

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Министра Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий
стихийных бедствий

генерал-полковник

В.Н. Яцуценко

«02» ДЕКАБРЯ 2021 г.

ДЗ-17-802-5142-ВЯ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ
ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
ВО ВНУТРЕННИХ ВОДАХ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ МОРЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Москва 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
3. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	9
4. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	13
5. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОПАСНОСТИ ППОО	14
6. ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ И УСТАНОВЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	14
7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ И УСТАНОВЛЕНИЮ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	17
8. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЗАЛПОВОМ ВЫБРОСЕ	19
8.1. Оценка параметров процесса распространения опасных веществ из ППОО при залповом выбросе в условиях «глубокого моря»	22
8.2. Оценка параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе в условиях «мелкого моря»	25
8.3. Оценка параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе в условиях «мелкого моря» в произвольной точке контролируемой акватории	27
8.4. Оценка параметров процесса распространения ОВ в акватории размещения ППОО при разрушении защитных барьеров в условиях «мелкого моря» и при наличии подводных течений.....	29
8.5. Оценка параметров процесса распространения ОВ при выбросе из ППОО в условиях «глубокое море» и при наличии подводных течений.....	32
9. ПОДВОДНЫЕ ВЗРЫВЫ ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ. МЕТОД ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ППОО С ВЗРЫВООПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.....	34
9.1. Подводные взрывы. Характеристики некоторых ВВ	35
9.2. Воздействие на человека избыточного давления во фронте ударной волны подводного взрыва	38
9.3. Оценка поражающего действия подводного взрыва на надводные корабли (суда).....	40

9.4. Оценка сейсмического воздействия подводного взрыва на здания и сооружения, расположенные в береговой зоне	47
10. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ППОО.....	48
Приложение 1 Общая схема проведения оценки опасности ППОО.....	52
Приложение 2 Критерии отнесения опасной обстановки в акватории размещения ППОО к чрезвычайной ситуации.....	53
Приложение 3 Примеры оценки опасности некоторых ППОО	56
Пример 1. Расчет параметров процесса распространения ОВ из ППОО с ОХВ при залповом выбросе в условиях «глубокое море»	56
Пример 2. Расчет параметров процесса распространения ОВ из взрывоопасного ППОО с ОХВ при залповом выбросе в условиях «глубокое море» при наличии морских течений.....	61
Пример 3. Расчет избыточного давления во фронте ударной волны для взрывоопасных ППОО, находящихся во внутренних водах.....	71
Пример 4. Расчет избыточного давления во фронте ударной волны для взрывоопасного ППОО, находящегося в территориальном море	79
Пример 5. Расчет параметров разлива нефти и нефтепродуктов из ППОО.....	88

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методические рекомендации разработаны в целях обеспечения деятельности по декларированию безопасности ППОО, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации (за исключением подводных переходов трубопроводного транспорта).

Правовой основой для разработки Методических рекомендаций являются:

постановление Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2002 г. № 124 «О декларировании безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации»;

приказ МЧС России от 27 февраля 2003 г. № 98 «Об утверждении Порядка разработки и представления декларации безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации» (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 5 мая 2003 г., регистрационный № 4502);

приказ МЧС России от 31 октября 2008 г. № 657 «Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по исполнению государственной функции по осуществлению ведения в установленном порядке реестра подводных потенциально опасных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации (за исключением подводных переходов трубопроводного транспорта)» (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 19 января 2009 г., регистрационный № 13099).

Методические рекомендации содержат минимально необходимый математический аппарат для оценки опасности ППОО, позволяющий

производить расчёты характеристик зон действия поражающих факторов опасных веществ ППОО, способных привести к возникновению ЧС в акватории размещения ППОО, для случаев полного разрушения (по различным причинам) их защитных барьеров при минимальном количестве исходных данных.

Для оценки опасности ППОО могут использоваться иные обоснованные способы и методы расчёта зон действия поражающих факторов.

Область действия Методических рекомендаций распространяется на ППОО, содержащие опасные вещества в соответствии с приложением к приказу МЧС России от 27 февраля 2003 г. № 98 «Об утверждении порядка разработки и представления декларации безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации» и представляющие потенциальную опасность возникновения ЧС.

В системе МЧС России Методические рекомендации рекомендованы к применению при оценке опасности ППОО должностным лицам территориальных органов, структурного подразделения центрального аппарата, осуществляющим функции по предупреждению и ликвидации ЧС на ППОО, а также ведения реестра ППОО.

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Аварийный ППОО – подводный потенциально опасный объект, утративший свои защитные оболочки или на котором произошёл взрыв.

Безопасность ППОО – это состояние объекта, характеризующееся определенными уровнями воздействия опасных и вредных факторов на население и окружающую среду в обычных условиях (без вмешательства) и при вмешательстве (проведении подводных работ особого (специального) назначения).

Взрыв – процесс чрезвычайно быстрого химического превращения взрывчатых веществ, сопровождающийся выделением большого количества теплоты и образованием сильно нагретых газов, способных при расширении производить механическую работу.

Взрывчатые вещества – вещества, способные под влиянием внешних воздействий производить взрыв.

Внутренние воды – внутренние воды Российской Федерации: все водоемы, включая моря, озера, реки и водохранилища, расположенные в пределах сухопутной территории России, а также морские пространства, отнесенные к ее внутренним морским водам международным морским правом. Внутренние морские воды Российской Федерации – воды, расположенные в сторону берега от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря Российской Федерации.

Глубокое море – это акватория размещения ППОО, глубина которой больше или равна расстоянию от ППОО, на котором концентрация опасного вещества из ППОО меньше или равна предельно допустимой концентрации данного опасного вещества для морских акваторий.

Декларация безопасности подводного объекта - документ, в котором обосновывается безопасность ППОО и определяются меры по обеспечению безопасности ППОО (обосновывается необходимый объём вмешательства).

Мелкое море – это акватория размещения ППОО, глубина которой меньше расстояния от ППОО, на котором концентрация опасного вещества из ППОО меньше или равна предельно допустимой концентрации данного опасного вещества для морских акваторий.

Опасность подводного потенциально опасного объекта – потенциальная возможность ППОО вызывать ЧС в акватории его размещения.

Оценка опасности ППОО – процесс определения значений показателей, характеризующих возникновение ЧС в результате действия опасных факторов ППОО.

ППОО - суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения ЧС.

Подводные работы особого (специального) назначения - подводные работы, выполняемые с ППОО.

Подводный взрыв – взрыв заряда взрывчатых веществ, размещённых под водой.

Предельно допустимая концентрация - максимальная концентрация химических соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований, в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Территориальное море Российской Федерации - примыкающий к сухопутной территории или к внутренним морским водам морской пояс шириной 12 морских миль.

ЧС - обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

ЧС на акватории – состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей и мореплавания, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, морским (речным) объектам, водной флоре и (или) фауне на море или внутреннем водном бассейне.

ЧС на ППОО – обстановка, сложившаяся на акватории в результате действия опасных факторов ППОО при разрушении их защитных оболочек или в результате внешнего воздействия на ППОО, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

3. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ И ИХ РАЗМЕРНОСТЕЙ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БОВ	- боевые отравляющие вещества
ЗО	- защитная оболочка ППОО
ВВ	- взрывчатые вещества
НиНП	- нефть и нефтепродукты
ОВ	- опасное вещество
ОХВ	- опасные химические вещества
ППОО	- подводный потенциально опасный объект
ПДК	- предельно допустимая концентрация
ПДК _j	- предельно допустимая концентрация j-ого вещества
ЧС	- чрезвычайная ситуация
ЧС(Н)	- ЧС, обусловленная разливом нефти и нефтепродуктов

	СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ	Размерность
C_{ij0}	исходная концентрация ОХВ в морской среде в момент разрушения (ЗО) i -ого ППОО	$кг/м^3$
C_{ij}	текущее значение концентрации j -ого ОХВ из i -ого ППОО в процессе его распространения по акватории затопления ППОО в интервале времени от t_0 до t_k	$кг/м^3$
C_{jx}	значение концентрации ОХВ в произвольной точке x акватории размещения аварийного ППОО, отстоящей от него на расстоянии R_x	$кг/м^3$
C_m	плотность энергии, отнесенной к значению ее в точке на корпусе корабля на расстоянии 1 м от центра взрыва заряда $G = 1$ кг	$кг/м^3$
C_m^o	наименьшее значение C_m , при которых корабли получают различные виды повреждений	$кг/м^3$
H_h	критерий определения модели распространения ОХВ (модель «глубокого моря» или «мелкого моря»)	$б/р$
h_*	глубина водного объекта в месте размещения ППОО	$м$
I	импульс силы давления	$Па \times с$
K_j	коэффициент диффузии j -ого вещества в воде	$м^2/с$
k_1, k_3, n_1, n_3	коэффициенты в эмпирических уравнениях для определения p_m и I	$б/р$
M_{oij}	количество j -х химически опасных веществ (ОХВ) в i -ом ППОО (или групповом захоронении)	$кг$
ΔP_ϕ	избыточное давление на фронте ударной волны в воде	$Па$
p_m	максимальное (пиковое) давление во фронте ударной волны подводного взрыва	$Па$
R	расстояние от места подводного взрыва	$м$
R_k	расстояние от аварийного ППОО, на котором концентрация j -ых ОВ, выходящих из i -ого ППОО в	

	интервале времени от t_0 до t_k , не будет превышать значение ПДК _j	<i>м</i>
R_s	безопасное расстояние сейсмического воздействия от подводного взрыва ВВ	<i>м</i>
$R_э$	расстояние между зарядом и бортом судна, при котором взрыв наиболее эффективен	<i>м</i>
R_H	радиус плёнки нефти и нефтепродуктов при гравитационно-вязкостном растекании	<i>м</i>
r_k	радиус окружности на поверхности акватории, центром которой является проекция точки дна акватории, в которой размещено ППОО, во всех случаях, когда $R_k > h_*$	<i>м</i>
r	расстояние от центра взрыва	<i>м</i>
S_H	площадь пятна разлива нефти и нефтепродуктов	<i>м²</i>
$S_{\text{пов.}i}$ ($S_{\text{пи}}$)	площадь поверхности ЗО <i>i</i> -ого ППОО, которая принимается численно равной поверхности <i>j</i> -ого вещества в момент развала ЗО <i>i</i> -ого ППОО	<i>м²</i>
S_k	площадь дна акватории, загрязненной опасным веществом	<i>м²</i>
t_0	время начала выхода ОВ из ППОО, утратившего ЗО	<i>с</i>
t_k	время, в течение которого ОВ, в результате физических процессов массообмена, снизили свою концентрацию в точке нахождения аварийного ППОО с C_{ij0} до или меньше ПДК _j ($C_{ij}(A_{ij}) \leq \text{ПДК}_j$)	<i>с</i>
t_{kx}	время, в течение которого в определенной точке акватории «x» концентрация <i>j</i> -ого вещества достигает значения C_x	<i>с</i>
V_k	объем воды с растворенным в нем <i>j</i> -ым веществом с концентрацией, соответствующей ПДК _j в месте размещения аварийного <i>i</i> -ого ППОО, на момент времени t_k	<i>м³</i>

V_s	скорость грунтов в основании зданий при сейсмическом воздействии подводного взрыва ВВ	<i>см/с</i>
$V_{\text{слоя}}$	объем воды вокруг ППОО на расстоянии R_k , ограниченный дном и поверхностью акватории	m^3
u_n	скорость перемещения нефтяного пятна	<i>м/с</i>
ϑ_T	скорость подводного течения	<i>м/с</i>
u_{dj}	скорость диффузии j-ого вещества в воде	<i>м/с</i>
ω	масса заряда	<i>кг</i>
$\omega_{\text{экв}}$	тротильный эквивалент	<i>кг</i>
η	удельная теплота взрывчатого вещества	<i>Дж/кг</i>
$\eta_{\text{тротила}}$	удельная теплота α -тротила (симметричного)	<i>Дж/кг</i>

4. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

4.1. Оценку опасности подводных потенциально опасных объектов рекомендуется проводить при:

разработке декларации безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации;

разработке декларации безопасности ППОО в составе проекта подводных работ особого (специального) назначения (в случае её отсутствия);

оценке опасности подводных объектов, зарегистрированных в Реестре подводных потенциально опасных объектов и находящихся в федеральной собственности.

4.2. Для оценки опасности ППОО необходимо использовать количественные показатели, значения которых рассчитаны по Методическим рекомендациям и однозначно характеризующие величину негативного воздействия опасных факторов ППОО в случае разрушения их защитных оболочек.

4.3. Оценку опасности ППОО необходимо проводить исходя из условий наиболее опасных сценариев, таких как: «полное разрушение защитных оболочек ППОО» и «взрыв общего количества ВВ на ППОО», либо провести обоснование применения иного наихудшего сценария.

4.4. Исходные данные, сделанные допущения и предположения, результаты оценки опасности ППОО рекомендуется обосновывать и документально фиксировать в объеме, достаточном для того, чтобы

выполненные по Методическим рекомендациям расчеты и выводы могли быть повторены и проверены в ходе независимой экспертизы.

5. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОПАСНОСТИ ППОО

5.1. Для оценки опасности ППОО рекомендуется использовать критерии отнесения обстановки в акватории размещения ППОО к ЧС в соответствии с приложением 2 к Методическим рекомендациям.

5.2. В качестве критериев рекомендуется использовать:

общие критерии – количество погибших и получивших ущерб здоровью людей;

для ППОО, представляющих химическую опасность – превышение концентраций опасных веществ в акватории размещения объекта воздействия в количествах, кратных утвержденным в законодательном порядке санитарно-гигиеническим нормам – предельно допустимым концентрациям (ПДК) ОБ;

для взрывоопасных ППОО – избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии от эпицентра подводного взрыва, характеризующееся смертельным поражением человека или способным нанести ущерб здоровью, а также сейсмическое воздействие на береговые здания и сооружения;

для ППОО, содержащих нефть и нефтепродукты – общий объем нефти и нефтепродуктов, участвующих в разливе из ППОО.

6. ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ И УСТАНОВЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

6.1. При проведении оценки опасности ППОО рекомендуется последовательно выполнять следующие этапы:

планирование и организация оценки опасности ППОО;

идентификация опасностей на ППОО;
оценка опасности ППОО и (или) его составных частей;
установление опасности ППОО.

Общая схема оценки опасности ППОО представлена в приложении 1 к Методическим рекомендациям.

6.2. При планировании и организации оценки опасности ППОО рекомендуется:

обосновать необходимость проведения оценки опасности данного ППОО (декларирование безопасности ППОО, в том числе в составе проекта подводных работ особого (специального) назначения или другое);

знать основные характеристики ППОО;

знать гидрологические особенности района размещения ППОО (глубина нахождения, наличие подводных течений, их скорость и направленность).

6.3. На этапе идентификации опасностей ППОО рекомендуется:

определить ОВ на ППОО;

в случае нахождения на ППОО более одного ОВ произвести разделение подводного объекта на составные части по каждому ОВ (при необходимости);

выбрать из предложенных в Методических рекомендациях возможных сценариев развития ситуаций на ППОО, связанных с разрушениями их защитных оболочек и (или) взрывами взрывоопасных веществ.

6.4. На этапе оценки опасности ППОО рекомендуется:

определить объекты воздействия ОВ:

акватории ведения хозяйственной деятельности (районы нефтегазодобычи, наличие рыбных промыслов и водных биоресурсов и т.д.), для которых необходимо учитывать негативное действие поражающих факторов аварийного ППОО;

группы населения, которые могут пострадать в результате действия поражающих факторов аварийного ППОО;

объекты инфраструктуры (технические устройства, сооружения, конструкции, суда и другие плавсредства), на которые могут воздействовать поражающие факторы аварийного ППОО.

определить критерии воздействия опасного вещества, где в качестве критерия воздействия поражающих факторов ППОО на объекты хозяйственной деятельности в акватории его размещения использовать критерии, характеризующие возникновение чрезвычайной ситуации, приведенные в приложении 2 к Методическим рекомендациям;

определить пути распространения опасного вещества к объекту воздействия, исходя из гидрологических свойств района затопления (скорость и направления течений);

провести оценку потенциального воздействия опасного вещества:

рассчитать значения поражающих факторов аварийного ППОО и определить их влияние на объекты воздействия;

рассчитать характеристики зон действия поражающих факторов аварийного ППОО.

6.5. На этапе определения опасности ППОО рекомендуется:

провести сравнение полученных значений параметров поражающих факторов ОВ с критериями ЧС и её масштабами - исходя из параметров рассчитанных зон действия поражающих факторов, определить их влияние на объекты воздействия по выбранным ранее критериям;

провести оценку масштабов ЧС в результате действия поражающих факторов аварийного ППОО – при оценке масштаба воздействия опасных факторов ППОО на объекты воздействия использовать таблицу 2-2 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ И УСТАНОВЛЕНИЮ ОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

7.1. При проведении оценки опасности ППОО рекомендуется рассматривать наихудшие сценарии реализации опасности, которые могут вызвать наиболее тяжкие последствия.

7.2. При идентификации опасности на ППОО рекомендуется рассматривать варианты реализации опасности, исходя из максимального количества ОВ на ППОО на дату проведения расчета.

7.3. При определении наихудших сценариев реализации опасности рекомендуется рассматривать следующие случаи:

залповый выброс ОВ (ОХВ, нефть и нефтепродукты) ППОО при условии полного разрушения его ЗО, распространение ОВ по акватории размещения ППОО, выход ОВ в зону хозяйственных интересов человека;

взрыв всех взрывоопасных веществ на ППОО с последующим распространением в воде ударной волны и воздействие её на человека, суда и объекты инфраструктуры, находящиеся в акватории размещения ППОО;

при наличии нескольких ОВ на ППОО рассматривать выполнение каждого из вышеперечисленных сценариев отдельно или последовательно.

7.4. При наличии веществ, представляющих химическую опасность, рекомендуется принимать значения суммарной массы всех ОХВ на ППОО,

особенно в случае вступления рассматриваемых веществ в реакцию друг с другом, или массы каждого индивидуального вещества в случае, если обосновано различие их химического действия на объекты воздействия или значительно различаются значения предельно допустимых концентраций в окружающей среде.

7.5. Рекомендуемый порядок расчёта зон действия поражающих факторов ОВ при их выходе из ППОО в воду представлен в разделе 8 Методических рекомендаций.

7.6. При наличии взрывоопасных веществ рекомендуется принимать значения суммарной массы взрывчатых веществ на ППОО.

7.7. Рекомендуемый порядок расчёта избыточных давлений во фронте ударной волны подводного взрыва для различных объектов воздействия представлен в разделе 9 Методических рекомендаций.

7.8. При наличии нефти и нефтепродуктов рекомендуется принимать значения суммарного содержания нефти и нефтепродуктов на ППОО и их дальнейшего распространения в водной среде в результате полного разрушения ЗО ППОО.

7.9. Рекомендуемый порядок расчёта параметров процесса распространения нефти и нефтепродуктов в акватории представлен в разделе 10 Методических рекомендаций.

7.10. При установлении опасности ППОО рекомендуется определять вероятные зоны действия поражающих факторов, в границах которых

значения поражающих факторов будут больше или равны критериям, которые характеризуют возникновение ЧС на акватории и её масштабы.

7.11. При определении вероятных зон действия поражающих факторов рекомендуется проводить определение количественных параметров поражающих факторов ППОО (давление и импульс - для ударных волн подводного взрыва; значения концентраций ОВ, кратных предельно допустимым значениям их содержания в морской среде, а также масса нефти и нефтепродуктов, участвующих в разливе) в любой точке акватории распространения опасных факторов ППОО.

8. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЗАЛПОВОМ ВЫБРОСЕ

Исходные данные для оценки:

M_{0ij} - количество j -ых ОХВ в i -ом ППОО (или групповом захоронении), кг;

$ПДК_j$ – предельно допустимые концентрации j -ых ОВ в морской воде, $кг/м^3$ – для ОХВ;

C_{ij0} – исходная концентрация ОХВ в морской среде в момент развала ЗО i -ого ППОО, $кг/м^3$;

Расчет зон действия поражающих факторов ППОО проводится, исходя из следующих допущений:

- по прошествии времени T , затопленный i -й ППОО в результате физико-химических процессов (коррозия, ледовая экзарация, избыточное давление на дно от поверхностных волн) лишился своей защитной оболочки;

- вся масса j -х ОВ i -ого ППОО – M_{0ij} поступила в окружающее водное пространство в виде залпового выброса в момент времени t_0 ;

- концентрация j -ого ОХВ C_{ij0} в окрестности i -ого ППОО, утратившего ЗО, в момент времени t_0 будет превышать ПДК $_j$ многократно: $C_{ij0} \gg \text{ПДК}_j$ и численно равна его плотности;

- в результате молекулярной (турбулентной) диффузии и увлечения j -х веществ подводными течениями концентрация ОВ в окрестности i -ого ППОО со временем будет снижаться, а зона загрязнения (заражения) – расширяться (рис.8.1);

- указанные процессы будут протекать до тех пор, пока текущее значение концентрации j -ого вещества в процессе его распространения по акватории размещения i -ого ППОО – C_{ij} не станет равновесной. В практических целях целесообразно определить расстояние от аварийного ППОО (аварийный ППОО – ППОО, утративший свой защитный барьер) – R_k , на котором концентрация j -ых ОВ, выходящих из i -ого ППОО в интервале времени от t_0 до t_k , не будет превышать значение ПДК $_j$. Здесь t_k , с – время, в течение которого j -ые ОВ, в результате физических процессов массообмена, снизили свою концентрацию в точке нахождения аварийного ППОО с C_{ij0} до ПДК $_j$ ($C_{ij} \leq \text{ПДК}_j$).

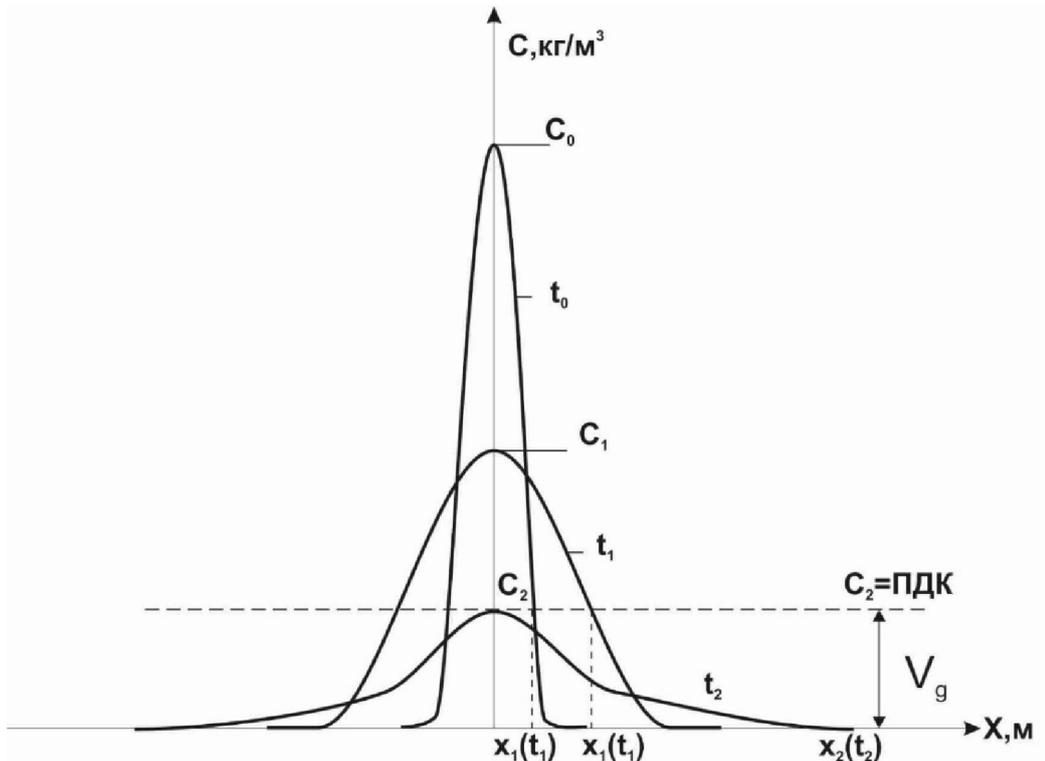


Рисунок 8.1. Зависимость концентрации ОВ от времени и расстояния от точки выхода

Необходимо иметь в виду, что характер распространения ОВ из ППОО в акватории размещения ППОО в немалой степени зависит от глубины акватории h_* и количества ОВ - M_{0ij} для ОХВ. В случае когда, $h_* \geq R_k$ все ОВ распространяются в акватории вокруг ППОО в количестве ($C_{ij} \leq \text{ПДК}_j$) в полусфере радиусом R_k с центром в точке размещения ППОО. В этом случае будем говорить, что распространение ОВ из ППОО происходит в условиях «глубокое море». В противном случае, когда $h_* < R_k$, объем воды с распространенным в нем j -ым ОВ в количестве ПДК $_j$ будет представлять собой усеченную полусферу, у которой радиус большего сечения (на дне акватории) составляет R_k , будем говорить, что распространение ОВ из ППОО происходит в условиях «мелкое море». Очевидно, что динамика распространения ОВ в условиях «мелкое моря» будет отличаться от условий распространения ОВ в условиях «глубокое море», поэтому необходимо изначально определить какой механизм распространения ОВ применим для каждого конкретного ППОО.

Для этих целей рассмотрим объем воды V в полусфере радиусом R_k , достаточном для разбавления ОВ из ППОО, в количестве M_{oij} до ПДК_j:

$$V = \frac{2}{3}\pi R_k^3, \text{ но } V = \frac{M_{oij}}{\text{ПДК}_j}.$$

Следовательно,

$$R_k = \left(\frac{3M_{oij}}{2\pi\text{ПДК}_j} \right)^{1/3}.$$

Для случая, когда $R_k \leq h_*$ («глубокое море»), получаем: $0,48 \frac{M_{oij}}{h_*^3 \text{ПДК}_j} \leq 1$ или $N_h \leq 1$ – критерий определения модели распространения ОВ в условиях «глубокого моря».

