейнеры и вышедшие из строя суда.

Timeline

Description automatically generated with medium confidence

**Рисунок 2.3.1. Временная шкала ПСО**

Время реагирования органов, ответственных за проведение ПСО, необходимое для доставки ресурсов на место происшествия, является самым коротким среди всех чрезвычайных ситуаций на море. На рисунке 2.3.1 показано обобщенное время ПСО, включающее все основные события временной шкалы ПСО, от нескольких минут до нескольких дней (а иногда и дольше). Однако не каждый инцидент, сопровождающийся ПСО, содержит все эти элементы, но все они содержат время инцидента, уведомление органов, ответственных за ПСО, и реагирование на инцидент с привлечением ресурсов ПСО. Часто инцидент, требующий ПСО, успешно разрешается при первоначальном реагировании, и удается спасти жизни людей. Тем не менее, есть некоторые инциденты ПСО которые охватывают всю хронологию ПСО из-за сочетания таких факторов, как: сложное движение до возникновения аварийной ситуации; неопределенность во времени инцидента; значительные задержки с уведомлением; ограниченная информация из сторонних источников сообщения; районы, расположенные далеко от средств реагирования; и трудно обнаруживаемые, но благоприятные условия для выживания и суда, что приводит к многократным циклам планирования и последующих поисковых усилий до тех пор, пока инцидент не будет разрешен или нейтрализован.

Процесс ПСО начинается с уведомления органов ПСО, которым необходимо ответить на три основных вопроса:

1. когда произошел инцидент;

2. где произошел инцидент;

3. о каком количестве объектов ПСО и о каких типах идет речь?

В совокупности эти три вопроса являются начальными условиями или возможными сценариями для конкретной ПСО. Если источником сообщения является само терпящее бедствие судно, то неопределенность в отношении времени, места и объекта часто может быть очень точной или ограниченной. Однако при использовании сторонних источников сообщения может существовать значительная неопределенность в сценарии или возможных сценариях. Существует множество сценариев, но большинство из них может быть охвачено ограниченным набором типов сценариев. Наиболее фундаментальным сценарием, основанным на данных района, является двумерное нормальное распределение о последнем известном местоположении (ПИМ), где распределение отражает неопределенность в системе позиционирования и любые дополнительные неопределенности (например, сообщение неправильных сведений, задержка по времени). Второй основной сценарий — это правильно построенный многоугольник, покрытый однородным распределением (сценарий площади). Сценарий, основанных на данных района, хорошо работает, когда судно, из которого исходит сигнал (например, рыбацкая лодка), часто посещает известный регион (например, рыболовные угодья). Сценарий, основанный на данных о рейсе, представляет собой транзит между серией точек (ПИМ) или районов с возможными временными периодами активности в этих районах (например, патрулирование, рыбалка). Рейсы могут быть либо экологически интерактивными (на них влияют метокеанические условия), либо нет (нет прямого влияния метокеанических условий). Для наблюдения вспышек используются другие, более специализированные сценарии; одиночные или пересекающиеся линии с высоких точек радиопеленгации; и счисление пути от ПИМ. В этих сценариях также существует неопределенность относительно времени инцидента. Опять же, при передаче сообщения напрямую с терпящего бедствие судна эта неопределенность снижается. В других случаях неопределенность во времени может длиться с момента последнего известного времени, когда судно было в безопасности, до момента получения уведомления от третьей стороны. Это может длиться от нескольких часов до суток и более. При некоторых ПСО существует неопределенность в отношении объекта поиска: вертикальный или затопленный или перевернутый спасательный плот или судно, с людьми на борту или без них; человек в воде (ЧВВ) в спасательном жилете, спасательном костюме, умерший или плавающий. Экологически интерактивные сценарии учитывают влияние метокеанических условий либо на само плавание, либо на вероятность превращения исходного судна в объект ПСО, либо на распространение авиационного инцидента (поломка во время полета или потеря топлива, приводящая к контролируемому скольжению), либо на изменение траектории из-за ограниченности движущей силы (например, при активном плавании или гребле). Сценарий, основанный на данных о рейсе, имитирует плавание исходного судна вдоль серии линий маршрута от начала до конца, где каждая линия маршрута имеет одинаковую вероятность привести к превращению судна в потерпевший бедствие дрейфующий объект. Однако по мере того, как отправляющееся судно проходит время и местоположение опасности могут быть введены «опасные явления» для повышения вероятности возникновения потерпевшего бедствие дрейфующего объекта. Опасное явление может быть постоянным или временным. Например, для учета трех основных типов авиационных происшествий были разработаны три сценария: потеря управления на высоте, которая создает распределение ПИМ как функцию высоты в момент происшествия; поломка во время полета с рассеиванием обломков по динамике и профилю поля ветра на морской поверхности; и самолет, у которого закончилось топливо и который скользит по курсу или в направлении пункта назначения, но под влиянием ветров в верхней атмосфере. Последний тип интерактивного сценария — это пловец (обычно аквалангист или акванавт), попавший в бедственное положение и активно плывущий по направлению к цели. Сценарий активного пловца имеет как вектор плавания, на который воздействуют волны, так и вектор дрейфа течения; он может переходить в пассивный режим ЧВВ, например, ночью. Для реализации всех этих сценариев необходим доступ к метокеаническим данным.

После ввода сценариев в модель траектории и получения вероятностных прогнозов дрейфа, органы, планирующие ПСО, могут приступить к планированию поисковых работы каждого из поисковых отрядов. В течение первого этапа поиска орган, планирующий ПСО, вполне способен спланировать оптимизацию поисковых усилий для имеющихся ресурсов, учитывая различные возможности поисковых отрядов и их датчиков, условия на месте происшествия и объекты поиска, на которых каждый отряд может сосредоточить свои усилия. Однако если первоначальные поисковые усилия не увенчались успехом и потребовались последующие поисковые усилия, то для учета первоначальных неудачных поисковых усилий и обновления распределения вероятностей потребуется инструмент планирования ПСО, для которого потребуется обновленная информация о дрейфе. Для планирования и учета поисковых усилий необходимы данные об окружающей среде, на основании которых можно определить, какие параметры влияют на работу датчиков. Эти параметры данных включают, но не ограничиваются, видимость, осадки, температуру воздуха и поверхности воды, скорость ветра, высоту волн, процент пены на гребнях волн, угол солнца, фазу луны и облачность.

Не все поиски оказываются успешными, и орган, планирующий ПСО, в определенный момент должен решить, продолжать или приостановить поиск («Активный поиск приостановлен в ожидании дальнейшего развития событий» или АКТСУС). Это решение является критическим для жертв, их семей и органов, ответственных за ПСО. Прогнозы ухудшения физиологического состояния выжившего и будущего времени выживания очень важны для органа, планирующего ПСО, во время поиска. Орган, планирующий ПСО, использует эти прогнозы для оптимизации поисковых ресурсов и для рассмотрения вместе с другими аспектами поиска при принятии решения об АКТСУС (Turner et al, 2009). Модели поведения в окружающей среде для оценки выживания в море в настоящее время ограничены соотношением физиологического тепловыделения и теплопотери. В данных моделях выживаемости при гипотермии в качестве входных параметров окружающей среды используются температуры воздуха и поверхности моря, а также скорость ветра, относительная влажность, волны и солнечная радиация, которые необходимы в течение пяти дней после инцидента (Tipton et al., 2022).

Поскольку инцидент произошел до получения уведомления, прогнозы дрейфа будут необходимы с самого раннего возможного времени до тех пор, пока следующий набор ресурсов не закончится и не завершатся поисковые работы. Для модели траектории дрейфа потребуются начальные условия, т. е. сценарии и объекты дрейфа, а также прогнозируемая временная шкала использования ресурсов.

Когда уведомление о происшествии, требующем проведения ПСО, поступает в органы, отвечающие за ПСО, их непосредственная цель — как можно скорее задействовать ресурсы ПСО, поставив первоначальную или предварительную задачу, независимо от того, имеется ли прогноз дрейфа и необходим он или нет. Это требует, чтобы время выполнения запроса или потребности органов, ответственных за ПСО, в отношении прогноза дрейфа до предоставления прогноза дрейфа было оперативно приемлемым для органов, ответственных за ПСО. Из трех общих схем для систем передачи и обработки данных (раздел 2.1.2) для чрезвычайных ситуаций, требующих ПСО, используются первая или третья системы. Система передачи и обработки данных «один к одному» широко использовалась и продолжает использоваться для поддержки расчетов траектории дрейфа при ПСО. Ограничение этого подхода заключается в том, что контролеры ПСО обычно ограничены в масштабах и сложности входных сценариев.

2.3.2 Обзор существующих возможностей

Далее основное внимание будет уделено методам ПСО, поскольку они, безусловно, являются наиболее полными и устоявшимися и составляют основу для работы со всеми другими дрейфующими объектами. Реагирование на дрейфующие объекты, не относящиеся к ПСО, носит более специфичный характер для различных регионов и отраслей и (пока) не охватывается глобальными рамочными системами, аналогичными системам для ПСО. Тем не менее, объекты, не относящиеся к ПСО, все чаще попадают в поле внимания общественности, и в настоящее время различные учреждения реагирования рассматривают все больше классов объектов, например, грузовые контейнеры, пластик, пемза и пепел. В конце этого раздела кратко обсуждаются объекты, не относящиеся к ПСО.

2.3.2.1 Поисково-спасательные операции (ПСО)

С появлением оперативных океанических моделей высокого разрешения и постоянным совершенствованием ЧПП потенциал для составления более детальных прогнозов поведения в окружающей среде дрейфующих объектов за последние два десятилетия значительно вырос (Breivik et al., 2013). Однако, хотя улучшение прогнозов погоды привело к улучшению форсирования, модели дрейфа оставались несколько невосприимчивыми к достижениям в области моделирования океана и численного прогнозирования погоды. Возможно, это можно лучше всего понять в свете больших неопределенностей в дрейфовых свойствах объектов ПСО, а также точности используемых данных форсирования.

Во-первых, без правильной оценки основных свойств дрейфа и соответствующих неопределенностей прогнозирование дрейфа и расширения района поиска остается затруднительным. Важные изменения произошли, когда прямой метод измерения сноса дрейфующего объекта стал общепринятым (Allen and Plourde, 1999; Allen, 2005; Breivik et al., 2011; Hodgins and Mak, 1995; Hodgins and Hodgins, 1998). При прямом методе измеряется движение объекта относительно окружающей воды с помощью гидрометрической вертушки. Гидрометрические вертушки, достаточно маленькие и гибкие, чтобы их можно было буксировать или прикреплять непосредственно к объекту ПСО, стали доступны в 1980-х гг., и с тех пор почти во всех полевых экспериментах с объектами ПСО используется метод прямых измерений (Allen and Plourde, 1999; Breivik et al., 2011). Прямой метод, вместе со строгим определением сноса как движения объекта, вызванного ветром (на контрольной высоте 10 м) и волнами относительно окружающего течения (на глубине от 0,3 до 1,0 м), и, наконец, разложение коэффициентов сноса на подветренные и поперечные ветровые составляющие, позволяет следовать строгой процедуре проведения полевых экспериментов по изучению сноса. См. Allen and Plourde (1999); Breivik and Allen (2008); Breivik et al. (2011) для получения дополнительной информации.

Во-вторых, как и при моделировании прогнозирования разливов нефти, решающее значение имеет точность данных о ветре и течении. Опять же, именно данные о течениях являются наименее точными и представляют собой больший источник неопределенности в прогнозах дрейфа. Более подробно мастерство прогнозирования океанических течений обсуждается в разделе 2.1.2.3.

Только в 2000-х гг. были получены все необходимые компоненты, требуемые для полностью стохастического моделирования с использованием высококачественных коэффициентов дрейфа и подробных прогнозов течения и ветра. Первая оперативная модель сноса, в которой используется таблица коэффициентов дрейфа Береговой охраны Соединенных Штатов (БОСШ) (Allen and Plourde, 1999) с полями течений в океанической модели высокого разрешения и полями приповерхностного ветра, начала функционировать в 2001 г. (см. Hackett et al. 2006); Breivik and Allen 2008; Davidson et al. 2009). Современная эпоха планирования ПСО с использованием байесовских апостериорных обновлений после поиска началась в 2007 г., когда БОСШ запустила Систему оптимального планирования поисково-спасательных операций (СОППСО), см. Kratzke et al. (2010). В СОППСО используется сервер данных об окружающей среде, в который поступают прогнозы ветра и течения из ряда источников. Она рекомендует пути поиска для нескольких поисковых отрядов, которые максимизируют увеличение вероятности обнаружения от приращения поиска. Как и в CASP, в ней рассчитываются байесовские апостериорные распределения местоположения объекта с учетом неудачного поиска и движения объекта. Недавние события в Средиземном море (Coppini et al. 2016) продемонстрировали оперативные возможности поддержки ПСО благодаря внедрению модели сноса в СМЭМК. Сервис под названием *Ocean-SAR* (Океан-ПСО) доступен для пользователей на сайте [www.ocean-sar.com](http://www.ocean-sar.com).

Хотя за последние два десятилетия уровень сложности и детализации значительно вырос, неопределенность в прогнозах ПСО остается неизменно высокой. Фундаментальная задача оценки и прогнозирования районов поиска при наличии больших неопределенностей остается, по сути, той же, даже несмотря на уменьшение некоторых источников ошибок. Медленный прогресс, достигнутый за последние десятилетия в снижении скорости расширения зон поиска (возможно, это единственная оптимальная оценка улучшения), является неизбежным следствием того, что на планирование ПСО влияют различные ошибки в полях течения, полях ветра, отсутствующие физические процессы (например, волновые эффекты, см. Breivik and Allen 2008; Röhrs et al. 2012), неопределенность в ПИМ и, не в последнюю очередь, некорректных оценок реальных дрейфовых характеристик объекта. Действительно, иногда тип объекта может быть даже не известен, что фактически превращает моделирование в интеграцию ансамбля, охватывающего целый ряд категорий объектов. Все эти источники ошибок накапливаются и превращают планирование ПСО скорее в искусство, чем в науку, где спасатели все еще часто полагаются в равной степени как на свои «догадки», так и на результаты работы сложных инструментов прогнозирования. Тот факт, что большинство ПСО происходит вблизи береговой линии и в частично защищенных от волнения водах (Breivik and Allen, 2008), усугубляет трудности, поскольку разрешение оперативных океанических моделей во многих местах мира все еще недостаточно для определения особенностей прибрежной зоны.

За последние два десятилетия эти достижения и препятствия на пути дальнейшего прогресса были представлены в основном в рамках серии семинаров «Технологии для поисково-спасательных операций и других чрезвычайных морских операций» (2004, 2006, 2008 и 2011 гг.), организованных французским научно-исследовательским институтом по освоению моря ИФРЕМЕР при поддержке Норвежского метеорологического института, БОСШ, Франко-норвежского фонда и Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии (СКОММ).

2.3.2.2 Морской мусор и опасность для навигации

Подобно типичным объектам ПСО и разливам нефти, плавающий морской мусор может потребовать отслеживания для обеспечения очистки или уменьшения его опасности для судов[[3]](#footnote-4). К таким объектам относятся упавшие за борт морские контейнеры, плавающее содержимое поврежденных морских контейнеров, пластиковый мусор, перенесенный в океан из рек или выброшенный за борт, обломки разбившихся самолетов и потонувших судов, избыток саргассов, а также естественный мусор, образовавшийся в результате наводнений или затопления рек (например, стволы деревьев) и извержений вулканов (пемза и пепел). За исключением морских контейнеров, прямое измерение характеристик сноса морского мусора невозможно из-за их типичного размера (т. е. меньше, чем нынешнее поколение гидрометрических вертушек). Однако в конкретных случаях можно применить метод, предложенный Sutherland и др. (2020), чтобы нивелировать снос рассматриваемых дрейфующих объектов.

Реагирование на объекты, не являющиеся объектами ПСО, ближе к реагированию на разливы нефти, чем к реагированию на суда ПСО и выживших. Это связано с разнообразием объектов, не попадающих под категорию объектов ПСО, и недостатком знаний о характеристиках их сноса. Кроме того, целью является уменьшение ущерба и концентрация на очистке, а не на спасении жизней. Многие из этих объектов разрушаются не очень быстро или вообще не разрушаются, за исключением морских контейнеров, которые в конце концов тонут, и мертвых китов, которые раздуваются, сдуваются или съедаются, прежде чем утонуть или быть выброшенными на берег. Как и при моделировании разлива нефти, в инцидент может быть вовлечено несколько тысяч объектов, что создает распределение реальных объектов, которое можно сравнить со смоделированным распределением частиц.

2.3.3 Ожидаемые изменения для улучшения качества обслуживания

В предыдущих подразделах были представлены современные передовые методы оперативного прогнозирования дрейфующих людей и объектов. Было показано, что существуют хорошо зарекомендовавшие себя модели и виды обслуживания, которые могут быть задействованы или доступны и использованы новыми участниками и регионами. В настоящем разделе, со ссылкой на общие тенденции, перечисленные в разделе 2.1.4, представлены некоторые важные тенденции, направленные на повышение эффективности служб прогнозирования и качества их продукции.

1. Продолжение полевых работ крайне важно для расширения таксономии объектов поиска и повторного изучения объектов, которые были изучены только с помощью более старых полевых методов.

2. Данные форсирования с более высоким горизонтальным разрешением все еще являются серьезной проблемой, учитывая, что большинство ПСО проводятся вблизи побережья (Breivik et al., 2013). Увеличение разрешения модели для оперативных данных помогает системе «видеть» больше деталей прибрежных вод (острова, фьорды и т. д.), а также открывает перспективы для получения более реалистичного движения объектов.

3. Размещение высокочастотных береговых радаров. Поскольку ПСО, как правило, проводятся вблизи побережья, существует также потенциальная выгода в использовании наблюдаемых полей течения с помощью ВЧ-радара. Эти наблюдения могут использоваться напрямую или в сочетании с результатами океанических моделей для получения краткосрочного прогноза, хотя их временной горизонт ограничен примерно 24 часами (см., например, Barrick et al., 2012). Более того, эти данные могут быть ассимилированы в океаническую модель для улучшения текущих прогнозов.

4. Ансамблевое моделирование поверхностных течений все чаще используется для того, чтобы разобраться с неопределенностью, связанной с полями форсирования. Цель и преимущества аналогичны тем, что описаны в разделе 2.3.2.1. Поскольку большинство оперативных моделей ПСО основаны на ансамбле (частицах), распределение членов ансамбля по различным полям форсирования не вызывает затруднений. Ансамбли полей ветра также были бы полезны, но неопределенность меньше в первые 48 часов, а большинство поисков требуют относительно коротких прогнозов.

5. Многонациональное сотрудничество для повышения качества обслуживания. Преимущество сотрудничества между национальными службами прогнозирования дрейфа уже упоминалось в связи с разливом нефти (см. раздел 2.2.3 §2). Те же преимущества могут быть получены и для ПСО, особенно на региональном уровне, поскольку большинство из них происходит вблизи побережья.

6. Обслуживание по проведению ретроспективного анализа — обратная траектория — важна для спасательных команд, чтобы установить движение объекта между его ПИМ и текущим временем. Составление аналитических полей ветров и течений на регулярных временных шагах может помочь органам власти быстро определить наиболее вероятные районы поиска.

2.3.4 Обзор потребностей пользователей в метокеанической информации о ПСО и дрейфующих объектах

**Потребности пользователей**

|  |  |
| --- | --- |
| Международная организация | ИМО |
| Международная документация | **Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС)**  **Международная конвенция по поиску и спасанию на море 1979 года (Конвенция САР)**  В **Руководстве по международному авиационному и морскому поиску и спасанию (МАМПС)** изложены процедуры координации ПСО. В Руководстве определены характеристики дрейфа объектов в зависимости от воздействия ветров и течений. |
| Любые международные координационные границы | Как ИМО, так и Международная организация гражданской авиации (ИКАО) спонсируют глобальные планы ПСО, распределяя РПСО между странами.  РПСО были разработаны ИКАО и ИМО в консультации с государствами-членами, и часто отражают существующие зоны полетов и близость к странам.  Орган по ПСО отвечает за координацию ПСО во время аварийной ситуации на море или в воздухе в пределах их РПСО. |
| Ответственность за реагирование | Совместный спасательно-координационный центр (ССКЦ) или назначенный национальный орган. |
| Требования к оперативному реагированию | Безопасность и эффективность работы поисковых бригад, оценка времени выживания человека, прогноз перемещения объекта или человека. |
| Как сообщается о происшествии | Суда несут ответственность за сообщение о человеке за бортом в национальные органы власти. О пропавших без вести судах или лицах можно сообщить в ССКЦ через ГМССБ. |
| Как координируются меры реагирования | ССКЦ или назначенный национальный орган отвечает за координацию поисковой операции и организацию получения метокеанической информации для поддержки оценки дрейфа и планирования поиска. |

Diagram

Description automatically generated

**Рисунок 2.3.2. Пример выходных данных модели дрейфующего объекта, прогнозирующей дрейф спасательного плота с использованием ансамбля дрейфующих частиц. Показан снимок после 102 часов дрейфа. Маленькие красные и зеленые линии показывают положение частиц ансамбля и их траекторию за период в 1 час. Красным и зеленым цветами обозначены два угла сноса. Желтый круг — начальное положение, а желтая линия показывает траекторию движения центра тяжести облака частиц в течение всего прогнозного периода (5 дней). Красные и зеленые многоугольники — это оценки зон поиска по выпуклым контурам для каждого угла сноса**

### **Раздел 2.4. Выбросы радионуклидов**

2.4.1 Справочная информация

В 2005 г. МАГАТЭ создало Центр по реагированию на аварии и чрезвычайные ситуации (ЦРАЧС) для оказания круглосуточной помощи своим государствам-членам в реагировании на ядерные и радиологические события, включая угрозы в плане безопасности, путем координации усилий, вклада и действий экспертов из МАГАТЭ, государств-членов и международных организаций. ЦРАЧС является глобальным координационным центром по международной готовности к чрезвычайным ситуациям, чрезвычайной связи и реагированию на ядерные и радиологические инциденты и чрезвычайные ситуации, независимо от того, возникают ли они в результате несчастного случая, халатности или преднамеренных действий. Это мировой центр по координации международной готовности к чрезвычайным ситуациям и помощи в реагировании на них.

В 2012 г. ЦРАЧС провел анализ пробелов в выявленных внутренних возможностях реагирования, оценки и прогнозирования во время радиологических или ядерных событий или чрезвычайных ситуаций с акцентом на сценарии аварий на атомных электростанциях. В период после аварии на Фукусиме стало ясно, что было бы выгодно иметь доступ к возможностям морского моделирования в ЦРАЧС в рамках обычных механизмов реагирования на чрезвычайные ситуации. Это было вызвано опасениями по поводу большого количества загрязненной воды, попавшей в океан.

В 2013 г. ЦРАЧС провел консультативное совещание «Моделирование морской и водной среды во время аварий на ядерных энергетических реакторах 29 июля — 31 июля и совещание целевой группы СКОММ 1 августа 2013 г.». В рамках этой консультации в Вену были приглашены эксперты по моделированию морской и водной среды для обсуждения использования таких возможностей во время реагирования на радиологический выброс. В ходе консультации были изучены имеющиеся методы для проведения такого рода моделирования, обсуждены существующие группы экспертов и организации, работающие в этой области, а также подготовлены предложения по будущим действиям ЦРАЧС по улучшению его возможностей в этой области (как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе). Участники консультации обсудили характеристики обслуживание и типы выходных данных, получаемые на основе морских моделей, которые могут быть предоставлены технической группе ЦРАЧС во время события, чтобы она могла провести полезный анализ и получить представление о потенциальной динамике загрязнения морской среды. Кроме того, на консультативном совещании обсуждалось, какие виды информации могут быть предоставлены ЦРАЧС государствам-членам для целей планирования и обеспечения понимания во время события.