Очевидно, что для случая распространения ОВ в условиях «мелкого моря» критерий $N_h > 1$.

Время t_k , в течение которого ОВ в точке размещения ППОО снизили свою концентрацию с C_{ij0} до ПДК_j ($C_{ij} \leq \text{ПДК}_j$), зависит от физических процессов массопереноса в акватории (диффузия, донные течения).

Величина t_k зависит от параметров процессов, участвующих в распространении j -ых веществ в акватории размещения ППОО (диффузия, донные течения).

В простейшем случае, когда на процесс распространения ОВ в водной среде доминирующее влияние оказывает только диффузия (например, в небольших замкнутых водоемах: озера, пруды или морские заливы с узким выходом в открытое море), объем воды, содержащей j -ое вещество в предельно допустимой концентрации, можно рассчитать в соответствии с представленным ниже алгоритмом.

8.1. Оценка параметров процесса распространения опасных веществ из ППОО при залповом выбросе в условиях «глубокого моря»

На схеме (рис. 8.2) показана полусфера, в воде которой со временем t_0 распространилось все j -ое вещество i -ого ППОО и достигло (снизило)

концентрацию $C_{ij0} \gg \text{ПДК}_j$ в начальный момент t_0 до концентрации $C_{ij} = \text{ПДК}_j$ в момент времени t_k . Объем воды с распространенным в нем j -ым веществом с концентрацией, соответствующей ПДК_j в месте размещения аварийного i -ого ППОО, на момент времени t_k будет равен:

$$V_k = \frac{2}{3} \pi R_k^3.$$

Очевидно, что данная схема показывает распространение ОВ в условиях «глубокое море», когда R_k меньше глубины захоронения i -ого ППОО. Радиус полусферы R_k и будет определять границу безопасной зоны в акватории размещения i -ого ППОО, утратившего ЗО.

Зная количество поступившего в воду j -ого ОХВ M_{0j} и значения ПДК этого вещества в морской воде - ПДК_j , объем V_k можно также определить следующим образом:

$$V_k = \frac{M_{0j}}{\text{ПДК}_j}. \quad (1)$$

Из данного выражения определяется значение радиуса полусферы R_k , внутри которой за время $(t_k - t_0)$, сформировалась за счет молекулярной диффузии область с концентрацией ОВ, не превышающей ПДК:

$$R_k = 0.78 \left(\frac{M_{0j}}{\text{ПДК}_j} \right)^{1/3}. \quad (2)$$

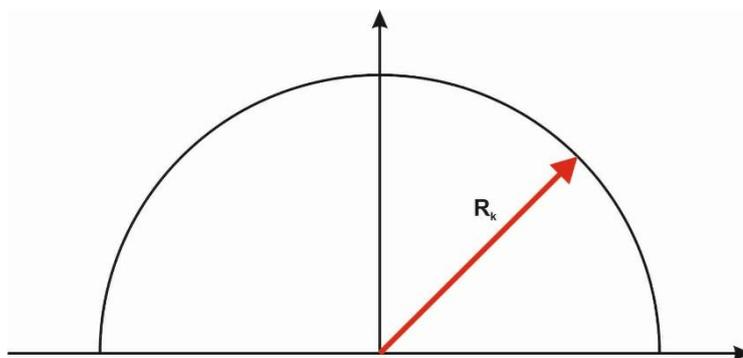


Рисунок 8.2. Схема распространения опасных веществ в водном пространстве при разрушении ЗО ППОО в условиях «глубокое море»

Для определения времени наступления равновесных условий (по концентрации j -ого вещества в размере ПДК $_j$) после разрушения ЗО i -ого ППОО (времени t_k) необходимо использовать закон А. Фика:

$$m = K \times \left(\frac{C_1 - C_2}{l} \right) S \times t,$$

где m - количество диффундирующего вещества в кг, проходящего за время t в с через площадку S в см², расположенную перпендикулярно направлению, в котором движется вещество, C_1 и C_2 – концентрации диффундирующего вещества (количество вещества, содержащегося в единице объема, в кг/м³ для ОХВ) в двух слоях, отстоящих друг от друга на расстоянии l , м; K – коэффициент диффузии, м²/с. Этот коэффициент зависит от природы среды, от природы диффундирующего вещества и от условий, при которых находится среда и диффундирующее вещество (от температуры, в основном). При этом предполагается, что $\frac{C_1 - C_2}{l} = Const$.

В соответствии с законом А. Фика:

$$M_{j0} = K_j S_{пов.i} \left(\frac{C_{j0} - C_{jk}}{R_k} \right) t_k,$$

где $C_{jk} = ПДК_j$.

Откуда

$$t_k = \frac{M_{0j} R_k}{K_j S_{пов.i} (C_{j0} - ПДК_j)},$$

Подставляя значение R_k , получим:

$$t_k = \frac{0.78 (M_{0j})^{4/3}}{K_j S_{пов.i} (C_{j0} - ПДК_j) \times (ПДК_j)^{1/3}}. \quad (3)$$

В условиях «глубокого моря», при $R < R_k$, значение концентрации j -ого вещества - больше ПДК $_j$, т.е. в акватории, в зоне размещения i -ого ППОО с разрушенной ЗО, при $t < t_k$ от начала залпового выхода ОВ ЧС

считать достижение концентрации j -ого вещества, превышающего значение ПДК $_j$, в соответствии с данными таблицы 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

Пример расчета параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе в условиях «глубокого моря» представлен в приложении 3 к Методическим рекомендациям.

8.2. Оценка параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе в условиях «мелкого моря»

Выражение (2) для R_k определяет безопасное расстояние от ППОО в случае его разгерметизации и залпового выброса ОВ в условиях «глубокого моря», когда $R_k \ll h_*$ – глубины захоронения ППОО. Для случая «мелкого моря», когда $R_k > h_*$, для оценки R_k необходимо использовать другое выражение.

Допустим, что i -ое ППОО находится на глубине h_* в условии «мелкое море», когда $h_* < R_k$ (см. рис. 8.3), где R_k также, как и в случае с «глубокое море», будет определять безопасное расстояние (границу) от i -ого ППОО при разрушении его ЗО и выхода j -ых ОВ в окружающее водное пространство.

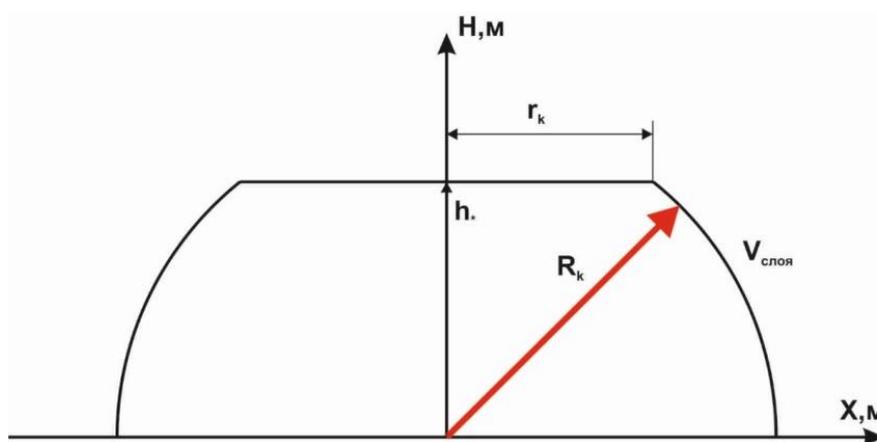


Рисунок 8.3. Схема зон загрязнения (заражения) водного пространства при разрушении ЗО ППОО в условиях «мелкое море»

Найдем объем воды, находящийся в слое между дном и поверхностью моря, в котором ОБ из i -ого ППОО с концентрацией, соответствующей ПДК $_j$ в месте размещения аварийного i -ого ППОО, на момент времени t_k будет равен:

$$V_{\text{слоя}} = \frac{1}{6}\pi h_*^3 + \frac{1}{2}\pi(R_K^2 + r_K^2)h_*,$$

где $r_K = \sqrt{R_K^2 - h_*^2}$.

Но $V_{\text{слоя}} = \frac{M_{0j}}{\text{ПДК}_j}$ для ОХВ.

Тогда R_K – расстояние от i -ого ППОО, на котором концентрация j -ого ОБ достигает значения ПДК $_j$ на момент времени t_k в условиях «мелкого моря»:

$$R_K = \left(\frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3\pi h_* \text{ПДК}_j} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ м} \quad (4)$$

Площадь дна акватории, загрязненной j -ым ОБ из i -ого ППОО, составляет величину:

$$S_K = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3h_* \text{ПДК}_j}, \text{ м}^2. \quad (5)$$

Время наступления равновесных условий (по концентрации j -ого ОБ в размере ПДК $_j$) после разрушения ЗО i -ого ППОО - t_k , определяется из закона А. Фика:

$$t_k = \frac{M_{0j} R_K}{K_j S_{\text{пов.}i} (C_{j0} - \text{ПДК}_j)}, \text{ с.}$$

Подставляя значение R_K из (4), получим:

$$t_k = \frac{M_{0j} (3M_{0j} + \pi h_*^3 \times \text{ПДК}_j)^{\frac{1}{2}}}{K_j S_{\text{пов.}i} (C_{j0} - \text{ПДК}_j) \times (3\pi h_* \text{ПДК}_j)^{\frac{1}{2}}}, \text{ с} \quad (6)$$

При $R < R_k$, $t < t_k$ в условиях «мелкое море» текущее значение концентрации ОХВ будут иметь значения в точке расположения аварийного ППОО $C_{ij} > ПДК_j$, т.е. в акватории, в зоне размещения i -ого ППОО с разрушенной ЗО, при $t < t_k$ от начала залпового выброса ОВ ЧС считать достижение концентрации j -ого вещества, превышающего значение ПДК $_j$, в соответствии с данными таблицы 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

8.3. Оценка параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе в условиях «мелкого моря» в произвольной точке контролируемой акватории

Если в выражении (4) вместо R_k подставить значение расстояния от i -ого ППОО до точки «х» - R_x , где необходимо оценить концентрацию j -ого ОХВ, поступившего в акваторию в результате залпового выброса из i -ого ППОО, то искомую концентрацию можно определить следующим образом:

$$C_{jx} = \frac{3 M_{j0}}{\pi (3h_* R_x^2 - h_*^3)} \text{ [кг/м}^3\text{]}. \quad (7)$$

Площадь дна акватории, загрязненной j -ым ОВ из i -ого ППОО, составляет величину:

$$S_k = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 C_{jx}}{3h_* C_{jx}}, \text{ м}^2. \quad (8)$$

По аналогии с предыдущими разделами время $t_{кх}$, когда в определенной точке акватории «х» концентрация j -ого вещества достигнет значения C_x , можно оценить следующим образом:

$$t_{кх} = \frac{M_{j0}R_x}{K_j S_{пов.i}(C_{j0} - C_{jx})}, \text{ с.} \quad (9)$$

Если в выражения (4) - (6) вместо $ПДК_j$ подставить значение концентрации j -ого ОБ, превышающего значение $ПДК_j$ в 5 или более раз (для ОБ 1-2 класса опасности), или разовое его превышение в 50 или более раз (для ОБ 3-4 класса опасности) (в соответствии с подпунктом 1.4.2 приказа МЧС России от 5.07.2021 г. №429), то получим значение R_k – расстояние от аварийного i -ого ППОО, внутри которого вокруг ППОО сформируются условия по концентрации j -ого ОБ, достаточных к отнесению на момент времени t_k , определяемого по выражению (6), сложившейся в обозначенной акватории, площадь дна которой определяется по выражению (5), ситуации в условиях «мелкое море» к чрезвычайной.

Приведенные методы расчета распространения загрязнения в водном пространстве в акватории затопления потенциально опасных объектов, в которых основным механизмом распространения ОБ из разрушенного ППОО является процесс молекулярной диффузии, характерны лишь для ППОО, размещенных в акваториях без течений (например, для морских акваторий в заливах архипелага Новая Земля). Для открытых морских пространств решающее значение в распространении ОБ будут принимать гидрологические свойства района затопления – в основном, скорость и направление подводных течений. Например, для условий Карского моря - Ямальское или Восточно-Новоземельское течения. В результате чего масштабы загрязнения (заражения) (площадь акватории) будут расти, а время распространения ОБ до равновесных концентраций будут сокращаться.

Ниже рассмотрены методы оценки параметров распространения ОБ в акватории размещения ППОО при разрушении защитных оболочек в условиях наличия подводных течений.

8.4. Оценка параметров процесса распространения ОБ в акватории размещения ППОО при разрушении защитных барьеров в условиях «мелкого моря» и при наличии подводных течений

Оценку концентраций ОБ в окрестностях ППОО с разрушенными защитными оболочками при наличии донных течений и в условии «мелкого моря» (см. рис. 8.4) необходимо проводить в случае, если критерий N_h - больше 1, т.е. $0,48 \frac{M_{oij}}{h_*^3 \text{ПДК}_j} > 1$ или $N_h > 1$.