На совещании обсуждались варианты получения доступа к возможностям океанографического моделирования в ЦРАЧС во время радиоактивного выброса. Участники согласились с тем, что самым идеальным вариантом для ЦРАЧС на данном этапе является организация внешнего экспертного потенциала, размещенного за пределами страны и доступного по мере необходимости. Реализация этого соглашения может быть аналогична существующему соглашению между ЦРАЧС и ВМО по поддержке метеорологического моделирования. Такие протоколы могут быть реализованы через РАНЕТ, в зависимости от определенных экспертных организаций по морскому моделированию.

В ходе совещания группа экспертов обсудила, какие общие рекомендации можно предоставить ЦРАЧС для использования в качестве руководства во время любого будущего сотрудничества с организациями, имеющими потенциал в области морского моделирования, для установления рабочих договоренностей. Выработанные рекомендации представлены в дополнении 1.

2.4.2 Обзор существующих возможностей

Система морского моделирования для имитации дисперсии радиоактивных материалов состоит из модели океанической циркуляции и модели дисперсии радионуклидов. Модель океанической циркуляции обеспечивает структуру океана, например течения, вихри и плотность воды от поверхности моря до дна. Модель дисперсии радионуклидов рассчитывает движение материалов на основе структуры океана с помощью модели циркуляции, принимая информацию об исходных условиях выброса (время выброса, количество и химическая форма материала) как для прямого выброса в море, так и в результате атмосферного осаждения.

В Японии несколько групп провели моделирование океанической дисперсии после аварии на Фукусиме. Хотя каждая группа использовала свой набор моделей и получила разные результаты, при их анализе было установлено, что слабое южное течение вдоль побережья Фукусимы определило первоначальное направление переноса, а мезомасштабные вихревые структуры и системы поверхностных течений способствовали дисперсии в районах за пределами континентального шельфа. В частности, Японское агентство по атомной энергии (ЯААЭ) провело моделирование и проверку дисперсии Cs137 для описания его средне- и долгосрочного перехода в океане с использованием модели ядерной дисперсии (GEARN), разработанную ЯААЭ, и модель океанической циркуляции (MOVE/MRI.COM, 1/10◦ для северо-западной части Тихого океана), разработанную Метеорологическим НИИ (МНИИ/ЯМА). Оно показывает, что непосредственно высвобожденный Cs137 движется на восток вдоль расширения Куросио, перемешиваясь и разбавляясь мезомасштабными вихрями, и через год достигает отметки 170⁰W.

В США Национальный центр для прогнозирования окружающей среды (НЦПОС) Национальной метеорологической службы (НМС) использовал трассировку частиц для прогнозирования движения радионуклидов в океане вскоре после ядерной аварии вблизи Фукусимы. Для отслеживания инертных частиц на поверхности океана использовались поля ежедневных прогнозов текущей/будущей погоды от 1/12° гибридной координатной модели океана (HYCOM), внедренной в НЦПОС в качестве Глобальной системы прогнозирования океана в реальном времени (RTOFS-Global), при этом предполагалось, что поведение поверхности разумно представлено слоем перемешивания океана, и что радионуклиды в основном содержатся и распределяются в верхнем слое перемешивания океана. В центре внимания была подготовка полезной информации для правительственной Межучережденческой рабочей группы (МРГ) в близком к реальному времени с использованием имеющихся ресурсов.

Используя информацию о трассировке частиц, НЦПОС произвел оценки времени удержания радионуклидов вблизи побережья, а также временных масштабов дисперсии этих материалов в Тихом океане, особенно в системах постоянных течений, таких как Куросио и его расширение, а также Оясио. Это помогло определить как потенциально безопасные районы в Тихом океане, так и зоны потенциального воздействия в сроки от нескольких недель до нескольких месяцев. С помощью отслеживания частиц в сочетании с атмосферным осаждением радионуклидов было получено первое предположение о загрязнении поверхностных вод океана.

Первые продукты отслеживания частиц регулярно предоставлялись МРГ в течение четырех недель после первого значительного выброса радионуклидов. Первые количественные оценки загрязнения на шельфе были предоставлены МРГ примерно через шесть недель (H. Tolman et al., 2013).

Во Франции группа СИРОККО (из ННИЦ и Университета Тулузы) по просьбе МАГАТЭ провела моделирование с использованием трехмерной модели океанической циркуляции СИРОККО для изучения дисперсии в морской воде радионуклидов, выброшенных в результате ядерной аварии на Фукусиме. В модели используется растянутая горизонтальная сетка с переменным горизонтальным разрешением, от 600 м вблизи Фукусимы до 5 км на шельфе. Начальные поля и боковые открытые граничные условия обеспечиваются с помощью глобальной системы Меркатора 1/12°. Группа СИРОККО первой опубликовала в Интернете результаты по морской дисперсии радионуклидов (Estournel et al., 2012).

С 2012 по 2014 г. Научный совет Японии организовал сопоставительное исследование моделей дисперсии в атмосфере и океане, которые позволили смоделировать будущее радиоактивных выбросов с Фукусимы. Результаты исследования были опубликованы в конце 2014 г. (Science Council of Japan, 2014). Они находятся в свободном доступе на сайте <http://cesd.aori.u-tokyo.ac.jp/cesddb/scj_fukushima/index_j.html>.

В докладе делается вывод о том, что, несмотря на сходство между различными смоделированными дисперсиями, между моделями обнаружены значительные различия, касающиеся распределений в пространстве и времени, которые являются результатом применения различных подходов и исходных условий. Невозможно определить, какая модель дает результаты, наиболее близкие к результатам измерений. Изменчивость морской циркуляции в зоне смешения между Куросио и Оясио к востоку от Фукусимы в значительной степени объясняет эту изменчивость из-за наличия неустойчивых вихрей.

Это сопоставительное исследование показывает, что в настоящее время существует несколько моделей, способных имитировать дрейф радионуклидов в океане. Различия между моделированием при ограниченном периоде дисперсии (с марта по июнь 2011 г.) показывают, насколько опасно их использование для оценки дисперсии выбросов радионуклидов в среднесрочной перспективе. Измерения на образцах в море остаются единственным надежным способом оценки дисперсии в этой области.

Оценки исходных условий для моделирования Фукусимы сильно различаются. Предполагаемый прямой сброс в море в апреле 2011 г. остается предметом споров между различными исследователями. Было проведено много оценок поступления 137Cs. На атмосферное осаждение на морской поверхности приходилось примерно такое же количество, но с широким распределением в северной части Тихого океана в первые месяцы после аварии.

Рабочая группа МАГАТЭ — МОДАРИА по моделированию морской дисперсии и переноса радионуклидов, аварийно выброшенных с наземных объектов, опубликовала статью о моделях, применяемых для моделирования морской дисперсии 137 Cs после недавних ядерных аварий (Periáñez et al., 2014). Современные модели дисперсии были применены для моделирования дисперсии 137 Cs, выпавшего в результате аварии на Чернобыльской АЭС в Балтийском море, и выбросов АЭС «Фукусима-1» в Тихом океане после цунами 2011 г. Использовался широкий спектр моделей, от боксовых до полностью трехуровневых, и все они включали взаимодействие воды и осадка. В Балтике наблюдалась очень хорошая согласованность между моделями. В случае Фукусимы результаты, полученные с помощью моделей, можно считать приемлемо согласованными только после процесса гармонизации моделей, состоящего в использовании точно такого же форсирования (циркуляция воды и параметры) во всех моделях. Было установлено, что динамика рассматриваемой системы (масштаб и изменчивость течений) имеет существенное значение для обеспечения высокого уровня согласованности между моделями. Были отмечены трудности в разработке оперативных моделей для поддержки принятия решений в этих динамичных условиях.

Они определили три этапа, которые необходимо рассмотреть после чрезвычайной ситуации, каждый из которых требует особых подходов к моделированию. Это чрезвычайный, послекризисный и долгосрочный этап.

1. Чрезвычайный этап. Временной масштаб моделирования простирается от нескольких часов до нескольких дней, а пространственный масштаб решаемых задач — от десятков до нескольких сотен километров. В этом случае необходимо очень быстрое реагирование модели (от нескольких секунд до нескольких минут), чтобы решить, например, нужно ли немедленно запретить купание на пляже или запретить ловлю рыбы. Такое быстрое реагирование может быть достигнуто при использовании данных о прогнозе диффузивности течений и волн из оперативных морских моделей и использовании лагранжевых моделей для прогнозирования переноса радиоактивности. Временной горизонт такого прогноза водных течений и волн ограничен временным масштабом прогнозов погоды, который составляет около 7—10 дней. Примеры такого подхода приведены в работах Periáñez and Pascual-Granged (2008), Estournel et al. (2012), Duffa et al. (2016), Garraffo et al. (2016) и Maderich et al. (2016). Загрязнение морской продукции также можно оценить с помощью динамических моделей биоты, как это было сделано в работе Duffa et al. (2016). На этом начальном этапе результаты моделирования также помогут разработать стратегии отбора проб для мониторинга.

2. Послекризисный этап. Временной масштаб простирается до нескольких недель, а пространственный — до порядка 100—1000 км. Мы можем рассмотреть возможность строительства водоопреснительной установки, которая бы производила пресную воду для орошения в нескольких сотнях километров от ядерного объекта. Необходимо решить, следует ли прекратить забор морской воды. На этом этапе на предоставление ответа отводится больше времени, чем на первом этапе. Однако использование краткосрочных океанических прогнозов нецелесообразно. Потенциальным решением является использование данных аналогичных периодов предыдущих лет и формирование ансамбля прогнозов радиоактивности для оценки будущего загрязнения воды, отложений и биоты. Что касается дисперсионной модели, то могут использоваться как лагранжевы, так и эйлеровы подходы (например, Kawamura et al., 2011, Simonsen et al. (2017) и Periáñez et al., 2012). Было показано, что взаимодействие со взвешенными веществами и донными отложениями влияет на характер переноса после аварии на Фукусиме (Choi et al., 2013; Min et al, 2013).

3. Долгосрочный этап. Этот этап предполагает оценку долгосрочных последствий аварии, включая перенос радионуклидов в отложения и биоту, а также оценку потенциальной роли отложений как источника загрязнения после снижения концентрации радионуклидов в морской воде (Periáñez, 2003). Эта оценка может быть проведена с помощью эйлеровых моделей, в которые эти сложные процессы легче включить, чем в лагранжевы системы и связанные динамические модели биоты (Vives i Batlle et al., 2016). Поля океанических течений получают путем усреднения по времени результатов моделирования океанической циркуляции. Моделирование в течение нескольких месяцев может проводиться для пространственных масштабов в несколько сотен километров. Для еще более долгосрочных оценок (от лет до десятилетий и тысяч километров) некоторые авторы рекомендуют использовать боксовые модели (Lepicard et al., 2004); Iosjpe et al., 2009). Для таких временных масштабов вычислительные затраты на использование трехмерных моделей становятся непомерно высокими, а результаты не лучше, чем у более дешевых боксовых моделей.

В любом случае, для высокодинамичных сред было установлено, что результаты моделирования чрезвычайно чувствительны к модели, которая используется для прогнозирования океанической циркуляции. Таким образом, модель океанической циркуляции должна выбираться с большой осторожностью и после детального сравнения с местными измерениями течений. В этом смысле Duffa et al. (2016) указывают, что для моделирования чрезвычайных ситуаций следует использовать локальные прогнозы морской циркуляции с высоким разрешением. Хотя глобальные модели океанической циркуляции дают реалистичные картины общей циркуляции в океане, их результаты отличаются в локальном масштабе в динамических средах, что, по крайней мере, частично, обусловлено их относительно низким пространственным разрешением.