Из рис. 8.4 видно, что в момент времени t_0 j -ое ОБ вышло из i -ого ППОО и распространилось в морской среде под действием морских течений (v_T – скорость течений) и диффузионных процессов (K_j – коэффициент диффузии j -ого вещества в морской среде). Очевидно, что все ОБ будут находиться в усеченном полуконусе $OACEDB$, в момент времени t_2 , когда концентрация ОБ в точке размещения ППОО достигнет значений ПДК $_j$.

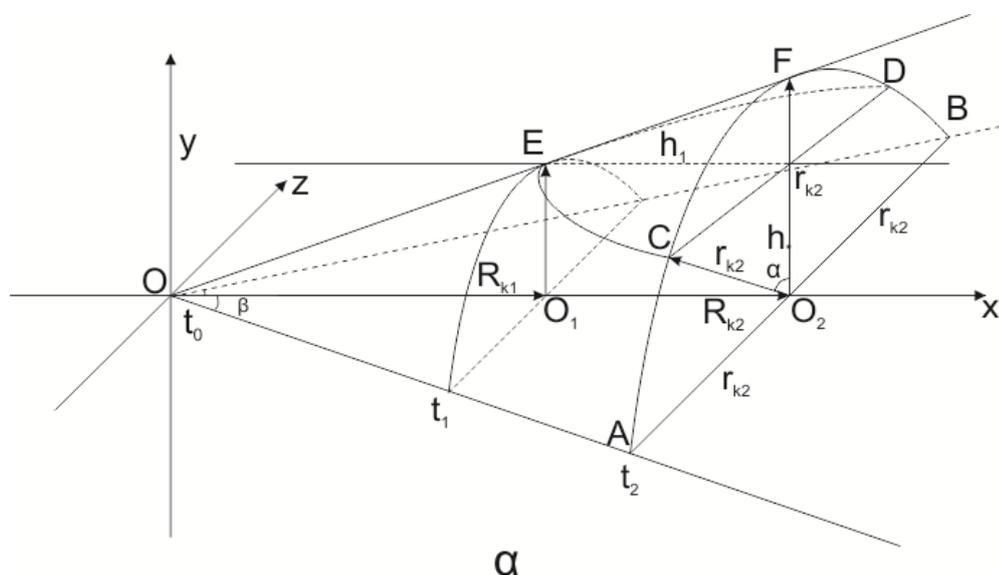


Рисунок 8.4. Схема зон загрязнения (заражения) водного пространства при разрушении ЗО ППОО в условиях «мелкое море» при наличии постоянного течения

Объем полуконуса $OABF$ ($V_{1/2K2}$) в момент времени t_2 можно представить как $V_{1/2K2} = \frac{1}{6} \pi r_{K2}^2 R_{K2}$.

Объем конусного копыта ECFD можно определить следующим образом:

$$V_{\text{кк}} = \frac{1}{3} r_{\text{к2}}^2 R_{\text{к2}} \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right].$$

Тогда объем воды в секторе, ограниченном конусом без конусного копыта - OABCED (см. рис. 8.4.) будет:

$$V_{\text{воды}} = V_{1/2\text{к2}} - V_{\text{кк}} = \frac{1}{6} r_{\text{к2}}^2 R_{\text{к2}} \left\{ \pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right\},$$

где

$$\alpha = \operatorname{arccos} \frac{h_*}{r_{\text{к2}}}, \quad r_{\text{к2}} \text{ можно определить для любого заданного}$$

значения R_x как $r_{\text{к2}} = R_x \operatorname{tg} \beta$.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\vartheta_{\text{д}}}{\vartheta_{\text{д}+\vartheta_{\text{т}}}}, \quad \text{где } \vartheta_{\text{д}} = \frac{K_j S_{\text{ни}}(C_{\text{ijo}} - \text{ПДК}_j)}{M_{\text{оij}}}, \text{ а } \vartheta_{\text{т}} - \text{ скорость течения в месте}$$

размещения ППОО.

Из условия разбавления j -ого вещества в морской среде до значения ПДК $_j$ на расстоянии $R_{\text{к2}}$ от ППОО, можно записать:

$$V_{\text{воды}} = \frac{M_{\text{оij}}}{\text{ПДК}_j}.$$

Значение $r_{\text{к2}}$ определим из выражения для $u_{\text{дj}}$:

$$u_{\text{дj}} = \frac{K_j S_{\text{ни}}(C_{\text{ijo}} - \text{ПДК}_j)}{M_{\text{ijo}}}.$$

$$r_{\text{к2}} = \frac{t_{\text{к2}} K_j S_{\text{ни}}(C_{\text{ijo}} - \text{ПДК}_j)}{M_{\text{ijo}}},$$

где $t_{\text{к2}}$ – время, в течение которого j -ое вещество достигнет т. А (см. рис. 8.4).

$$t_{\text{к2}} = \frac{R_{\text{к2}}}{\vartheta_{\text{т}} + \vartheta_{\text{д}}} \text{ или } t_{\text{к2}} = \frac{R_{\text{к2}} M_{\text{оij}}}{\vartheta_{\text{т}} M_{\text{оij}} + K_j S_{\text{ни}}(C_{\text{ijo}} - \text{ПДК}_j)}.$$

Тогда $\frac{M_{0ij}}{\text{ПДК}_j} = \frac{r_{K2}^2 R_{K2} \left\{ \pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right\}}{6}$, откуда

находим R_{K2} :

$$R_{K2} = \left[\frac{6M_{0ij} [\vartheta_{\tau} M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)]^2}{K_j^2 S_{ni}^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{\frac{1}{3}}, \text{ м.} \quad (10)$$

С учетом выражения для R_{K2} :

$$r_{K2} = \left[\frac{6M_{0ij} K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}{\text{ПДК}_j [\vartheta_{\tau} M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)] \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{\frac{1}{3}}, \text{ м.} \quad (11)$$

Площадь дна акватории, загрязненного j -ым веществом, можно рассчитать как:

$$S_K = \frac{\pi}{2} \left[\frac{6M_{0ij}}{\text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{2/3} \times \left[\frac{\vartheta_{\tau} M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}{K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right]^{1/3}, \text{ м}^2. \quad (12)$$

Площадь поверхности морской акватории, загрязненной j -ым веществом, представляет собой площадь полу-эллипса CED, которую можно рассчитать следующим образом:

$$S_{\text{пов.}} = \frac{\pi}{2} \left[\frac{(r_{K2}^2 - h_*^2) [K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j) + M_{ij0} \vartheta_{\tau}]}{K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right], \text{ м}^2. \quad (13)$$

Время установления равновесных условий по концентрации j -ого ОБ в размере ПДК_j после разрушения защитных оболочек i -ого ППОО – t_{K2} определяется из закона А. Фика:

$$t_{K2} = M_{0ij} \frac{\left[\frac{6M_{0ij} [\vartheta_{\tau} M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)]^2}{K_j^2 S_{ni}^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{\frac{1}{3}}}{\vartheta_{\tau} M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}, \text{ с.} \quad (14)$$

По аналогии с рассуждениями, приведенными в подразделе 8.3 Методики, можем из выражений (7) и (8) получить выражения для значений концентрации ОВ и времени установления значений этих концентраций в произвольной точке контролируемой акватории, а также значения R_k и t_k , когда концентрация ОВ достигает в условиях «мелкое море» при наличии течений значений, соответствующих значениям отнесения ситуации в акватории к ЧС, в соответствии с данными таблицы 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

8.5. Оценка параметров процесса распространения ОВ при выбросе из ППОО в условиях «глубокое море» и при наличии подводных течений

Для учета участия постоянных течений в распространении ОВ по морской акватории можно использовать следующие рассуждения. Пусть ППОО затоплен в условиях «глубокое море». В соответствии с ранее принятыми определениями, «глубокое море» – это море, глубина которого $h_* \geq R_k$, где R_k расстояние от ППОО, на которое распространились j -ые ОВ за время t_k , в течение которого концентрация j -ого ОВ из аварийного i -ого ППОО в месте его нахождения стала меньше или равна предельно допустимой $ПДК_j$. На рисунке 8.5 представлена схема распространения ЗВ от разрушенного ППОО в ламинарном потоке постоянного подводного течения.

На рисунке r_k - расстояние, на которое перемещается j -ое ОВ i -ого ППОО за время t_k в результате молекулярной диффузии в направлениях, перпендикулярных направлению течения, m ; v_T – скорость постоянного морского течения, m/c ; C_j – концентрация j -ого вещества, поступающего в акваторию из разрушенного i -ого ППОО, $кг/м^3$.

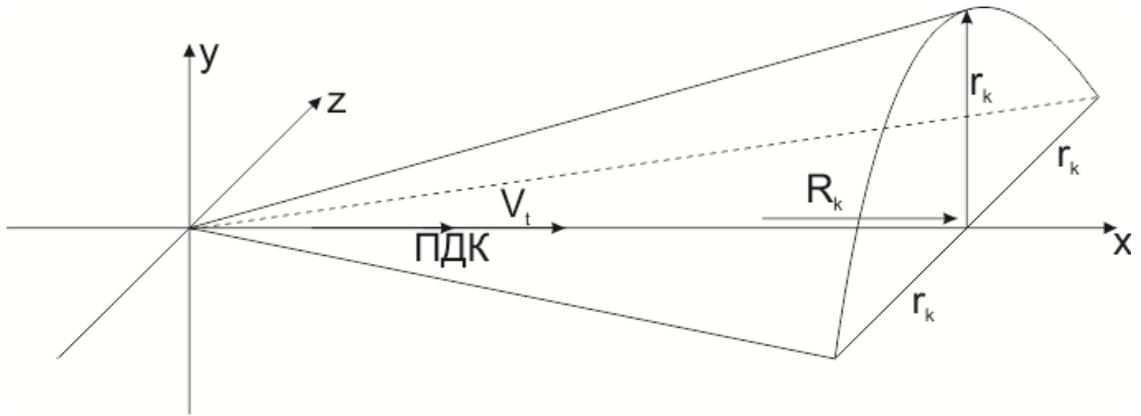


Рисунок 8.5. Схема зон загрязнения (заражения) водного пространства при разрушении ЗО ППО в условиях «глубокое море» при наличии постоянного течения

Из рисунка видно, что объем полукуноса – это объем воды с концентрацией j -ого ОВ в точке нахождения аварийного i -ого ППО в размере $ПДК_j$:

$$V_{1/2к} = \frac{R_k \pi r_k^2}{6}, \text{ но } V_{1/2к} = \frac{M_{j0}}{ПДК_j}, \text{ м}^3.$$

Откуда получаем:

$$R_k = \frac{6M_{j0}}{\pi ПДК_j r_k^2}, \text{ м м.}$$

Но $r_k = v_{dj} t_k$ (см. рис. 8.5). Значение параметра, учитывающего явление диффузионного переноса j -ого вещества в морской воде v_{dj} можно определить из выражения закона А. Фика:

$$v_{dj} = \frac{K_j S_{\pi i} (C_{ij0} - ПДК_j)}{M_{ij0}}, \text{ м/с.}$$

Подставляя значение v_{dj} в выражение для r_k , получим выражение для R_k в следующем виде:

$$R_k = \frac{6M_{j0}^3}{\pi K_j^2 S_{\pi i}^2 ПДК_j (C_{ij0} - ПДК_j)^2 t_k^2}, \text{ м}$$

или

$$R_k = \left[\frac{6M_{j0}^3 \vartheta_T^2}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 ПДК_j (C_{ij0} - ПДК_j)^2} \right]^{1/3}, \text{ м} \quad (15)$$

Площадь дна акватории, загрязненной j -ым опасным веществом из i -ого ППОО, составляет величину:

$$S_k = \left[\frac{36M_{j0}^3 \vartheta_T}{\pi^2 K_j S_{ni}^2 ПДК_j^2 (C_{ij0} - ПДК_j)} \right]^{1/3}, \text{ м}^2. \quad (16)$$

Значение t_k – времени установления концентрации j -ого вещества в размере $ПДК_j$ в месте расположения аварийного i -ого ППОО можно представить следующим образом:

$$t_k = \left[\frac{6M_{j0}^3}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 ПДК_j (C_{ij0} - ПДК_j)^2 \vartheta_T} \right]^{1/3}, \text{ с}. \quad (17)$$

По аналогии с рассуждениями, приведенными в подразделе 8.3 Методическим рекомендациям, можно из выражений (7) и (8) получить выражения для значений концентрации ОБ и времени установления значений этих концентраций в произвольной точке контролируемой акватории, а также значения R_k и t_k , когда концентрация ОБ достигает в условиях «глубокое море» при наличии течений значений, соответствующих значениям отнесения ситуации в акватории к ЧС, в соответствии с данными таблицы 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

9. ПОДВОДНЫЕ ВЗРЫВЫ ВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ. МЕТОД ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ППОО С ВЗРЫВООПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

9.1. Подводные взрывы. Характеристики некоторых ВВ

Подводный взрыв – взрыв заряда ВВ, размещённых под водой. Характеризуется слабым затуханием ударных волн вследствие малой сжимаемости водной среды. В результате подводного взрыва заряда ВВ возникает газовый пузырь, давление внутри которого значительно выше, чем в окружающей среде. Расширяясь, газы образуют в воде ударную волну.