В целом, модели, которые будут использоваться для чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом радионуклидов в морскую среду, должны быть тщательно настроены для каждого конкретного места, т. е. для каждого ядерного объекта, для которого решено иметь инструмент моделирования для поддержки принятия решений после потенциальной чрезвычайной ситуации, произошедшей там. Другими словами, мы не можем быть априори уверены в общих моделях, которые импортируют океанические прогнозы течений, если речь идет о высокодинамичной среде.

2.4.3 Изменения для улучшения качества обслуживания

Как было показано выше, существуют полезные модели для дрейфа и поведения радиоактивности в океане. Обслуживание в области прогнозирования может быть легко адаптировано на основе существующих видов обслуживания, связанных с дрейфом и поведением в окружающей среде, например, разливов нефти, и может быть задействовано и использовано новыми участниками и для новых регионов. В настоящем разделе, со ссылкой на общие тенденции, перечисленные в разделе 2.1.4, представлены некоторые важные тенденции, направленные на повышение эффективности служб прогнозирования дисперсии радионуклидов и качества их продукции.

1. Доступ к исходным данным, полевые измерения радионуклидов и разработка обратной методики для оценки исходных условий. Информация об исходных условиях выброса (место и время выброса, продолжительность и объем выброса, химическая форма радиоактивного материала) как для прямого выброса в море, так и в результате атмосферного осаждения является одним из ключевых элементов. Это означает, что результаты атмосферного моделирования становятся более доступными.

2. Информация о неопределенности. Для моделирования прогноза дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов можно использовать как одномодельный ансамбль, так и методы MMA. Например, учитывая описанные выше усовершенствования в доступе к данным, вполне реально получить набор данных форсирования для форсирования одной и той же модели дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов. И наоборот, в некоторых районах уже существует ряд действующих систем прогнозирования дрейфа и рассеивания радиоактивных материалов, которые географически дублируют друг друга; необходимо заключить соглашения о выполнении прогнозов для событий, происходящих на общей территории.

3. Многонациональное сотрудничество для разработки моделей. Разработка открытых общественных кодов моделей особенно выгодна в контексте внедрения моделей дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов в развивающихся морских государствах. Важным требованием при разработке модели является определение эталонных тестов и примеров. Особенно ценным было бы создание нескольких хорошо описанных реальных случаев, для которых легко доступны данные по форсированию и проверке.

4. Многонациональное сотрудничество для повышения качества обслуживания. Преимущество сотрудничества между национальными службами прогнозирования дрейфа уже упоминалось выше в связи с аварией на Фукусиме, а также в более формальном контексте многомодельного ансамблевого прогнозирования (ММА; см. раздел 2.1.4). Помимо обмена результатами моделирования, потенциальные преимущества дает сотрудничество по другим звеньям производственной цепочки. Например, активный обмен данными форсирования, информацией о начальных условиях (данные обнаружения), согласованными форматами файлов, методами визуализации, архивирование данных о тестировании и т. д.

В соответствии с разделом 2.1.4, еще одним аспектом многонационального сотрудничества является поддержка развития морских государств, которые в настоящее время не имеют собственных надлежащих служб прогнозирования дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов. Совместное использование служб на региональном уровне является реальной альтернативой, учитывая улучшение доступа к данным геофизического форсирования и кодам дрейфовых моделей, что может стать экономически эффективным способом развития. Хотя весь Мировой океан может быть охвачен глобальными системами, работающими в нескольких развитых странах, потребность в более детальной информации вблизи побережья подразумевает, что в итоге существует необходимость в службах прогнозирования дрейфа в локальном масштабе для поддержки местных мер реагирования на чрезвычайные ситуации. Регионализованная система поддержки, подобно сети РСМЦ, могла бы стать эффективным инструментом поддержки ВМО развивающихся государств-членов, особенно в области реагирования на чрезвычайные ситуации, связанные с радионуклидами.

5. Специфические функциональные возможности модели. Модели дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов были разработаны с несколько различными функциональными возможностями в зависимости от наиболее насущных потребностей на местах. Однако наблюдается тенденция к расширению возможностей моделей. Ниже приведен список возможностей модели, которые получили ограниченное применение, но которые следует сделать более широкодоступными:

 радиоактивные материалы в морском льду;

 сочетание прямого выброса в море (поверхностное или подповерхностное) и атмосферного осаждения;

 разработка базы данных радионуклидов, включая 137Cs, 134Cs, 90Sr, 131I, T, 99Tc и т. д., которая позволит определить параметры взаимодействия с твердыми частицами, биотой и человеком в толще воды и на границе атмосферы, морской воды и отложений;

 повторная инициализация объема и местоположения радиоактивного материала в соответствии с наблюдениями;

 перенос в биологический и осадочный компоненты;

 учет приливных течений в тех областях, где нет доступных данных океанических моделей;

 доступ к данным климатологического геофизического форсирования для долгосрочного прогнозирования (от нескольких недель до нескольких месяцев);

 стандарты для обмена данными моделей дрейфа и дисперсии радиоактивных материалов.

2.4.4 Обзор потребностей пользователей в метокеанической информации для чрезвычайного реагирования на дисперсию радионуклидов

**Потребности пользователей**

|  |  |
| --- | --- |
| **Международная организация** | **МАГАТЭ** |
| **Международная документация** | МАГАТЭ, ВМО и ИМО являются частью Плана совместного управления радиационными аварийными ситуациями (ПСУРАС). МАГАТЭ и ВМО имеют специальную форму для запроса информации от РСМЦ по реагированию на чрезвычайные экологические ситуации ядерного характера. |
| **Любые международные координационные границы** | Нет данных. Передано в ведение прибрежных государств |
| **Ответственность за реагирование** | МАГАТЭ или назначенный национальный орган |
| **Требования к оперативному реагированию** | Безопасность и эффективность работы бригад реагирования, прогнозируемое движение частиц |
| **Как сообщается о происшествии** | В соответствии с Конвенцией об оперативном оповещении о ядерной аварии МАГАТЭ информирует Секретариат ВМО и ЦСДП Оффенбах (Германия) (ЦСДП) о статусе чрезвычайной ситуации |
| **Как координируются меры реагирования** | МАГАТЭ или назначенный национальный орган несет ответственность за организацию сбора информации для поддержки оценок дрейфа |

### **Раздел 3. Деятельность и функции ВМО в поддержку реагирования на чрезвычайные ситуации на море**

ВМО является «специализированным учреждением» ООН, обладающим авторитетом в вопросах климата, погоды, водных ресурсов и окружающей среды, особенно связанных с устойчивым развитием и безопасностью людей и имущества.

В данном разделе описывается то, как в настоящее время устроена ВМО и ее сеть поддержки деятельности по реагированию на чрезвычайные ситуации (ДРЧС) и как она взаимодействует с существующими мероприятиями по реагированию. Полный обзор деятельности ВМО по реагированию на чрезвычайные ситуации на море (включая РЧЭСМ и ПСО) с момента ее создания см. на сайте <https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER>.

### **Раздел 3.1 Реагирование на чрезвычайные ситуации загрязнения на море**

Спецификации ВМО для МПЕРСС были утверждены Комиссией ВМО по морской метеорологии на ее одиннадцатой сессии (Лиссабон, апрель 1993 г.) и одобрены Комиссией на ее двенадцатой сессии (Гавана, март 1997 г.). См. <https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#MPERSS>.

Система поддержки операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды (МПЕРСС)

МПЕРСС для открытого моря была создана с основной целью создания скоординированной глобальной системы предоставления метеорологической и океанографической информации для проведения операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды за пределами вод, находящихся под национальной юрисдикцией. Мировой океан был разделен на районы аварийного загрязнения морской среды (МПИ), которые аналогичны МЕТЗОНАМ для ГМССБ ИМО <http://weather.gmdss.org/>), и для всех них были определены координаторы метеорологической и океанографической области (АМОК) для предоставления продукции и обслуживания, связанных с загрязнением моря.

**АМОК** — это национальная служба, которая приняла на себя обязанности по координации предоставления региональной метеорологической информации и, в необходимых случаях, океанографической информации, которая выпускается в поддержку операций по реагированию на аварийное загрязнение морской среды в выделенной зоне, за которую служба (или службы) приняла на себя ответственность. АМОК также готов предоставить соответствующую поддержку и консультации для вод, находящихся под национальной юрисдикцией внутри его зоны ответственности, если об этом будет получена просьба от соответствующей страны.

**Поддержка, оказываемая АМОК, должна включать[[4]](#footnote-5):**

a) основные метеорологические прогнозы и предупреждения, специально предназначенные для соответствующей(их) зоны(зон).

**Поддержка, оказываемая АМОК, может также включать:**

b) основные океанографические прогнозы для соответствующей(их) зоны(зон);

c) наблюдение, анализ и прогнозирование значений конкретных метеорологических и океанографических переменных, необходимых в качестве входной информации для моделей, описывающих движение, рассеяние, разложение и растворение веществ, загрязняющих морскую среду;

d) в некоторых случаях, эксплуатацию этих моделей; и

e) в некоторых случаях, доступ к национальным и международным средствам телесвязи;

f) другие виды оперативной поддержки.

Выпускаемая информация может быть подготовлена либо только АМОК, либо другой вспомогательной службой, либо сочетанием обоих, на основе соглашения между соответствующими службами. Сведения о местоположении и контактах (телефон, эл. почта, телекс, телефакс и т. д.) любого органа (или органов) по реагированию на аварийное загрязнение морской среды, ответственного(ых) в пределах назначенной зоны МПИ, должны содержаться на вебсайте МПЕРСС (который в настоящее время пересматривается).

Роль Комиссии ВМО по обслуживанию (СЕРКОМ)

СЕРКОМ ВМО — это межправительственный орган, состоящий из экспертов ВМО, которым предоставлена возможность работать в сфере обслуживания и прикладной деятельности, поддерживая Членов и удовлетворяя их потребности. Он состоит из нескольких постоянных комитетов, один из которых — ПК по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО) — занимается поддержкой и поощрении Членов в области РЧЭСМ и ПСО. Экспертной группе по прибрежной зоне и реагированию на чрезвычайные ситуации поручено разработать технические рекомендации и руководящие материалы по информационным службам РЧЭСМ, системам обработки данных и прогнозирования, а также контролировать деятельность специализированных центров по РЧЭСМ в рамках ГСОДП, устанавливать стандарты и поддерживать качество продукции в сотрудничестве с группой Комиссии по инфраструктуре (ИНФКОМ), возглавляющей ГСОДП. Поддерживается тесная связь с соответствующими партнерами, такими как ИМО и МАГАТЭ, для обеспечения скоординированной поддержки всех основных участников процесса обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям и реагирования на них.

3.1.1 Реагирование ВМО на чрезвычайные экологические ситуации ядерного и неядерного характера

Деятельность ВМО по реагированию на чрезвычайные экологические ситуации ядерного и неядерного характера включает, в общих чертах, широкую область применения специализированных методов моделирования атмосферной дисперсии для отслеживания и прогнозирования распространения переносимых по воздуху опасных веществ в случае чрезвычайной экологической ситуации. Такого рода специализированные применения напрямую зависят от операционной инфраструктуры систем ЧПП, которые внедрены и поддерживаются во многих глобальных, региональных и национальных метеорологических центрах, входящих в состав ГСОДП ВМО.

Эта структура центров ГСОДП была создана для оказания помощи НМГС, их соответствующим национальным учреждениям, а также соответствующим международным организациям (в первую очередь, МАГАТЭ) для эффективного реагирования на чрезвычайные экологические ситуации с крупномасштабной дисперсией опасных веществ в воздухе. После аварии на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. деятельность ВМО сосредоточилась на оперативных механизмах и поддержке при ядерных авариях; а в последнее время ВМО расширила свою деятельность, включив в нее также метеорологическую поддержку при реагировании на чрезвычайные ситуации, связанные с дисперсией дыма от крупных пожаров, пепла и других выбросов при извержениях вулканов, а также химических выбросов в результате промышленных аварий.