При взрыве в воде, как и при взрыве в воздухе или другой среде, происходит детонация заряда. При детонации химическое превращение ВВ сопровождается распространением в нем ударной волны, вызванной воздействием начального импульса. Скорость детонации различных ВВ составляет от 1500 до 10000 м/с. ВВ, механизмом взрывного превращения которых является детонация, называются бризантными (см. табл. 9.1).

В Таблице 9.1 представлены основные характеристики водоустойчивых ВВ.

Таблица 9.1. Характеристика водоустойчивых взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, м/с	Бризантность, мм	Работоспособность, см ³
1	2	3	4	5
Тротил чешуированный	0.9	4000 - 4500	6 - 8	270 - 300
Тротил прессованный	1.5	5700 - 6000	22 - 24	270 - 300
Тротил гранулированный	1.55	5000 - 6000	23 - 25	270 - 300
Бездымный пироксилиновый порох	1.37			
Аммонит № 8 ЖВ	1.1	3600 - 4200	14 - 16	360 - 380
Аммонит № 7 ЖВ	1.05	3500 - 3900	13 - 15	350 - 370
Аммонит В-3 скальный	1.0	3600 - 4000	14 - 16	360 - 370
Аммонит № 1 ЖВ прессованный	1.5	6000 - 6500	23 - 27	450 - 480
Динафталит	1.05	3500 - 4500	15 - 16	320 - 360
Детонит 6А	1.1	4900 - 5200	-	-
Детонит 10А	1.1	5100 - 5400	16 - 20	420 - 450
Аммонал водоустойчивый	1.05	4000 - 4500	16 - 18	400 - 430
Динамит 62%	1.45	6000 - 7000	14 - 18	380 - 420

труднозамерзающий				
Победит ВП-2	1.2	3800 - 4300	11 - 18	320 -340

При взрыве бризантного ВВ по веществу во всех направлениях распространяется ударная волна, оставляя позади себя раскаленные газы при давлении $10^8 \div 10^{10}$ Па и температуре в несколько тысяч градусов. При достижении волной детонации границы между зарядом и водой, она переходит в воду, создавая интенсивную ударную волну. При подводном взрыве бризантного взрывчатого вещества давление в ударной волне нарастает практически мгновенно, достигая очень больших пиковых значений. Затем следует быстрый спад в течение времени, составляющего сотые доли миллисекунд. Если взрыв происходит на небольшой глубине, то возникающая ударная волна быстро достигает поверхности моря, что можно наблюдать в виде расходящегося на поверхности воды кольца. Кольцо представляет собой гладкий участок воды, который по сравнению с окружающей взволнованной поверхностью моря кажется более темным. Поэтому оно получило название черного кольца. Сразу после перемещения черного кольца начинается интенсивный выброс воды высоко вверх в виде узкого фонтана вследствие отражения ударной волны от поверхности моря. Характер образования, высота и форма фонтана зависят от типа взрывчатого вещества, глубины подрыва заряда и состояния поверхности моря в момент взрыва. Образование последующих выбросов фонтанирующей воды обусловлено выходом газового пузыря на поверхность моря. Для глубоководных взрывов выброс воды не наблюдается. Газовый пузырь разрушается раньше, чем он достигнет поверхности. Вместо фонтана в этом случае наблюдается кипящая пенистая вода, бьющая ключом.

Одним из основных параметров ударной волны является давление. После произведенного взрыва давление в некоторой произвольной точке пространства практически мгновенно нарастает до некоторого

максимального (пикового) значения p_m в момент прихода фронта ударной волны в эту точку.

Эмпирические зависимости максимального (пикового) давления в ударной волне p_m , Па и импульса силы давления I , Па \times с, приходящейся на единицу площади, от массы заряда ω , кг и расстояния от места взрыва R , м приведены ниже:

$$p_m = k_1 \left(\frac{R}{\omega^{1/3}} \right)^{n_1} \text{ и} \quad (18)$$

$$I = k_3 \omega^{1/3} \left(\frac{R}{\omega^{1/3}} \right)^{n_3}. \quad (19)$$

Коэффициенты k_1 , k_3 , а также показатели степеней n_1 , n_3 , установленные эмпирически разными авторами, приведены в таблице 9.2. Значения коэффициентов k_1 и k_3 получены при условии, что расстояние R измеряется в метрах, а масса ω – в килограммах.

На практике массу различных ВВ представляют тротильным эквивалентом $\omega_{\text{ЭКВ}}$. Тротильный эквивалент – это масса заряда α -тротила (симметричного), энергия которого равна энергии взятого заряда:

$$\omega_{\text{ЭКВ}} = \omega \frac{\eta}{\eta_{\text{тротила}}}, \quad (20)$$

где η – удельная теплота ВВ, $\eta_{\text{тротила}}$ – удельная теплота α -тротила (симметричного).

Таблица 9.2. Значения коэффициентов k_i и показателей степеней n_i в формулах для определения параметров ударных волн, полученные разными авторами

Автор	ВВ	p_m , Па		I, Па \times с	
		k_1	n_1	k_3	n_3
Коул		5.216×10^5	- 1.13	5760	- 0.89
Слифко и Фарлей		4.941×10^5	- 1.11	5320	- 0.87

Аронс	α -тротил	5.216×10^5	- 1.13	-	-
Христиан и Блейк		5.24×10^5	- 1.13	6650	- 0.94

9.2. Воздействие на человека избыточного давления во фронте ударной волны подводного взрыва

В общем случае действие взрыва распределяется в пространстве неравномерно, т.е. всякий взрыв является направленным. В силу этого параметры ударной волны в море будут зависеть от конфигурации ВВ. Однако в большинстве практически важных случаев выбирают взрывчатый заряд сферической формы.

На практике для расчета давления на фронте ударной волны в воде обычно применяют формулу американского ученого Р. Коула

$$\Delta P_{\phi} = 533 \left(\frac{m^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13}, \text{ кгс/см}^2 \quad (21)$$

Значение ΔP_{ϕ} , рассчитанное по формуле (21) для расстояний от взрыва до 40 м и массы тротилового заряда – 1 кг представлены в табл. 9.3.

Расчет максимального избыточного давления на фронте ударной волны в воде по формуле Р. Коула возможен для взрывов в свободном пространстве (на значительном удалении от свободной поверхности и поверхности дна), либо взрывов зарядов, расположенных на дне, когда распространяется полусферическая волна.

Таблица 9.3. Значения ΔP_{ϕ} на фронте ударной волны в воде

Расстояние, м	0,53	1,06	2,12	4,24	8,48	16,96	38,92
Значение ΔP_{ϕ} , кгс/см ²	1095	502	229	105	48	22	8,5

В последнем случае, при подстановке в формулу Р. Коула, массу заряда нужно увеличивать в два раза. Для ППОО, содержащих ВВ и расположенных на дне морских акваторий, при расчете избыточного

давления во фронте ударной волны в воде при их подрыве целесообразно формулу Р. Коула представить в следующем виде:

$$\Delta P_{\phi} = 533 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13}, \text{ кгс/см}^2$$

или:

$$\Delta P_{\phi} = 52234 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13}, \text{ кПа} \quad (22)$$

Результаты расчета по данной формуле избыточного давления во фронте ударной волны, возникающей в акватории в результате подрыва ВВ, размещенного на морском дне, на разных расстояниях от ППОО и для разных значений масс ВВ приведены в таблице 9.4.

Таблица 9.4. Значения избыточного давления во фронте ударной волны подводного взрыва по модифицированному уравнению Р. Коула (22)

Расстояние от центра взрыва – r, м	Значение ΔP_{ϕ} , кПа				
	10	28488,8	67817,4	161438,8	295996,5
100	2111,9	5027,4	11967,6	21942,5	
1000	156,6	372,7	887,2	1626,6	
2000	71,5	170,3	405,4	743,2	
10000	11,6	27,6	65,7	120,6	
Масса ВВ – m, кг	100	1000	10000	50000	

Человек в воде ощущает ударную волну как удар электрического тока при давлении во фронте ударной волны 0,2 - 0,3 кгс/см² (19,6 – 29,4) кПа. При давлении 1,5 кгс/см² (147 кПа) человек начинает ощущать болевое воздействие, особенно в брюшной полости.

Давление во фронте ударной волны 15 кгс/см² (1470 кПа) зачастую приводит к гибели человека, находящегося в воде в обычной одежде, особенно при ее полном намокании. Эта величина давления является опасной и для водолаза, находящегося в гидрозщитной одежде, а при давлении 20 - 30 кгс/см² (1960 – 2940) кПа поражения водолаза, не защищенного специальной одеждой, могут оказаться несовместимыми с

жизнью. Такие значения параметров ударной волны при воздействии на человека необходимо учитывать при расчёте зон действия поражающих факторов.

Таким образом, для расчёта смертельного поражения человека принимается значение $\Delta P_{\phi} = 1470$ кПа, для нанесения тяжёлого вреда здоровью значение $\Delta P_{\phi} = 147$ кПа

В таблице 9.4 значения ΔP_{ϕ} для различных масс ВВ и различных расстояний, выделенные **зеленым** цветом – безопасны для людей, находящихся в воде во время взрыва ВВ, **лиловым** цветом – опасные для здоровья человека и ΔP_{ϕ} , выделенные **красным** цветом – смертельные.

9.3. Оценка поражающего действия подводного взрыва на надводные корабли (суда)

Данный подраздел подготовлен по материалам Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины», представленных в отчете по НИР «Исследование и анализ подводных потенциально опасных объектов в северных морях Российской Федерации», С-Петербург, 2005.

Экспериментальные исследования показали, что при расстояниях между центром взрыва и бортом в 30 м или между центром взрыва и днищем более 50 м для зарядов до 700 кг, корпус корабля практически не получает остаточных деформаций.

При близких неконтактных (бортовых до 10 м, днищевых до 25 м) или контактных взрывах – упругие колебания корпуса могут являться причиной вторичных повреждений корабельных конструкций.

Большие силы инерции могут быть приложены к механизмам и приборам при общем перемещении корабля. За время действия подводного взрыва (для 500 кг тротила $\approx 0,02$ с) корабль набирает скорость до 3 м/с

(малые корабли). Ускорение его точек будет равно примерно 1500 м/с^2 ($\approx 15g$), что соизмеримо с амплитудами качки корабля.

Исследования и боевой опыт войны показали, что большие ускорения и деформации имеют место лишь вблизи от района непосредственно воздействия взрыва. В этих местах деформации являются пластическими, а ускорения достигают $2000\text{-}5000 g$ и более. Однако уже на расстоянии $10\text{-}12 \text{ м}$ и от центра взрыва заряда в 500 кг тротила остаточные деформации являются малыми, а ускорения падают до $(100\text{-}200) g$. На расстояниях в $50\text{-}60 \text{ м}$ от центра взрыва ускорения равны лишь $(1\text{-}10) g$.

По мере удаления центра взрыва от поверхности корабля степень повреждений уменьшается, а площадь борта, охваченного повреждениями такого типа, увеличивается.

Местные повреждения сменяются все более общими. Вместе с тем местные повреждения и при данном положении центра взрыва переходят в общие перемещения, общие деформации как пластические, так и упругие. При некотором, для заданного веса взрывчатых веществ, расстоянии между бортом или днищем и центром взрыва остаточные деформации не наблюдаются. Для донных взрывов эти расстояния обычно больше, чем для бортовых.

При удаленном неконтактном подводном взрыве скорость воды у борта или днища корабля весьма мала. Так, при заряде $G = 500 \text{ кг}$ (тротила), $R = 63 \text{ м}$, $P_{\max} = 90 \text{ кг/см}^2$. Как показывает опыт, при таких условиях наблюдаются только легкие вмятины в случае донного взрыва.

Опыты с подводной защитой корабля показали, что при не очень удаленном неконтактном подводном взрыве повреждения получаются большими, чем при контактном. Особенно эффективный взрыв имеет место при расстоянии между центром заряда и бортом, рассчитанным по формуле:

$$R_s = 0,35 \sqrt[3]{G}, \quad (23)$$

где: G – масса ВВ, кг, R_3 – расстояние до центра взрыва ВВ, м.

Энергия в единице объема корабля в данной его точке пропорциональна энергии, сообщенной ему при взрыве. При подводном взрыве происходит процесс распространения энергии заряда по жидкой среде и по конструкции корабля. При этом энергия в единице объема убывает пропорционально этому объему.

Энергия единицы объема пропорциональна энергии заряда, и, соответственно, весу заряда:

$$C_m = E/R_3 = G/R^3 \quad (24)$$

Коэффициент C_m является плотностью энергии, отнесенной к значению ее в точке на корпусе корабля на расстоянии 1 м от центра взрыва заряда $G = 1$ кг. C_m выражается в кг/м³.

Коэффициенты C_m при подрыве геометрически подобных зарядов из одинакового ВВ в одинаковой среде в соответственных точках одинаковы.

Для получения характерных значений C_m используются данные о повреждении кораблей подводным взрывом:

повреждения от бортовых подводных взрывов;

повреждения от донных подводных взрывов;

для подводных лодок.

В таблице 9.5 приведены опытные данные о повреждениях надводных кораблей подводными взрывами.

Наименьшее значения C_m , при которых корабли получают различные виды повреждений, обозначены через C_m^0 , при этом расстояние R от центра взрыва, на котором возможны различные поражающие эффекты, можно определить из формулы:

$$G = C_m^0 \times R^3 \quad (25)$$

Так, по данным, приведённым в, при $C_m^0 = 5,0$ повреждаются броневые переборки подводной защиты от мин для проекта 23, при $C_m^0 = 4,64$ наблюдаются повреждения второй переборки, при $C_m^0 = 2,8$ повреждается первая переборка и броневая, при $C_m^0 < 1,95$ – пробоина первой переборки, при $C_m^0 = 0,88$ – пробоина наружной обшивки и повреждение первой переборки, при $C_m^0 = 0,49$ – пробоина наружной обшивки и течь первой переборки, при $C_m^0 = 0,3$ – трещины наружной обшивки, при $C_m^0 = 0,15$ – пробоина в борту, при $C_m^0 = 0,09$ – водотечность наружной обшивки.

Таблица 9.5. Опытные данные о донных подрывах надводных кораблей

Корабль/ отсек	Оружие	Вес заряда, кг	Расстояние от центра взрыва до днища	Эффект	C_m , кг/м ³
1	2	3	4	5	6
Крейсер «Белфаст»	донная мина	450	25	Повреждено первое днище	0,029
Линейный корабль «Гейзенау»	донная мина	450	22	Пробоина первого днища	0,043
Тральщик «Тобрук»	бомба	125	1	Пробиты два днища	125
СКР 25	бомба	125	2	Пробиты два днища	15,6
УЩ «Фальк»	заряд	400	24	Вмятины и водотечь, прогиб на миделе от общего изгиба 650 мм	0,029
1	2	3	4	5	6
Транспорт «Урания»	заряд	400	14	Пробито первое днище, повреждено второе днище, которое в последствие сломается от общего изгиба	0,145
Транспорт	заряд	680	90	Сотрясение	0,00093
Транспорт	заряд	680	66	Мелкие вмятины	0,0023
Транспорт	заряд	680	46	Пробоины первого днища	0,007

Минный заградитель «Эдвенчер»	донная мина	450	45	Вмятина, водотечь	0,005
Крейсер «Киров»	донная мина	700	200	Пробито два днища	0,088
Крейсер «Червона Украина»	бомба	250	10	Пробито два днища	0,25
Линейный корабль «Нельсон»	донная мина	400	35	Пробоина первого днища	0,0033
Отсек линейного корабля «Хууд»	заряд	300	35	Вмятина, водотечь	0,057
Отсек линейного корабля «Хууд»	заряд	300	30	Большие вмятины и водотечь	0,0135
Отсек линейного корабля «Хууд»	заряд	300	85	Пробито первое днище и повреждено второе днище	0,0192
Отсек II	заряд	50	2	Три дна	6,25
ПЛ С-1	заряд	125	18,5	Пробит корпус, перелом	0,02
отсек	заряд	50	0,8	Пробиты два днища	78
отсек	заряд	50	2	Более сильные повреждения первого и второго днища	12,5

Исходя из указанного выше, в выражении (25) можно определить значение C_m^0 для каждого характерного повреждения корпуса надводного корабля в результате донного подрыва ВВ, массой G , кг, на расстоянии R , м от борта или днища корабля в соответствии с данными таблицы 9.6.

Таблица 9.6. Расчетные выражения для оценки повреждений надводных кораблей донными взрывам

Вид повреждений	Расчетное выражение
Повреждения бортов и переборок	
водотечность борта	$G = 0,09R^3$
пробоина в борту	$G = 0,05R^3$
пробоина в первой переборке	$G = 2,0R^3$
пробоина во второй переборке	$G = 4,6R^3$

повреждение броневой переборки корабля	$G = 6,0R^3$
Повреждения днищ	
вмятины и водотечность первого днища	$G = 0,005R^3$
пробоина в первом днище	$G = 0,009R^3$
пробоина во втором днище	$G = 0,09R^3$
пробоина в третьем днище	$G = 6,5R^3$

Перечень наиболее опасных ППОО на дне северных морей (территория Российской Федерации), не зарегистрированных в Реестре ППОО, представлен в таблице 9.7.

Приведенные в таблице данные эффективных радиусов поражения морских транспортных средств (надводных, подводных) в результате подрыва взрывчатого материала в трюмах затопленных кораблей показывают, что механические деструктивные эффекты на надводных и подводных кораблях наблюдаются на весьма незначительных расстояниях от места взрыва. Предельные значения эффективных радиусов поражения не превышают, в большинстве случаев, 40 метров при массе взрываемого ВВ 5 тонн.

Пример расчета расстояний для характерных повреждений элементов надводных кораблей от массы взрывчатого вещества при донных подводных взрывах приведен в приложении 3 к Методическим рекомендациям.

Таблица 9.7. Корабли и суда на дне северных морей Российской Федерации, обладающие повышенной взрывоопасностью

№ п/п	Наименование корабля (судна)	Координаты или район гибели	Тротиловый эквивалент, кг	Радиус поражения, м
1	2	3	4	5
1	Шаланда паровая «Териберка»	Мотовский Залив (губа Нерпичья)	5000	38
2	Эскадренный миноносец «Стремительный»	Екатерининская гавань (Полярный)	7420	44
3	Эскадренный миноносец «Матабеле» (английский)	Маяк Териберский (ш=69°21'; д = 35°27')	7420	44

4	Транспорт «Ижора»	ш = 72°35' д = 10°50'	5000	38
5	Транспорт «Рейсланд» (союзн.)	Баренцево море (ш = 72° 40'; д = 20°20')	5000	38
6	Транспорт «Харполайнен» (союзн.)	Баренцево море (ш = 72°21'; д = 28°26')	5000	38
1	2	3	4	5
7	Транспорт «Эмпайр Рейнджер» (союзн.)	Баренцево море (ш = 72°13'; д = 32 10')	5000	38
8	Транспорт «Эффингхэм» (союзн.)	Баренцево море (ш = 70 28; д = 35 44')	5000	38
9	Транспорт «Эмпайр Купер» (союзн.)	Баренцево море (ш = 71°01'; д = 36° 00')	5000	38
10	Транспорт «Циолковский».	Баренцево море (ш-71° 46'; д - 34°30')	5000	38
11	Крейсер «Эдинбург» (английский)	Баренцево море (ш = 72°31'; д = 37°31)	24915	65
12	Транспорт «Вишера»	Баренцево море (о. Нокуев)	5000	38
13	Транспорт «Крестьянин»	о. Новая Земля (о. Междушарский)	5000	38
14	Баржа «Ш»	Пролив Югорский Шар (о. Матвеев)	5000	38
15	Баржа «П-4»	Пролив Югорский Шар (о. Матвеев)	5000	38
16	Транспорт «Куйбышев»	Карское море (ш = 73°52'; д = 77°40',5)	5000	38
17	Транспорт «Кентукки» (американский)	В 15 милях Северо-Запад- нее мыса Канин Нос	5000	38
18	Эскадренный миноносец «Сомали» (союзн.)	о. Ян-Майен	7420	44
19	Транспорт «Щорс»	Пролив Югорский Шар	5000	38
20	Транспорт «Декабрист»	Баренцево море (ш = 75°30'; д = 27°10')	5000	38
21	Танкер «Донбас»	Баренцево море (ш = 76°24'; д = 41°30')		
22	Эскадренный миноносец «Сокрушительный»	Баренцево море (ш = 73°30'; д = 43 00')	7420	44
23	Миноносец «Ахатес» (английский)	Баренцево море (ш = 73°15'; д = 30°29')	7420	44
24	Транспорт «Тбилиси»	Енисейский залив (ш = 72°25'; д = 80°36')	5000	38
25	Транспорт «Диксон»	Карское море (ш = 75°43'; д = 89°38')	5000	38
26	Транспорт «Архангельск»	Карское море (ш = 76°51'; д = 92°29')	5000	38
27	Транспорт «С. Киров»	Карское море (ш = 75°48'; д = 83°52')	5000	38
1	2	3	4	6
28	Транспорт «Андров Кургин» (английский)	Баренцево море (ш = 73° 22'; д = 24°45')	5000	38
29	Большой охотник № 230	Териберка (ш = 69°29'; д = 35° 12)	7956	45
30	Большой охотник № 229	о. Кильдин (ш = 69°28'; д = 34° 19')	7956	45
31	ЭМ «Деятельный» (б. английский ЭМ «Черчилль»)	о. Большой Олений (ш = 69°04' д = 36°40')	7420	44
32	Корвет «Блюбелл» (английский)	Севернее Териберки (ш = 69°36'; д = 35°29')	7420	44
33	Большой охотник № 224	Кильдинский плес (ш = 69°21'; д = 33°38')	7956	45

34	Транспорт «Онега»	Мыс Цып-Наволоок (ш=69°41' д = 33°17')		
35	Транспорт «Марина Раскова»	Карское море (ш = 73°22'; д = 66°35')	5000	38
36	Транспорт «Пенелоп Баркер» (английский)	Баренцево море (ш = 73°22; д = 22°30')	5000	38
37	Танкер	Порсангер-фьорд (ш.=70°30', д.=30°58'))		
1	2	3	4	5
38	Подводная лодка	м. Святой Нос (ш. = 68°15', д. = 40°36')		
39	Транспорт	ш.=70°35'; д.=31°00'	5000	38
40	Минный заградитель	Лоппское море (ш.=70°27', д.=21°39')	8915–40355	46-77

9.4. Оценка сейсмического воздействия подводного взрыва на здания и сооружения, расположенные в береговой зоне

Как побочное действие подводного взрыва рассмотрим сейсмическое воздействие на береговые объекты. Исходными данными для расчета являются координаты эпицентра очага взрыва, количество ВВ в эпицентре, тип грунтов в возможной области сейсмического воздействия, координаты и типы зданий в береговой зоне и их текущее техническое состояние. Текущее техническое состояние зданий определяется по результатам обследования.

1. Определить безопасное расстояние R_s по сейсмическому воздействию.

$$R_s = K_s \times K_z \sqrt[3]{m}, \text{ где}$$

K_s – коэффициент, учитывающий тип грунтов, для водонасыщенных грунтов $K_s = 25$;

K_z – коэффициент, учитывающий тип зданий (см. табл. 9,8);

m – вес заряда в кг.

Таблица 9.8. Коэффициенты, учитывающие тип зданий и сооружений

№ п/п	Тип зданий, сооружений	K_z
1.	Промышленные со стальным и ж/б каркасом	1,0
2.	2-3-этажные здания кирпичные	1,5
3.	Одноэтажные жилые здания	2,0

2. Если безопасное расстояние превышает расстояние до зданий, то необходимо определить скорость грунтов V_s (см/с) в основании зданий и характер возможных повреждений, см. таблицу 9.9.

$$V_s = 375 \times \sqrt[2]{m/R}^{1.5}, \text{ где}$$

R – расстояние до объекта, м;

Таблица 9.9. Характер повреждений в зависимости от скорости грунтов

№ п/п	Характер повреждений	Допустимая скорость, см/с
1.	Дребезжание стекол	0,8-1,5
2.	Повреждение побелки	1,5-3
3.	Повреждение штукатурки и аварийных зданий	3-6
4.	Повреждение ограниченно работоспособных зданий	6-12
5.	Повреждения работоспособных зданий в виде трещин в несущих конструкциях и стенах, больших трещин в перегородках, падения труб, обвалов штукатурки	12-24
6.	Повреждения работоспособных зданий в виде тяжелых повреждений с частичными обвалами	24-48
7.	Повреждения работоспособных зданий в виде полных обвалов	Более 48

10. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ППОО

Для ППОО, содержащих нефть и нефтепродукты (НиНП), возникновение ЧС определяется исходя из общей массы нефти и нефтепродуктов, участвующих в разливе. Отнесение массы разлитой нефти и нефтепродуктов к ЧС определяется в соответствии с таблицей 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям.

При расчёте параметров разлива нефти и нефтепродуктов из ППОО необходимо принять допущение, что вся нефть, участвующая в разливе, после разрушения защитных оболочек под действием архимедовой силы всплывёт на поверхность с дальнейшей трансформацией нефтяного пятна в

водной среде. Предлагаемая модель расчёта параметров распространения нефти и нефтепродуктов рассматривает разливы на морских акваториях и не рассматривает распространение НиНП во внутренних водотоках (реках).

При выходе нефти и нефтепродуктов из ППОО последующее растекание пятна по водной поверхности приводит к увеличению площади загрязнения с одновременным уменьшением его толщины.

Растекание НиНП является результатом совокупного действия гравитационных сил, а также сил вязкости и поверхностного натяжения.

В зависимости от баланса сил, определяющих растекание нефтяной пленки, выделяются три последовательных фазы растекания:

а) гравитационно-инерционная (баланс горизонтального градиента давления и сил инерции);

б) гравитационно-вязкая (баланс горизонтального градиента давления и сил вязкости);

в) поверхностного натяжения (баланс сил вязкости и поверхностного натяжения).

С уменьшением толщины слоя НиНП важными в балансе сил становятся силы вязкости и поверхностного натяжения. Эти силы зависят от свойств нефти, которые в процессе растекания могут существенно меняться, так как вследствие испарения и растворения в воде плотность нефти и ее вязкость обычно возрастают.