Деятельность по реагированию на чрезвычайные ситуации ядерного характера

ВМО имеет действующие международные договоренности с МАГАТЭ, чтобы при необходимости оказывать специализированную метеорологическую поддержку при реагировании на чрезвычайные ситуации, связанные с ядерными авариями и радиологическими аварийными ситуациями. ВМО играет важную роль в этой связи благодаря своим уникальным возможностям ЧПП для моделирования и прогнозирования движения и дисперсии радиоактивных материалов в атмосфере.

ВМО внедряет и поддерживает систему из десяти специализированных центров цифрового моделирования, называемых РСМЦ, которые в любой момент готовы предоставить высокоспециализированные компьютерные модели атмосферы, позволяющие прогнозировать перемещение радиоактивности в атмосфере на большие расстояния. Эти специализированные центры, представляющие полный глобальный охват 24 часа в сутки, каждый день, расположены в Национальных метеорологических центрах в Эксетере (Соединенное Королевство), Тулузе (Франция), Мельбурне (Австралия), Монреале (Канада), Вашингтоне (США), Пекине (Китай), Обнинске (Российская Федерация), Оффенбахе (Германия), Вене (Австрия) и Токио (Япония). Система также включает в себя телекоммуникационный межсетевой интерфейс в Оффенбахе (Германия) для уведомления и передачи информации в режиме реального времени между Центром МАГАТЭ по реагированию на аварии и чрезвычайные ситуации (МАГАТЭ-ЦРАЧС) и ВМО. По запросу эти центры в течение трех часов предоставляют специализированную продукцию национальным метеорологическим центрам и МАГАТЭ.

Хорошее планирование до возникновения чрезвычайной ситуации может существенно повысить эффективность реагирования. С этой целью был разработан План совместного управления радиационными аварийными ситуациями. Его поддержанием занимается МАГАТЭ, и он включает международные организации, являющиеся сторонами Международной конвенции об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенции о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, а также некоторые международные организации, участвующие в деятельности Межучережденческого комитета по реагированию на ядерные аварии.

ВМО является стороной этих конвенций и участвует в регулярном пересмотре и поддержании Совместного плана, включая программу учений, проводимых в рамках Конвенции.

Реагирование ВМО на чрезвычайные экологические ситуации неядерного характера

ВМО расширила сферу и возможности своей деятельности по реагированию на чрезвычайные ситуации, включив в нее чрезвычайные экологические ситуации неядерного характера — вопросы химических инцидентов и чрезвычайных ситуаций находятся в стадии изучения и проработки.

Многие НМГС несут национальную ответственность за оказание метеорологической поддержки при реагировании на химическую аварию. Виды обслуживания варьируются от наблюдений за погодой, прогнозов и предупреждений, предоставляемых для проведения полевых операций, до предоставления специализированной продукции и экспертных консультаций по дисперсии загрязняющих веществ в атмосфере. Некоторые правительства инвестируют средства и сотрудничают в области науки и техники, анализируют оперативные мероприятия по повышению их соответствующего уровня мер безопасности, включая такие области, как экологический мониторинг в сложных средах и численное моделирование и имитации для обнаружения, оценки и прогнозирования переноса вредных веществ в атмосфере. Все эти аспекты вносят вклад в управление рисками в контексте предупреждения бедствий и смягчения их последствий.

Роль Комиссии ВМО по инфраструктуре (ИНФКОМ)

ИНФКОМ ВМО — это межправительственный орган, состоящий из экспертов ВМО, которым предоставлена возможность работать в области инфраструктуры (включая наблюдения, приборное оснащение и данные), оказывая Членам поддержку и удовлетворяя их потребности. Он состоит из нескольких постоянных комитетов, один из которых — ПК по моделированию и прогнозированию системы Земля (ПК-МПСЗ) — занимается вопросами, связанными с ГСОДП. Их [Экспертная группа по деятельности по реагированию на чрезвычайные ситуации (ЭГ-ДРЧС)](https://community.wmo.int/governance/commission-membership/commission-observation-infrastructure-and-information-systems-infcom/commission-infrastructure-officers/infcom-management-group/standing-committee-data-processing-applied-earth-system-modelling-and-prediction-sc-esmp-0) отвечает за обеспечение того, чтобы процедуры для ДРЧС, как ядерного, так и неядерного характера, были надлежащими и отвечали потребностям Членов и международных организаций (т. е. МАГАТЭ и Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ)), а также за возможное обновление при необходимости Наставления по ГСОДП (ВМО-№ 485). Они предлагают поддержку образованию и обучению пользователей по использованию и интерпретации продукции ДРЧС, и ее слабых и сильных сторонах. Кроме того, НМГС предоставляется помощь в разработке их возможностей в ДРЧС для поддержки национальных агентств в обеспечении их готовности, планировании, реагировании и ликвидации последствий. Их упор на тестирование новой продукции, особенно методов переноса в атмосфере и моделирования дисперсии, способствует совершенствованию. Кроме того, ведется работа по улучшению коллективной способностивсех РСМЦ, МАГАТЭ, ОДВЗЯИ, РУТ Оффенбах и НМГС в экологических ДРЧС по выполнению их оперативных потребностей, в соответствии с принятыми стандартами и процедурами, указанными в Наставлении по ГСОДП.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данном докладе рассмотрен современный уровень реагирования на чрезвычайные ситуации на море (РЧСМ), при этом признается, что как для РЧЭСМ, так и для дрейфующих объектов (особенно в том, что касается ПСО) используются схожие методы. В нем были обозначены многомерные потребности в данных форсирования океана и атмосферы для поддержки метокеанического моделирования. В докладе также описывается роль НМГС и других учреждений — национальных, региональных и международных, включая ВМО — которые все заинтересованы в сложном, но очень важном процессе реагирования на чрезвычайные ситуации на море или вдоль побережья.

В обзоре показаны сложные условия, в которых осуществляется взаимодействие с законодательством, международными и национальными обязательствами, а также различные роли и ответственность в цепочке реагирования. НМГС играют важную роль в этом, и ВМО может усилить свою роль и роль НМГС в этом процессе, предлагая рекомендации по передовой практике для оказания помощи Членам, участвующим в реагировании на чрезвычайные ситуации на море. В настоящее время для Членов не существует никаких руководящих материалов, и поэтому данный доклад демонстрирует, в каких областях СЕРКОМ ВМО может принести пользу путем разработки соответствующих руководящих материалов.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# Дополнения: 3

## **Дополнение 1**

## **Рекомендации по итогам заседания ЦРАЧС 2013 г.**

(«Моделирование морской и водной среды во время аварий на ядерных энергетических реакторах 29 июля — 31 июля и совещание целевой группы СКОММ 1 августа 2013 г.»)

 ЦРАЧС должен разработать концепцию деятельности по использованию морского моделирования во время покрытия события радиологического или ядерного характера:

o предполагаемое использование морского моделирования во время чрезвычайной ситуации;

o диапазон возможностей, требуемых от морских моделей в течение первых 24 часов, недели и месяца (поскольку возможности могут увеличиваться с течением времени во время события);

o как модели будут представлены общественности и техническим специалистам;

o как будет осуществляться управление использованием морских моделей и морских измерений во время события.

• Выходные данные морских моделей должны быть представлены в упрощенном формате, который легко понять технической группе ЦРАЧС.

o Технической группе ЦРАЧС потребуется специальное обучение по интерпретации таких моделей, чтобы правильно передать соответствующие неопределенности (этот пункт не отличается от текущего обучения по моделям шлейфов).

 Модели могут быть повторно задействованы во время события с новой информацией через определенные промежутки времени (например, дважды в день или ежедневно).

o Было отмечено, что движение морских моделей обычно медленнее, чем моделей шлейфа, и поэтому слишком частый запрос данных может не дать полезной информации (т. е. <4ч).

 Для ЦРАЧС возможно использовать морские модели, чтобы обеспечить общую осведомленность о том, куда может попасть материал во время события (аналогично тому, как метеорологические модели в настоящее время используются в ЦРАЧС).

 Механизм, используемый в настоящее время ЦРАЧС для получения метеорологической поддержки от РСМЦ от ВМО, было бы полезно использовать в качестве основы для создания аналогичных механизмов морского моделирования.

o Дополнительный уровень поддержки, возможный благодаря круглосуточному контакту с этими центрами, был бы очень полезен для ЦРАЧС при наличии любых возможностей морского моделирования для оказания помощи в интерпретации таких моделей.

o Дополнительная поддержка в виде круглосуточного контакта будет полезна, если ЦРАЧС потребуется какое-либо специализированное моделирование во время события.

o Нынешний подход ЦРАЧС к моделированию шлейфа (с использованием иллюстративного исходного условия в 1 Бк/ч) может быть успешно применен к морскому моделированию для целей ситуационной осведомленности.

o Обсуждение с внешними организациями, которые могут предоставлять такую поддержку (например, СКОММ), может быть использовано для определения масштабов любого такого будущего обслуживания.

 Модели, в которых учитывается как точка (непосредственно в море), так и осаждение (т. е. из шлейфа), должны быть доступны во время события, поскольку профиль дисперсии может быть очень чувствителен к расстоянию до побережья.

 Морские модели очень чувствительны к разрешению данных; рекомендуется использовать возможности моделирования с высоким разрешением, если они доступны.

o Разрешение, необходимое для того, чтобы модель была полезной, определяется сценарием, например, что требуется при моделировании вблизи береговой линии.

o Когда важны приливные эффекты, частота ввода/вывода данных в модели может достигать одного часа.

 ЦРАЧС следует рассмотреть возможность использования картирования рисков (например, составление карты вероятности будущего распределения на основе исторических данных) в качестве продукции, предоставляемой во время события.

 Реализация возможностей морского моделирования в ЦРАЧС должна предусматривать порядок архивирования результатов и их последующего предоставления другим внутренним ведомствам Учреждения для долгосрочного анализа.

 Полные возможности таких моделей необходимо будет оценить после их внедрения и предоставления в распоряжение ЦРАЧС.

o ЦРАЧС необходимо будет определить, как наиболее эффективно включить в существующий процесс принятия решений использование любых возможностей морского моделирования.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## **Дополнение 2**

## **Международные, глобальные и региональные рамочные механизмы и программы, имеющие отношение к РЧЭСМ и ПСО**

В данном дополнении описывается контекст разнообразных рамочных механизмов и программ, которые могут повлиять на поддержку ВМО в реагировании Членов на чрезвычайные экологические ситуации на море и ПСО.

### **Конвенции и связанные с ними мероприятия, имеющие отношение к РЧЭСМ и ПСО**

1.1.1 Международная морская организация (ИМО)

ИМО — специализированное учреждение ООН, деятельность которого направлена на обеспечение физической и технической безопасности международного судоходства и предотвращение загрязнения с судов. Оно отвечает за две международные конвенции, имеющие непосредственное отношение к РЧЭСМ и ПСО. По обоим направлениям ВМО вносит свой вклад в работу и заседания ИМО, а также является совместным спонсором ряда обязательных документов, особенно касающихся безопасности на море.

Международная конвенция по предотвращения загрязнения с судов (МАРПОЛ)

*Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов* (МАРПОЛ) является основной международной конвенцией, охватывающей предотвращение загрязнения морской среды судами вследствие эксплуатационных причин или аварии.

*Конвенция МАРПОЛ* была принята 2 ноября 1973 г. в ИМО. Протокол 1978 г. был принят в ответ на серию аварий танкеров в 1976—1977 гг. Поскольку к тому времени Конвенция МАРПОЛ 1973 г. еще не вступила в силу, Протокол к МАРПОЛ 1978 г. вобрал в себя основную Конвенцию. Объединенный документ вступил в силу 2 октября 1983 г. В 1997 г. был принят Протокол о внесении поправок в Конвенцию и добавлено новое Приложение VI, которое вступило в силу 19 мая 2005 г. На протяжении многих лет в МАРПОЛ вносились поправки.