В результате этого наступает момент, когда поверхностное натяжение меняет знак и растекание нефтяного пятна под действием поверхностного натяжения прекращается. В дальнейшем пятно увеличивается в размерах под действием сил движущейся водной массы.

Согласно радиус пленки при гравитационно-вязком режиме растекания пятна определяется по формуле:

$$R_{\text{н}} = 1,45 (\lambda g V_{\text{н}}^2 t^{3/2} \nu^{-1/2})^{1/6}, \text{ м,}$$

где $\lambda = (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}})/\rho_{\text{в}}$ – относительная разность плотностей воды $\rho_{\text{в}}$ и нефти $\rho_{\text{н}}$;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$V_{\text{н}}$ – объем нефти, м^3 ;

t – время с момента пролива нефти, с.

ν – кинематический коэффициент вязкости воды, $\text{м}^2/\text{с}$.

$\rho_{\text{н}}$ – плотность жидкого нефтепродукта, кг/м^3 .

Таблица кинематических коэффициентов вязкости воды представлена на рисунке 10.1.

$t^{\circ}\text{C}$	$t^{\circ}\text{C}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,793	1,732	1,675	1,621	1,569	1,520	1,474	1,429	1,387	1,347
10	1,308	1,272	1,237	1,203	1,171	1,1401	1,1107	1,0825	1,0554	1,0294
20	1,0045	0,9905	0,9574	0,9353	0,9139	0,8934	0,8736	0,8545	0,8361	0,8184
30	0,8012	0,7847	0,7687	0,7533	0,7383	0,7239	0,7099	0,6964	0,6833	0,6706
40	0,6583	0,6464	0,6348	0,6236	0,6127	0,6022	0,5919	0,5820	0,5723	0,5629

Рисунок 10.1. Кинематические коэффициенты вязкости воды при различных температурах, $\nu \times 10^6$, $\text{м}^2/\text{с}$

Дрейф нефтяной пленки по водной поверхности определяется суммарным эффектом действия поверхностного волнения и ветра. На основе наблюдений за малыми объемами разлитой нефти отмечается, что турбулентная диффузия для пленочных образований практически не имеет существенного значения.

Таким образом, имея допущение идеализированного растекания плавучего и нерастворимого химического соединения в спокойной воде, можно говорить о площади нефтяного пятна исходя из полученного радиуса $R_{\text{н}}$.

Для определения площади пятна принимаем условно, что площадь пятна будет стремиться к площади круга:

$$S_{\text{н}} = \pi R_{\text{н}}^2, \text{ м}^2.$$

Скорость перемещения нефтяного пятна по поверхности воды под действием ветра можно определить по эмпирическому выражению:

$$v_H = 0,05 \times v_{\text{вет}},$$

где $v_{\text{вет}}$ - скорость ветра м/с.

Для расчёта объёма ёмкостей, необходимых для сбора нефти и нефтепродуктов, нужно учитывать процесс эмульгирования нефти. Объём собираемой водонефтяной эмульсии будет больше, чем объём нефти и нефтепродуктов, участвующих в разливе. Объём эмульсии рекомендуется рассчитывать с допущением, что весь объём нефти и нефтепродуктов, участвующих в разливе, эмульгируется с содержанием воды - 80% в объёме нефти:

$$V_{\text{емк}} = 1,8V_H.$$

ОБЩАЯ СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ППОО



КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ ОПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ В АКВАТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ППОО К ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Таблица 2-1. Критерии отнесения опасной обстановки в акватории размещения ППОО к ЧС

№	Вид опасности ППОО	Наименование источника чрезвычайной ситуации	Критерий отнесения к ЧС	Ссылка на документ
21.	Химическая	Аварии с выбросом, сбросом опасных химических веществ при производстве, переработке или хранении (захоронении, в том числе в водном объекте)	1. Разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемый взрыв и (или) выброс, сброс опасных химических веществ, в результате которого: погиб 1 человек и более; или получили вред здоровью 5 человек и более; или произошло разовое загрязнение почвы с превышением ПДК в 5 раз и более; или произошло разовое превышение ПДК опасного химического вещества в водном объекте: 1-2 класса опасности в 5 раз и более; 3-4 класса опасности в 50 раз и более.	п. 1.4.2 ¹
		Аварии с боевыми отравляющими веществами	Любой факт аварии	п. 1.4.3 ¹
32.	Взрывоопасность	Обнаружение (взрыв) взрывоопасного предмета	2. Взрыв взрывоопасного предмета (авиационная бомба, артиллерийский боеприпас, мина, фугас, граната, тротиловая шашка, взрывчатые материалы промышленного назначения), в результате которого: погиб 1 человек и более; или получили вред здоровью 5 человек и более; или имеются разрушения зданий и сооружений; или нарушены условия жизнедеятельности 50 человек и более.	п. 1.2.7 ¹
43.	Опасность разлива	Аварии с разливом	2. Загрязнение водного объекта (внутренние морские воды,	1.5.1 ¹

	нефти и нефтепродуктов	(выбросом) нефти (нефтепродуктов) на объектах геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья, а также для переработки, производства, транспортировки, хранения, реализации углеводородного сырья и произведенной из него продукции.	территориальное море, прилежащая и исключительная экономическая зона Российской Федерации, а также поверхностные и подземные водные объекты) нефтью (нефтепродуктами) в объеме 1 т и более. 3. Загрязнение водного объекта источника питьевого водоснабжения в границах 1 и (или) 2 и (или) 3 поясов зоны санитарной охраны ² .	
--	------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

¹⁾ – приказ МЧС России от 5 июля 2021 года № 429 «Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 16.09.2021 г., регистрационный № 65025) (Приведена нумерация приказа).

Таблица 2-2. Масштабы ЧС на ППОО

Масштаб ЧС	Критерий масштаба ЧС*	
	Поражение людей	Материальный ущерб, руб.
Локальная*	Погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет не более 10 человек	Не более 240 тыс.
Муниципальная*	Погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет не более 50 человек	От 240 тыс. до 12 млн.
Межмуниципальная*	Погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет не более 50 человек	
Региональная*	Погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек	От 12 млн. рублей, но не более 1,2 млрд.
Федеральная*	Погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет свыше 500 человек	Свыше 1,2 млрд.

Примечание:

*Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ НЕКОТОРЫХ ППОО

Пример 1. Расчет параметров процесса распространения ОВ из ППОО с ОХВ при залповом выбросе в условиях «глубокое море»

Этап: Планирование и организация оценки опасности ППОО

Оценка опасности проводится с целью установления зон действия поражающих факторов, в границах которых возможно возникновение ЧС в акватории с размещением ППОО. Рассмотренный пример показывает работу математического аппарата для условий «глубокое море» и не привязан к конкретному объекту.

В качестве источника заражения рассматривается гипотетический затопленный объект в виде бочки с ипритом.

Этап: Идентификация опасностей ППОО

Вид ОВ согласно приложению №1 приказа МЧС России от 27 февраля 2003 г. № 98 – высокотоксичное вещество, загрязняющее вещество. Согласно Реестру ППОО вид опасности – химическая.

Затопленный объект представляет из себя сферическую емкость, в которой содержится 100 кг иприта. Глубина залегания ППОО - 650 м.

Разделение объекта на составные части не требуется.

В качестве наиболее опасного сценария рассмотрим залповый выброс ОВ ППОО при условии полного разрушения его ЗО, распространение ОВ по акватории размещения ППОО.

Этап: Оценка опасности ППОО

В качестве объекта воздействия определяем акваторию размещения ППОО и акваторию моря вокруг ППОО, в границах которой происходит распространение ОХВ. Акватория Карского моря является Западно-Сибирским рыбопромысловым бассейном и наступление опасного

сценария может повлечь за собой ущерб рыбопромысловой отрасли. В настоящий момент не известны границы зон нефте-газодобычи, на которые может оказать влияние реализация опасного сценария на ППОО.

Критерием опасности ППОО будем считать возможность создания в акватории размещения ППОО ситуации, когда концентрация ОВ будет превышать значение его ПДК в морской воде в 100 и в 5 раз, а зоны акваторий с такими значениями концентраций ОВ пересекаются с зонами хозяйственной деятельности человека в рассматриваемой акватории.

Значение ПДК согласно ГН 2.1.5.2561-09 для 2,2"-дихлорди тиосульфида (иприта) и ипритно-люизитной смеси в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования районов размещения объектов хранения и уничтожения химического оружия составляет 2×10^{-7} кг/м³.

Распространение иприта будет происходить в акватории по модели диффузионного переноса, влияние течений не учитывается.

Для оценки площади поверхности раздела сред ($S_{\Pi i}$ в законе А. Фика), через которую осуществляется диффузионный массоперенос, оценим общий объём иприта в захоронении из массы (100 кг) и плотности иприта, равной 1280 кг/м³.

$$V = m/\rho = 100/1280 = 0,08 \text{ м}^3.$$

Затем рассчитаем радиус сферы, в которой размещен иприт:

$$R = \sqrt[3]{(3/4) * (V/\pi)} = 0,29 \text{ м}.$$

Далее найдём площадь поверхности сферы: $S = 4\pi R^2 = 1,05 \text{ м}^2$.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для расчётов в таблицу 1.

Для выбора модели распространения иприта рассчитаем коэффициент H_h .

$$H_h = 0,48 \frac{M_{0ij}}{h_*^3 \text{ПДК}_j} = 0,48 \times \frac{100}{650^3 \times 2 \times 10^{-7}} = 0,87.$$

Получаем $N_h < 1$, поэтому применяем алгоритм расчета распространения опасных веществ для условия «глубокое море».

По формуле (2) подраздела 8.1 Методических рекомендаций определяем радиус полусферы R_k , внутри которой за время t_k сформировалась равновесная концентрация иприта, равная ПДК.

$$R_k = 0.78 \left(\frac{M_{0j}}{\text{ПДК}_j} \right)^{1/3} = 0.78 \left(\frac{100}{2 \times 10^{-7}} \right)^{1/3} \approx 619 \text{ (м)}.$$

Таблица 1. Исходные данные для расчёта

1.	Объект (рег. номер в Реестре ППОО)	Не известно	
2.	Вид опасности	Химическая	
3.	Место затопления, год затопления	Не известно	
4.	Глубина затопления, м	650	h_*
5.	Количество ОХВ, кг	100 (иприт)	M_{0ij}
6.	Объём ОХВ в захоронении, м ³	0,07	
7.	Площадь поверхности, м ²	1,05	$S_{\text{ни}}$
8.	Концентрация иприта, кг/м ³	1280	C_{j0}
9.	ПДК иприта в морской воде, кг/м ³	2×10^{-7}	ПДК _j
10.	Коэффициент молекулярной диффузии иприта в морской воде, м ² /с	$2,86 \times 10^{-4}$	K_j

Аналогично определяем расстояния от ППОО, на которых формируются значения концентраций иприта в размере 5 и 50 ПДК. Результат расчета помещен в таблицу 2.

Площадь акватории, загрязненной ипритом, согласно выражению (5) подраздела 8.1 Методических рекомендаций, составит:

$$S_k = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3h_* \text{ПДК}_j} = \frac{3 \times 100 + 3.14 \times 650^3 \times 2 \times 10^{-7}}{3 \times 650 \times 2 \times 10^{-7}} = 1.2 \times 10^6 \text{ м}^2$$

Время установления равновесного состояния по концентрации иприта в объеме воды, ограниченном полусферой с радиусом R_k , в условиях «глубокое море» определяем по выражению (3) подраздела 8.1 Методических рекомендаций:

$$t_k = \frac{0.78(M_{0j})^{\frac{4}{3}}}{K_j S_{\text{пов.}i} (C_{j0} - \text{ПДК}_j) \times (\text{ПДК}_j)^{\frac{1}{3}}} =$$

$$= \frac{0.78 \times (100)^{\frac{4}{3}}}{2,86 \times 10^{-4} \times 1,05 \times (1280 - 2 \times 10^{-7}) \times (2 \times 10^{-7})^{\frac{1}{3}}} \approx$$

$$\approx 1,6 \times 10^5 (\text{с}) (\approx 44,4 \text{ часа})$$

Таблица 2. Результаты расчёта параметров зон заражения с превышением ПДК иприта при залповом выбросе

№ п.п.	Превышение ПДК	R _к , м	S _к , м ²	t _к , час
1.	1 ПДК	619	1.2 × 10 ⁶	44.7
2.	5 ПДК	362	4.1 × 10 ⁵	26.2
3.	50 ПДК	266,8	2.8 × 10 ⁴	19,4

Для наглядности нанесём результаты расчётов на схему, изображённой на рисунке 1.