Конвенция включает правила, направленные на предотвращение и минимизацию загрязнения с судов — как аварийного загрязнения, так и загрязнения в результате повседневной эксплуатации — и в настоящее время включает шесть технических приложений. Особые районы со строгим контролем за эксплуатационными выбросами включены в большинство приложений:

|  |  |
| --- | --- |
| **Приложение** | **Правила:** |
| I | предотвращения загрязнения нефтью |
| II | предотвращения загрязнения вредными жидкими веществами, перевозимыми наливом |
| III | предотвращения загрязнения вредными веществами, перевозимыми морем в упаковке |
| IV | предотвращения загрязнения сточными водами с судов |
| V | предотвращения загрязнения мусором с судов |
| VI | предотвращения загрязнения воздушной среды с судов |

Комитет ИМО по защите морской среды (КЗМС), в состав которого входят все государства — члены ИМО, уполномочен рассматривать любой вопрос в рамках сферы деятельности ИМО, связанный с предотвращением и контролем загрязнения с судов, подпадающих под действие МАРПОЛ. Сюда также входят нефть, химикаты, перевозимые навалом, сточные воды, мусор и выбросы с судна (такие как загрязнители воздуха и выбросы парниковых газов). Кроме того, рассматриваются вопросы управления балластными водами, противообрастающие системы, утилизация судов, обеспечение готовности на случай загрязнения и реагирование на него, а также определение особых районов и уязвимых морских районов. В частности, он занимается вопросами принятия конвенций и других нормативных актов и внесения в них поправок, а также мерами по обеспечению их исполнения.

КЗМС был впервые создан в качестве вспомогательного органа Ассамблеи ИМО и получил полный конституционный статус в 1985 г. Несколько подкомитетов содействуют работе КЗМС, из которых Подкомитет по предотвращению загрязнения и реагированию (PPR) имеет самое непосредственное отношение к повестке дня в области РЧЭСМ.

Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС)

Международная конвенция СОЛАС включает все государства — члены ИМО, а также те страны, которые являются сторонами таких конвенций, как СОЛАС, даже если они не являются государствами — членами ИМО.

Комитет по безопасности на море (КБМ) — это высший технический орган ИМО, который, как и КЗМС, состоит из представителей всех государств — членов ИМО. В функции КБМ входит «рассмотрение любого вопроса в рамках Организации, касающегося средств навигационного ограждения, постройки и снаряжения судов, комплектование экипажа судна с точки зрения безопасности, правил предупреждения столкновений, обработки опасных грузов, процедур и требований безопасности на море, гидрографической информации, бортовых журналов и навигационных записей, расследования морских аварий, аварийно-спасательных работ и любых других вопросов, непосредственно влияющих на безопасность на море».

КБМ также должен предоставлять механизмы для выполнения любых обязанностей, возложенных на него в соответствии с Конвенцией ИМО, или любой обязанности в рамках его сферы деятельности, которые могут быть возложены на него любым международным документом или в соответствии с ним и приняты ИМО. Он также несет ответственность за рассмотрение и представление рекомендаций и руководящих принципов по безопасности для принятия Ассамблеей. Расширенный состав КБМ принимает поправки к конвенциям, таким как СОЛАС. КБМ имеет несколько подкомитетов для поддержки своего мандата, одним из которых является Подкомитет по мореплаванию, связи и поиску и спасанию (NCSR), в котором ВМО участвует в качестве наблюдателя. Это орган, который, помимо многих вопросов, занимается вопросами Всемирной службы ИМО/ВМО метеорологической и океанографической информации и предупреждений (ВСМОИП) и информацией для обеспечения безопасности на море (ИОБМ), предоставляемой МЕТЗОНАМИ ВМО. Хотя вопросы ПСО напрямую не рассматриваются при обсуждении ИОБМ, его сфера деятельности все же учитывается при реагировании на запросы о проведении ПСО, когда информация о погоде имеет решающее значение для процесса. О роли ВМО в ВСМОИП и ПСО см. (ссылка на веб-сайт ВМО).

1.1.2 Средиземноморский региональный центр по ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением моря (РЕМПЕК)

Цель РЕМПЕК ([www.rempec.org](http://www.rempec.org)) — способствовать предотвращению и сокращению загрязнения с судов и борьбе с загрязнением в случае чрезвычайных ситуаций. В этом отношении миссия РЕМПЕК заключается в оказании помощи Договаривающимся сторонам в выполнении их обязательств в соответствии со статьями 4(1), 6 и 9 Барселонской конвенции; Чрезвычайным протоколом 1976 г.; Протоколом по предотвращению и чрезвычайным ситуациям 2002 г. и реализации Региональной стратегии по предотвращению загрязнения моря с судов и реагированию на него, принятой Договаривающимися сторонами в 2005 г., основные цели и задачи которой отражены в Средиземноморской стратегии устойчивого развития (ССУД). Центр также будет помогать Договаривающимся сторонам по их просьбе в мобилизации региональной и международной помощи в случае чрезвычайной ситуации в соответствии с Протоколом о шельфе, если этот документ вступит в силу.

Основные направления деятельности РЕМПЕК по предотвращению загрязнения морской среды с судов и разработки планов обеспечения готовности к загрязнению морской среды в результате аварий и реагированию на него, а также сотрудничеству в случае чрезвычайных ситуаций включают в себя:

 укрепление потенциала прибрежных государств региона с целью предотвратить загрязнение морской среды с судов и обеспечить эффективное осуществление в регионе правил, общепризнанных на международном уровне и касающихся предотвращения загрязнения с судов, а также в целях сокращения загрязнения морской среды в результате судоходной деятельности, включая прогулочные суда, борьбы с ним и, в максимально возможной степени, его ликвидации;

 развитие регионального сотрудничества в области предотвращения загрязнения морской среды с судов и содействие сотрудничеству между средиземноморскими прибрежными государствами в целях реагирования на случаи загрязнения, которые приводят или могут привести к выбросу нефти или других опасных и вредных веществ и которые требуют принятия чрезвычайных мер или другого немедленного реагирования;

 оказание помощи прибрежным государствам Средиземноморского региона по их просьбе в развитии их собственного национального потенциала реагирования на случаи загрязнения, которые приводят или могут привести к выбросу нефти или других опасных и вредных веществ, и содействие обмену информацией, технологическому сотрудничеству и обучению;

 обеспечение рамок для обмена информацией по оперативным, техническим, научным, правовым и финансовым вопросам и содействие диалогу, направленному на проведение скоординированных действий на национальном, региональном и глобальном уровнях для реализации Протокола по предотвращению и чрезвычайным ситуациям; и

 оказание помощи прибрежным государствам региона по их просьбе в чрезвычайных ситуациях либо непосредственно, либо путем получения помощи от других Сторон, или, когда возможности для оказания помощи не существуют в пределах региона, в получении международной помощи за пределами региона.

1.1.3 Европейское агентство по безопасности на море (ЕАБМ)

Европейское агентство по безопасности на море является одним из децентрализованных учреждений ЕС. Агентство находится в Лиссабоне и оказывает техническую помощь и поддержку Европейской комиссии и государствам-членам в разработке и осуществлении законодательства ЕС по безопасности на море, загрязнению с судов и защищенности на море. На него также возложены оперативные задачи по реагированию на загрязнение нефтью, мониторингу судов, а также по опознаванию и отслеживанию судов на большом расстоянии.

Основным политическим стимулом к созданию ЕАБМ в 2003 г. послужило выпадение радиоактивных осадков при авариях на танкерах «Эрика» (1999 г.) и «Престиж» (2002 г.) и вызванных ими разливов нефти. Эти инциденты привели к огромному экологическому и экономическому ущербу для береговой линии Испании и Франции. Они также послужили напоминанием для лиц, принимающих решения, о том, что Европе необходимо инвестировать в более эффективную подготовку к крупномасштабному разливу нефти, т. е. сверх ресурсов, имеющихся на уровне отдельных государств-членов.

Для достижения своих целей ЕАБМ выполняет ряд задач в определенных ключевых областях, в основном превентивных, но также и реактивных.

Во-первых, Агентству поручено оказывать помощь Комиссии в мониторинге **выполнения законодательства ЕС**, касающегося, в частности, постройки и планового технического обслуживания судов, инспекции судов и приема судовых отходов в портах ЕС, сертификации морского оборудования, охраны судов, подготовки моряков в странах, не входящих в ЕС, и контроля со стороны государства порта.

Во-вторых, Агентство занимается управлением, поддержанием и развитием **морского информационного потенциала** на уровне ЕС. Значимыми примерами являются система слежения за судами SafeSeaNet, позволяющая отслеживать суда и их грузы в масштабах всего ЕС; и Совместный центр данных ЕС ЛРИТ, обеспечивающий идентификацию и слежение за судами под флагом ЕС по всему миру.

Наряду с этим был создан потенциал в области **обеспечения готовности к загрязнению моря, обнаружению и реагированию**, включая европейскую сеть резервных судов для реагирования на разливы нефти, а также европейскую спутниковую службу мониторинга разливов нефти и обнаружения судов (CleanSeaNet), в целях содействия созданию эффективной системы защиты побережья и вод ЕС от загрязнения с судов.

Наконец, Агентство предоставляет **технические и научные консультации** Комиссии в области безопасности на море и предотвращения загрязнения с судов в непрерывном процессе оценки эффективности действующих мер, а также в процессе обновления и разработки нового законодательства. Оно также оказывает поддержку государствам-членам и содействует сотрудничеству между ними, а также распространяет передовые методы. Как орган Европейского Союза, Агентство занимает центральное место в сети ЕС по безопасности на море и сотрудничает со многими заинтересованными сторонами отрасли и государственными органами в тесном сотрудничестве с Комиссией и государствами-членами.

### **Международные и/или региональные программы, имеющие отношение к РЧЭСМ и ПСО**

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и деятельность ВМО по реагированию на чрезвычайные ситуации

МАГАТЭ — это межправительственное учреждение, деятельность которого направлена на научно-техническое сотрудничество в ядерной области. Сюда входит работа по обеспечению безопасного, надежного и мирного использования ядерных научных технологий. Учитывая высокий риск ядерной опасности, оно играет определенную роль в реагировании на чрезвычайные экологические ситуации, особенно посредством мер по обеспечению безопасности и мониторинга опасных веществ. Это напрямую связано с ДРЧС ВМО, которая предполагает применение специализированных методов моделирования атмосферной дисперсии для отслеживания и прогнозирования распространения переносимых по воздуху опасных веществ в случае чрезвычайной экологической ситуации, как указано в разделе 1.2.

МАГАТЭ осуществляет научно-исследовательскую деятельность, связанную с загрязнением моря, в своей Лаборатории исследований морской среды. Работа Лаборатории сосредоточена на разработке и валидации аналитических методов для измерения содержания загрязняющих агентов в морских образцах. Это потенциально важный элемент любой будущей системы аварийного реагирования на радиоактивность в океане.

Глобальная система наблюдений за океаном (ГСНО)

ГСНО — это платформа для сотрудничества, состоящая из шести ключевых компонентов, которые помогают определить требования к наблюдениям за океаном, координировать сети наблюдений и обеспечивать поток данных и прогнозов. При совместном спонсорстве МОК, ВМО, ЮНЕП и Международного совета по науке (МСН) она поддерживает сообщество, охватывающее всех участников системы наблюдений: международные, региональные и национальные программы наблюдений, правительства, учреждения ООН, исследовательские организации и отдельных ученых. Благодаря совместной работе над инструментами и технологиями наблюдения за океаном, свободным потоком данных, информационными системами, прогнозами и научным анализом, это глобальное сообщество может получить максимальную отдачу от всех этих инвестиций.

Группы экспертов обобщают требования и предоставляют рекомендации по разработке системы наблюдения в целях укрепления и расширения процесса осуществления, способствуя распространению передового опыта. Группа по системам прогнозирования также сосредоточена на укреплении потенциала и повышения качества океанических прогнозов, что имеет непосредственное отношение к обслуживанию в области моделирования и производства, связанному с океаническим дрейфом и плавающими объектами, и, следовательно, к РЧЭСМ и ПСО. Помимо того, что ВМО является одним из спонсоров ГСНО, сообщество ГСНО также сотрудничает в рамках совместной деятельности с ИНФКОМ и СЕРКОМ ВМО соответственно), в том числе для развития возможностей прогнозирования океана для метеорологических служб. Совместный совет по сотрудничеству между ВМО и МОК (ССС) предоставляет стратегические консультации как МОК, так и ВМО для содействия совместной координации этой деятельности.

Другие программы, имеющие отношение к реагированию на чрезвычайные ситуации на море

Существует ряд региональных объединений, созданных для предотвращения чрезвычайных ситуаций на море, особенно экологических, реагирования на них и управления ими. Как правило, они имеют географическую привязку: от Карибского бассейна до Азии и Дальнего Востока. В целом, они работают в тесном контакте с Отделом ИМО по охране окружающей среды. Наиболее эффективное использование ресурсов для взаимодействия с ними и обеспечения более слаженного механизма реагирования может заключаться в работе непосредственно с ИМО.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## **Дополнение 3**

## **Ссылки**

Allen, A. A. (2005). Leeway divergence. COAST GUARD RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER, GROTON CT.

Allen, A., Plourde, J. V., 1999. Review of Leeway: Field Experiments and Implementation. Tech. Rep. CG-D-08-99, US Coast Guard Research and Development Center, 1082 Shennecossett Road, Groton, CT, USA, available throughhttp://www.ntis.gov.

Ambjorn, C. (2007). SeatrackWeb, forecasts of oil spills, a new version, *Environ. Res. Eng. Manage.*, 3, 60–66.

Azevedo, A., Oliveira, A., Fortunato, A.B. and Bertin, X., (2009). Application of an Eulerian-Lagrangian oil spill modeling system to the Prestige accident: trajectory analysis. Journal of Coastal Research, pp.777-781.

62, 725–740, doi:10.1007/s10236–012–0521–0.

Blanke, B., & Raynaud, S. (1997). Kinematics of the Pacific equatorial undercurrent: An Eulerian and Lagrangian approach from GCM results. Journal of Physical Oceanography, 27(6), 1038-1053.

Breivik, Ø., A Allen, C Maisondieu, M Olagnon, 2013. Advances in Search and Rescue at Sea, Ocean Dynam, 63(1), 83-88, doi:10.1007/s10236, arXiv:1211.0805.

Breivik, Ø., Allen, A., Maisondieu, C., Roth, J.-C., Forest, B. (2012a). The Leeway of Shipping Containers at Different Immersion Levels. Ocean Dynam 62, 741–752, doi:10.1007/s10236–012–0522–z, arXiv:1201.0603.

Breivik, Ø., Allen, A. A. (2008). An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea. J Marine Syst 69 (1–2), 99–113, doi:10.1016/j.jmarsys.2007.02.010, arXiv:1111.1102.

Breivik, Ø., Allen, A. A., Maisondieu, C., Roth, J. C. (2011). Wind-induced drift of objects at sea: The leeway field method. Appl Ocean Res 33, 10 pp, doi:10.1016/j.apor.2011.01.005, arXiv:1111.0750.

Breivik, Ø., Bekkvik, T. C., Ommundsen, A., Wettre, C. (2012b). BAKTRAK: Backtracking drifting objects using an iterative algorithm with a forward trajectory model. Ocean Dynam 62, 239–252, doi:10.1007/s10236–011–0496–2, arXiv:1111.0756.

Carrier, M. J., Ngodock, H. E., Smith, S. R., Souopgui, I., & Bartels, B. (2016). Examining the Potential Impact of SWOT Observations in an Ocean Analysis–Forecasting System, Monthly Weather Review, 144(10), 3767-3782. Retrieved Jul 4, 2022, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/144/10/mwr-d-15-0361.1.xml

Choi, Y., S. Kida, and K. Takahashi, 2013, The impact of oceanic circulation and phase transfer on the dispersion of radionuclides released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Biogeosciences, 10, 4911–4925, 2013, doi:10.5194/bg-10-4911-2013

Christensen, K. H., Breivik, Ø., Dagestad, K. F., Röhrs, J., & Ward, B. (2018). Short-term predictions of oceanic drift. Oceanography, 31(3), 59-67.

Coppini, G., Jansen, E., Turrisi, G., Creti, S., Shchekinova, E.Y., Pinardi, N., Lecci, R., Carluccio, I., Kumkar, Y.V., D'Anca, A. and Mannarini, G. (2016). A new search-and-rescue service in the Mediterranean Sea: a demonstration of the operational capability and an evaluation of its performance using real case scenarios. Natural Hazards and Earth System Sciences, 16(12), pp.2713-2727.

Dagestad, K-F, J Röhrs, Ø Breivik, and B Ådlandsvik (2018). OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modeling, *Geosci Model Dev*, **11**(4), pp 1405-1420, doi:10.5194/gmd-11-1405-2018

Daling, P. S., Moldestad, M. Ø., Johansen, Ø., Lewis, A., and Rødal, J. (2003). Nor-

wegian testing of emulsion properties at sea – the importance of oil type and release

conditions. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(2):123–136.

Daniel, P., and R. Virasami (2021): Oil spill management and salvage in the Indian Ocean. In Bulletin Vol. 70 (1), World Meteorological Organisation, Geneva.

Davidson, W. F., K. Lee and A. Cogswell (Eds.) (2008). Oil Spill Response: A Global Perspective. *Proceedings of the NATO CCMS Workshop on Oil Spill Response, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 11-13 October 2006*. Springer Science and Business, Dordecht, 365 pp.

Davidson, F. J. M., Allen, A., Brassington, G. B., Breivik, Ø., Daniel, P., Kamachi, M., Sato, S., King, B., Lefevre, F., Sutton, M., Kaneko, H., 2009. Applications of GODAE ocean current forecasts to search and rescue and ship routing. Oceanography 22 (3), 176–181, doi:10.5670/oceanog.2009.76

Duffa, C., Bailly du Bois, P., Caillaud, M., Charmasson, S., Couvez, C., Didier, D., Dumas, F., Fievet, B., Morillon, M., Renaud, P., Thebault, H., 2016. Development of emergency response tools for accidental radiological contamination of French coastal areas. J. Environ. Radioact. 151, 487–494.

Döös, K., Kjellsson, J., & Jönsson, B. (2013). TRACMASS—A Lagrangian trajectory model. In Preventive methods for coastal protection (pp. 225-249). Springer, Heidelberg.

Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. Journal of Atmospheric and Oceanic technology, 19(2), 183-204.

Estournel, C., Bosc, E., Bocquet, M., Ulses, C., Marsaleix, P., Winiarek, V., Osvath, I., Nguyen, C., Duhaut, T., Lyard, F., Michaud, E., Auclair, F., 2012. Assessment of the amount of Cesium-137 released into the Pacific Ocean after the Fukushima accident and analysis of its dispersion in Japanese coastal waters. J. Geophys. Res. Oceans. 117 (C11014).

Fay, J. A. (1971) Physical processes in the spread of oil on a water surface, in Proceedings of the International Oil Spill Conference, vol. 1971. Washington, DC: American Petroleum Institute, pp. 463–467. doi: 10.7901/2169-3358-1971-1-463

Fingas M. (Ed.) (2015) Oil and petroleum evaporation, Ch. 7. in Handbook of oil spill science and technology, 207. John Wiley and Sons Inc.

Fingas, M. (Ed.) (2017). Oil spill science and technology, 2nd edition. Gulf professional publishing.

Garraffo, Z.,Kim, H., Mehra, A., Spindler, T.,Rivin, I., Tolman, H.L., 2016. Modeling of 137Cs as a tracer in a regional model for the Western Pacific, after the Fukushima–Daiichi nuclear power plant accident of March 2011. Wea. Forecasting. 31, 553–579.

Griffa, A. (1996). Applications of stochastic particle models to oceanographic problems. In Stochastic modelling in physical oceanography (pp. 113-140). Birkhäuser Boston.

Hackett, B., Breivik, Ø., Wettre, C., 2006. Forecasting the drift of objects and substances in the oceans. In: Chassignet, E. P., Verron, J. (Eds.), Ocean Weather Forecasting: An Integrated View of Oceanography. Springer, pp. 507–524.

Hackett, B., E. Comerma, P. Daniel and H. Ichikawa, 2009: Marine oil pollution prediction.

Oceanography, 22 (3), 168-175.

Hernandez-Lasheras, J., Mourre, B., Orfila, A., Santana, A., Reyes, E., & Tintoré, J. (2021). Evaluating high-frequency radar data assimilation impact in coastal ocean operational modelling. Ocean Science, 17(4), 1157-1175.

Hodgins, D.O. and R.Y. Mak, 1995. "Leeway Dynamic Study Phase I Development and Verification of a Mathematical Drift Model for Four-person Liferafts." Prepared for Transportation Development Centre, Transport Canada Report # TP 12309E.

Hodgins, D. O., Hodgins, S. L. M., 1998. Phase II Leeway Dynamics Program: Development and Verification of a Mathematical Drift Model for Liferafts and Small Boats. Tech. Rep., Canadian Coast Guard, Nova Scotia, Canada.

Iosjpe, M., Karcher, M., Gwynn, J., Harms, I., Gerdes, R., Kauker, F., 2009. Improvement of the dose assessment tools on the basis of dispersion of the 99 Tc in the Nordic Seas and the Arctic Ocean. Radioprotection 44 (5), 531–536.

Ivorra, B., S. Gomez, J. Carrera, A. Ramos (2021). A compositional Eulerian approach for modeling oil spills in the sea. Ocean Engineering, Volume 242, 110096, ISSN 0029-8018. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110096.

Jacobs, G., D’Addezio, J. M., Ngodock, H., & Souopgui, I. (2021). Observation and model resolution implications to ocean prediction. Ocean Modelling, 159, 101760.

JMA (2002) Marine Pollution transport model. in Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency.

https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/246209/www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline-nwp/pdf/ol6\_7.pdf

JMA (2021) Oil Spill Prediction Model. in Outline of the operational numerical weather prediction at the Japan Meteorological Agency.

https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2022-nwp/pdf/outline2022\_05.pdf

Jones, R. K. (1997). A simplified pseudo-component oil evaporation model.

Jones, C, K-F Dagestad, O Breivik, B Holt, J Rohrs, K Christensen, M Espeseth, C Brekke, S Skrunes (2016). Measurement and Modeling of Oil Slick Transport, J Geophys Res: Oceans, 121(10), pp 7759-7775, doi:10.1002/2016JC012113

Kawamura, H., Kobayashi, T., Furuno, A., In, T., Ishikawa, Y., Nakayama, T., Shima, S., Awaji, T., 2011. Preliminary numerical experiments on oceanic dispersion of 131 I and 137 Cs discharged into the ocean because of the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster. J. Nucl. Sci. Technol. 48, 1349–1356.

Klemas,V. 2010. Tracking oil slicks and predicting their trajectories using remote sensors and models: Case studies of the sea Princess and Deepwater Horizon oil spills. J. Coast. Res., 26(5), 789–797.

Kratzke, T. M., Stone, L. D., Frost, J. R., 2010. Search and Rescue Optimal Planning System. In: Proceedings of the 13 International Conference on Information Fusion. IEEE, p. 8 pp.

Legrand, S., and V. Duliere, 2014: OSERIT: a downstream service dedicated to the Belgian Coast Guard Agencies. In Proceedings of the Sixth International Conference on EuroGOOS, 4-6 October 2011, Sopot, Poland, eds. H. Dahlin, N.C. Flemming and S.E. Petersson, 181-188. EuroGOOS AISBL, Brussels, Belgium.

Lepicard, S., Heling, R., Maderich, V., 2004. POSEIDON/RODOS model for radiological assessment of marine environment after accidental releases: application to coastal areas of the Baltic, Black and North seas. J. Environ. Radioact. 72 (1–2), 153–161.

Maderich, V., Brovchenko, I., Dvorzhak, A., Ievdin, Y., Koshebutsky, V., Periañez, R., 2016. Integration of 3D model THREETOX in JRODOS-HDM, implementation studies and model validation on marine Fukushima scenarios. Radioprotection (Special issue)

Min et al, 2013, Marine dispersion assessment of 137Cs released from the Fukushima nuclear accident, Marine Pollution Bulletin 72 (2013) 22–33,<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.008>

Keramea, P., Spanoudaki, K., Zodiatis, G., Gikas, G., Sylaios, G. (2021) Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges. J. Mar. Sci. Eng. 9, 181. https://doi.org/10.3390/

Nordam, T., & Duran, R. (2020). Numerical integrators for Lagrangian oceanography. Geoscientific Model Development, 13(12), 5935-5957.

Penna, N. T., Morales Maqueda, M. A., Martin, I., Guo, J., & Foden, P. R. (2018). Sea surface height measurement using a GNSS wave glider. Geophysical Research Letters, 45(11), 5609-5616.

Periáñez, R., 2003. Redissolution and long-term transport of radionuclides released from a contaminated sediment: a numerical modelling study. Estuar. Coast. Shelf Sci. 56, 5–14.

Periáñez, R., Pascual-Granged, A., 2008. Modelling surface radioactive, chemical and oil spills in the strait of Gibraltar. Comput. Geosci. 34, 163–180.

Periáñez, R., Suh, K.-S., Min, B.-I., 2012. Local scale marine modelling of Fukushima releases. Assessment of water and sediment contamination and sensitivity to water circulation description. Mar. Pollut. Bull. 64, 2333–2339.

Periáñez R., R. Bezhenar, M. Iosjpe, V. Maderich, H. Nies, I. Osvath, I. Outola, G. de With (2014). A comparison of marine radionuclide dispersion models for the Baltic Sea in the frame of IAEA MODARIA program. Journal of Environmental Radioactivity 139, 66-77.

Reed, M., Johansen, Ø., Brandvik, P. J., Daling, P. S., Lewis, A., Fiocco, R., Mackay,

D., and Prentki, R. (1999). Oil spill modeling towards the close of the 20th century:

overview of the state of the art. Spill Science & Technology Bulletin, 5(1):3–16.

Reisser, J., Slat, B., Noble, K., du Plessis, K., Epp, M., Proietti, M., de Sonneville, J., Becker, T., and Pattiaratchi, C. (2015): The vertical distribution of buoyant plastics at sea: an observational study in the North Atlantic Gyre, Biogeosciences, 12, 1249–1256, https://doi.org/10.5194/bg-12-1249-2015.

Röhrs, J., Christensen, K., Hole, L., Broström, G., Drivdal, M., Sundby, S., 2012. Observation based evaluation of surface wave effects on currents and trajectory forecasts. To appear in Ocean Dynam, 14 pp, doi:10.1007/s10236–012–0576–y.

Röhrs, J., Dagestad, K.-F., Asbjørnsen, H., Nordam, T., Skancke, J., Jones, C. E., and Brekke, C. (2018). The effect of vertical mixing on the horizontal drift of oil spills, Ocean Sci., 14, 1581–1601, https://doi.org/10.5194/os-14-1581-2018.

Röhrs, J., Sutherland, G., Jeans, G., Bedington, M., Sperrevik, A. K., Dagestad, K. F., Gusdal, Y., Mauritzen, C., Dale, A. and LaCasce, J.H (2021). Surface currents in operational oceanography: Key applications, mechanisms, and methods. *Journal of Operational Oceanography*, 1-29.

Schwab, D. J., Bennett, J. R., & Lynn, E. W. (1984). " PATHFINDER": A Trajectory Prediction System for the Great Lakes (No. 414). National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories, Great Lakes Environmental Research Laboratory.

Shibata T., T. Nakajima, Y. Igarashi, H. Tsuruta, M. Ebihara, T. Hattori, M. Hoshi, T. Ishimaru, K. Masumoto, P. Bailly du Bois, M. Bocquet, D. Boust, I. Brovchenko, I. Choe, T. Christoudias, D. Didier, H. Dietze, P. Garreau, H. Higashi, K. T. Jung, S. Kida, P. Le Sager, J Lelieveld, V. Maderich, Y. Miyazawa, S. U. Park, D. Quélo, K. Saito, T. Shimbori, Y. Uchiyama, P. van Velthoven, V. Winiarek, and S. Yoshida. A review of the model comparison of transportation and deposition of radioactive materials released to the environment as a result of the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Technical report, Sectional Committee on Nuclear Accident Committee on Comprehensive Synthetic Engineering, Science Council of Japan, September 2014.

Spaulding M.L. (1988). A state-of-art review of oil spill trajectory and fate modeling, Oils & Chemical pollution, 4, 39-55.

Sperrevik, A. K., Christensen, K. H., & Röhrs, J. (2015). Constraining energetic slope currents through assimilation of high-frequency radar observations. Ocean Science, 11(2), 237-249.

Stiver, W, and Mackay, D. (1984). Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. Environmental Science & Technology, 834.

Sutherland, G., Soontiens, N., Davidson, F., Smith, G.C., Bernier, N., Blanken, H., Schillinger, D., Marcotte, G., Röhrs, J., Dagestad, K.F. and Christensen, K.H. (2020). Evaluating the leeway coefficient of ocean drifters using operational marine environmental prediction systems. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 37(11), 1943-1954.

Tipton, M., McCormack, E., Elliott, G., Cisternelli, M., Allen, A., & Turner, A. C., (2022). Survival Time and Search Time in Water: Past, Present and Future. TB-D-21-00612, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3986715 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3986715.

Tolman H., Z. Garaffo, A. Mehra, I. Rivin and T. Spindler, 2013. Ocean Plume Modeling for the Fukushima Dai’ichi Event: Particle tracing. NOAA/NWS/NCEP technical note.

Solabarrieta, L., Hernández-Carrasco, I., Rubio, A., Campbell, M., Esnaola, G., Mader, J., Jones, B.H. and Orfila, A. (2021). A new Lagrangian-based short-term prediction methodology for high-frequency (HF) radar currents. Ocean Science, 17(3), pp.755-768.

Turner, A.C., Lewandowski, M., Parker, J., McClay, T. (2009). Recommendations for the U.S. Coast Guard Survival Prediction Tool. U.S. Coast Guard, New London CT, USA.

van Sebille. E., S. M. Griffies, R. Abernathey, T. P. Adams, P. Berloff, A. Biastoch, B. Blanke, E. P. Chassignet, Y. Cheng, C. J. Cotter, E. Deleersnijder, K. Döös, H. F. Drake, S. Drijfhout, S. F. Gary, A. W. Heemink, J. Kjellsson, I. M. Koszalka, M. Lange, C. Lique, G. A. MacGilchrist, R. Marsh, C. G. M, Adame, R. McAdam, F. Nencioli, C. B. Paris, M. D. Piggott, J. A. Polton, S. Rühs, S. H.A.M. Shah, M. D. Thomas, J. Wang, P. J. Wolfram, L. Zanna, J. D. Zika (2018). Lagrangian ocean analysis: Fundamentals and practices, Ocean Modelling, Volume 121, 49-75, ISSN 1463-5003, https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.11.008.

Vives i Batlle, J., Beresford, N., Beaugelin-Seiller, K., Bezhenar, R., Brown, J., Cheng, J.J., Cujic, M., Dragovic, S.S., Duffa, C., Fievet, B., Hosseini, A., Jung, K.T., Kamboj, S., Keum, D.K., Kryshev, A., Le Poire, D., Maderich, V., Min, B.I., Periáñez, R., Sazykina, T., Suh, K.S., Yu, C., Wang, C., Heling, R., 2016. Inter-comparison of dynamic models for radionuclide transfer to marine biota in a Fukushima accident scenario. J. Environ. Radioact. 153, 31–50.

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data, 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

WMO (1984): Commission For Marine Meteorology Abridged Final Report Of The Ninth Session, World Meteorological Organisation, Geneva.

ВМО (2006): Совместная комиссия ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии (СКОММ) - вторая сессия: сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями (ВМО-№ 995). Всемирная метеорологическая организация, Женева.

ВМО (2018a): Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию - Том I — Глобальные аспекты: Дополнение VI к Техническому регламенту ВМО (ВМО-№558), Всемирная метеорологическая организация, Женева.

ВМО (2018b): Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию (ВМО-№ 471), Всемирная метеорологическая организация, Женева.

ВМО (2018c): Руководство по анализу и прогнозированию волнения (ВМО-№ 702), Всемирная метеорологическая организация, Женева.

WMO (2021): Sea-ice Information and Services (WMO-No. 574), World Meteorological Organisation, Geneva.

Zodiatis, G., R. Lardner, D. Solovyov, X. Panayidou, and M. De Dominicis. 2012. Predictions for oil slicks detected from satellite images using MyOcean forecasting data. Ocean Sci., 8, 1105–1115. doi: 10.5194/os-8-1105-2012.

Zodiatis, G., De Dominicis, M., Perivoliotis, L., Radhakrishnan, H., Georgoudis, E., Sotillo, M., Lardner, R.W., Krokos, G., Bruciaferri, D., Clementi, E., Guarnieri, A., Ribotti, A., Drago, A., Bourma, E., Padorno, E., Daniel, P., Gonzalez, G., Chazot, C., Gouriou, V., Kremer, X., Sofianos, S., Tintore, J., Garreau, P., Pinardi, N., Coppini, G., Lecci, R., Pisano, A., Sorgente, R., Fazioli, L., Soloviev, D., Stylianou, S., Nikolaidis, A., Panayidou, X., Karaolia, A., Gauci, A., Marcati, A., Caiazzo, L., and Mancini, M. (2016). The Mediterranean Decision Support System for Marine Safety dedicated to oil slicks predictions, Deep-Sea Research Part II, http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.07.014.

Zodiatis, G., R. Lardner, T.M. Alves, Y. Krestenitis, L. Perivoliotis, S. Sofianos, and K. Spanoudaki (2017). Oil Spill forecasting (prediction), in THE SEA: THE SCIENCE OF OCEAN PREDICTION, J. Mar. Res., 75, 923–953, 2017.

### **Дополнение 3.1. Соответствующие веб-сайты**

<https://www.imo.org/>

<https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx>

<https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/SOLAS.aspx>

<https://www.rempec.org/en>

<https://www.emsa.europa.eu/>

<https://www.iaea.org/>

<https://www.goosocean.org/>

[https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#Background](https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER" \l "Background)

<http://weather.gmdss.org/>

<https://hab.ioc-unesco.org/>

<https://data.hais.ioc-unesco.org/>

[https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER#MPERSS](https://community.wmo.int/activity-areas/Marine/MEER" \l "MPERSS)

<http://weather.gmdss.org/>

<https://public.wmo.int/en/governance-reform/infrastructure-commission>

<https://public.wmo.int/en/governance-reform/services-commission>

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. <https://www.bbc.com/news/world-europe-47574143>. [↑](#footnote-ref-2)
2. <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-60180226>. [↑](#footnote-ref-3)
3. Обратите внимание, что вредоносное цветение водорослей (ВЦВ) не рассматривается в данном обзоре, поскольку подход к прогнозированию ВЦВ отличается от подхода к отслеживанию/моделированию чрезвычайных ситуаций на море на том основании, что для прогнозирования ВЦВ используется комбинированная модель циркуляции океана и экосистемы, которая в настоящее время является менее развитой (и менее точной), чем моделирование РЧЭСМ и ПСО. [↑](#footnote-ref-4)
4. См. стр. 114, Окончательный отчет СКОММ-II с резолюциями и рекомендациями, ВМО-№ 995 [↑](#footnote-ref-5)