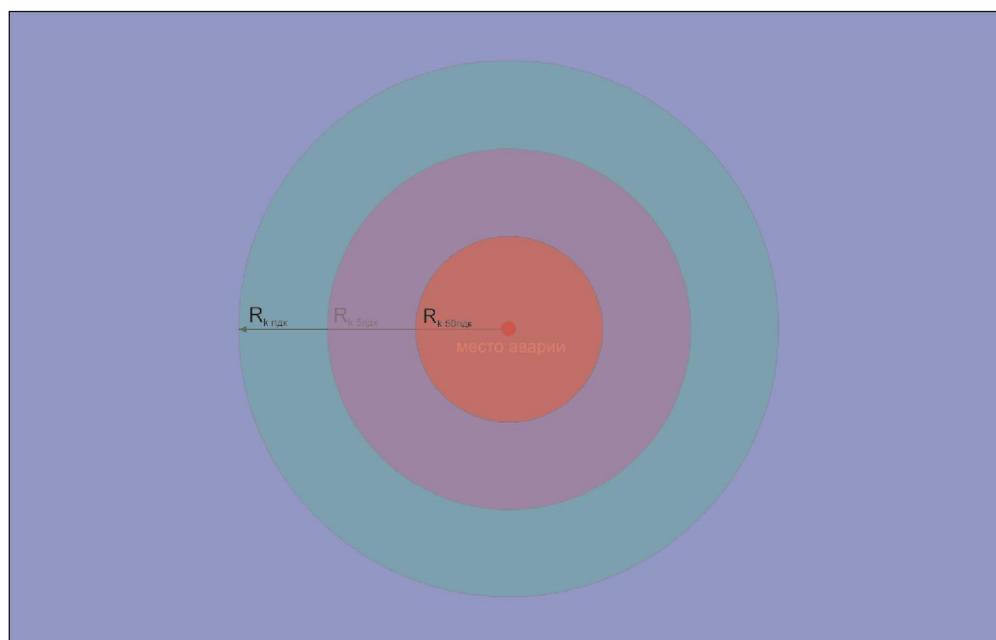


Рисунок 1. Изображение расчётных зон распространения иприта

На рисунке 1 представлены зоны заражения ипритом акватории в районе захоронения ППОО. Для 50-кратного превышения ПДК (красный)

– 266,8 м, для 5-ти кратного превышения ПДК (фиолетовый) – 362 м и в момент достижения концентрации значений ПДК в воде (зеленый) – 266,8 м.

Этап: Установление опасности ППОО

Оценка масштабов ЧС:

Согласно таблице 2-1 Методических рекомендаций, аварии с боевыми отравляющими веществами являются чрезвычайной ситуацией.

Из представленных в таблице 2 расчётов гипотетического залпового выброса 100 кг иприта на глубине 650 м понятно, что зоной ЧС можно считать акваторию с превышением ПДК в 50 и в 5 раз с радиусом 362 и 266,8 метра, соответственно. Однако зоны с таким превышением ПДК не достигнут поверхности моря. На поверхности моря значения концентраций опасных веществ не превысят ПДК, что не будет представлять опасности воздействия на какие-либо объекты, которые могут появиться в акватории. Масштаб ЧС определить невозможно.

Пример 2. Расчет параметров процесса распространения ОВ из взрывоопасного ППОО с ОХВ при залповом выбросе в условиях «глубокое море» при наличии морских течений

Проведём оценку опасности ППОО для объекта БП-2 (Регистрационный номер в Реестре ППОО № 0002.00001. Белое море. Архангельская область)

Пример оценки опасности комплексного захоронения боеприпасов БП-2

Этап: Планирование и организация оценки опасности ППОО

Оценка опасности проводится с целью установления зон действия поражающих факторов, в границах которых возможно возникновение ЧС в акватории с комплексным захоронением боеприпасов БП-2 в Белом море.

ППОО - Комплексное захоронение боеприпасов БП-2. Затоплено в Белом море в 1954-1961 гг.

Согласно информации, приведённой на сайте [1], можно взять направление течения в акватории размещения объекта с севера на юг (юг-юго-запад). Скорость подводных течений в районе затопления ППОО составляет от 0.2 до 0.6 уз. (0.1 – 0.3 м/с).

Количество опасных веществ, содержащихся на ППОО (взрывоопасные вещества и боевые отравляющие вещества), не является достоверным и подтверждённым, а применяется только для проверки методики.

Этап: Идентификация опасностей ППОО

Вид опасности согласно Реестру ППОО – химическая, взрывоопасность.

Очевидно, что исходных данных для расчета опасности ППОО, указанных в реестровой книге для ППОО за номером № 0002.00001, недостаточно. Для расчетов параметров распространения отравляющих

веществ в акватории затопления ППОО необходим минимум исходных данных: количество ОВ, глубина затопления, расстояние до береговой линии и параметры подводных течений (скорость, направление).

Из открытых источников (в основном, из Internet) известно, что в СССР в послевоенные годы (после Великой Отечественной войны) проводили затопление трофейного химического оружия как в Балтийском, так и в Белом море. Достоверно известно, что основное боевое отравляющее вещество (БОВ), затопленное в Балтике, - иприт. Это стойкое БОВ кожно-нарывного и общетоксического действия. В серном иприте (дихлордиэтилсульфиде) в присутствии влаги, наряду с гидролизом, происходит образование димеров и более сложных продуктов. Один из обычных продуктов этой смеси вдвое, а другой (полуторный иприт, так называемый, агент Q) – впятеро токсичнее самого иприта. Очень плохо гидролизуется. Способен к кумулированию. Ферментный яд. Обладает канцерогенным и мутагенным действием. Противоядий нет [2].

Одно из соединений, образующееся в результате гидролиза – тиодигликоль – является сильным токсикантом, хорошо растворим в воде, и характеризуется значительной скоростью миграции в объектах окружающей среды.

Азотистые иприты при взаимодействии с водой образуют промежуточные вещества, не уступающие по токсичности исходным.

Иприт может сохранять свои токсические свойства несколько десятилетий.

Известно [2], что в Балтийском море химическое оружие доставлялось в следующие выбранные районы затопления с глубинами 100-105 м:

в районе Борнхольмской впадины;

район в 65-70 милях юго-западнее Лиепай (56°13', 18°54'), где было затоплено 0,958 тыс. т ОВ (примерно 5 тыс. т боеприпасов);

в районе в 14 милях к востоку от о. Христиансё (недалеко от о. Борнхольм, 55°20', 15°37'), где было затоплено 11,077 тыс. т ОВ (около 30 тыс. т боеприпасов).

Для проведения расчётов можно допустить, что комплексное захоронение боеприпасов БП-2 содержит химические авиационные бомбы типа ХАБ-500 ДД, которые начинялись ипритно-люизитными смесями [3]. Оснащали авиабомбы ХАБ-500 разрывными зарядами летнего и зимнего типа. Последний был более мощным и увеличенным на 1 шашку. Следовательно, принимаем количество ВВ в бомбе равной $m=2$ кг в тротиловом эквиваленте. Количество ипритно-люизитной смеси в авиабомбе для расчётов примем равным 100 кг, согласно [3]. Количество авиабомб ФАБ-500 примем равным 2000 шт. Глубина захоронения определяется как среднее между значениями глубин, указанных в Реестре ППОО и равно 225 м.

Ввиду того, что на ППОО присутствует как тротил, так и ипритно-люизитная смесь, целесообразно рассматривать действие каждого ОВ отдельно, в соответствии с подразделом 6.4 Методических рекомендаций.

Исходя из приведенной выше информации, можно предположить возможность реализации следующего опасного сценария развития ситуации на анализируемом ППОО. В результате инициирующего явления произошёл взрыв всей массы ВВ в составе авиабомб ХАБ-500 на комплексном захоронении в Белом море (район № 120 стр. 60 Реестра ППОО, 2019 г.) и распространение ударной волны в акватории с дальнейшим высвобождением ипритно-люизитной смеси и распространением химических веществ. Примем последовательность событий как Сценарий-1 и следующий за ним - Сценарий-2. Дальнейшие расчёты будут производиться исходя из допущения, что Сценарий-2 является только следствием Сценария-1, но один сценарий никак не влияет на другой, и рассматриваются последовательно и независимо друг от друга.

Сценарий-1

Взрыв всего ВВ на ППОО с распространением ударной волны от взрыва и воздействие на человека, суда и объекты инфраструктуры.

Сценарий-2

В качестве наиболее опасного сценария рассмотрим залповый выброс ОВ ППОО при условии полного разрушения его ЗО в результате мгновенного взрыва всего количества ВВ на рассматриваемом ППОО и распространение ОВ по акватории размещения ППОО.

Этап: Оценка опасности ППОО

На этапе оценки опасности будем рассматривать каждый сценарий отдельно при условии, что сценарий-2 происходит после реализации сценария-1.

Оценка опасности по сценарию 1

Объектами воздействия определяются люди, находящиеся в воде, а также суда и объекты инфраструктуры, находящиеся в воде. Расстояние до ближайшего берега от места затопления (согласно Реестру ППОО) составляет 60 км. Расстояние до ближайшего объекта инфраструктуры - населённый пункт Рабочеостровск 107 км.

В качестве критерия возникновения ЧС в результате взрыва в акватории принимаем показатели, характеризующие смертельные поражения людей, причинение ущерба здоровью, а также разрушение и повреждение конструкций и судов.

В качестве показателей поражения человека, согласно подразделу 9.2 Методических рекомендаций, принимаем давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\phi}=1470$ кПа – для смертельного поражения, и $\Delta P_{\phi}=147$ кПа – для нанесения вреда здоровью.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для проведения расчётов в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчетов

1.	Объект (рег. номер в Реестре ППОО)	Комплексное захоронение боеприпасов БП-2 (Регистрационный номер в Реестре ППОО № 0002.00001)	Обозначение
2.	Вид опасности	Взрывоопасность	
3.	Место затопления, год затопления	Белое море, 1954-1961 гг.	
4.	Глубина затопления, м	225	h_*
5.	Вид ВВ	Тротил	
6.	Масса ВВ, т.	2	m
7.	Расстояние до ближайшего берега, м	60000	r_1
8.	Расстояние до ближайших объектов инфраструктуры (населённый пункт Рабочеостровск в Кемской губе), м	107000	r_2

Рассчитаем зоны действия поражающих факторов для Сценария-1

По формуле (22) раздела 9 Методических рекомендаций рассчитаем избыточное давление во фронте ударной волны подводного взрыва на расстоянии $r_1 = 60000$ м (до ближайшего берега):

$$\Delta P_{\phi} = 533 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13} = 533 \times \left(\frac{(2 \times 2 \times 10^3)^{1/3}}{60000} \right)^{1,13} = 4,73 \text{ кПа}$$

Согласно данным таблицы 9.4 раздела 9 Методики такие избыточные давления не опасны для здоровья человека, находящегося в воде $\Delta P_{\phi} < 147$ кПа.

Без расчётов становится ясно, что ударная волна от взрыва затухнет до достижения населённого пункта Рабочеостровск.

Аналогично рассчитаем зоны действия избыточного давления во фронте ударной волны для нанесения вреда здоровью и смерти человека ($\Delta P_{\phi}=1470$ кПа - для смертельного поражения, и $\Delta P_{\phi}=147$ кПа для нанесения вреда здоровью, соответственно).

Для $\Delta P_{\phi}=1470$ кПа радиус воздействия поражающего фактора ударной волны будет равен 374 метров. Для $\Delta P_{\phi}=147$ кПа радиус воздействия поражающего фактора ударной волны будет равен 2870 метров.

Рассчитаем по выражениям таблицы 9.6 раздела 9 Методически рекомендаций размер повреждений судов при донном взрыве затопленных ВВ.

Повреждения днищ судов возможны следующие:

вмятины и водотечность первого днища на расстоянии от ВВ до 76,68 м;

водотечность борта на расстоянии от ВВ до 34.5 м.

Из расчётов зон поражения от ударной волны становится ясно, что при глубине залегания в суда не получают значительных повреждений.

Оценка опасности по сценарию 2

В качестве объекта воздействия определяем акваторию размещения ППОО и акваторию Белого моря, в границах которой происходит распространение иприта. Акватория Белого моря является Западно-Сибирским рыбопромысловым бассейном и наступление опасного сценария может повлечь за собой ущерб рыбопромысловой отрасли.

Критерием воздействия ОВ является превышение ПДК в соответствии с таблицей 2-1 приложения 2 к Методическим рекомендациям. Необходимо рассчитать зоны с превышением ПДК в 5 раз (5 ПДК и в 50 раз (50 ПДК) для разового превышения.

Значение ПДК, согласно ГН 2.1.5.2561-09, 2,2-дихлордиэтилсульфида (иприта) и ипритно-люизитной смеси в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования районов размещения объектов хранения и уничтожения химического оружия составляет 2×10^{-7} кг/м³.

При наличии течений оценку параметров процесса распространения ОВ из ППОО при залповом выбросе необходимо проводить по выражениям 15 – 17 подраздела 8.5 Методических рекомендаций для условий распространения иприта из химических авиабомб, лишенных своих ЗО в условиях наличия течений.

При распространении иприта в воде происходит его гидролиз, в результате образуется хорошо растворимый тиодигликоль, характеризующийся значительной скоростью миграции. Коэффициент диффузии данного вещества в морской воде согласно результатам исследований, приведенным в работе [4] на странице 93 в таблице 2.1, значения горизонтальных коэффициентов диффузии по данным опытов в Балтийском море составляют $D_x = 2.68 \text{ м}^2/\text{с}$; вертикальной – $D_y = 0.106 \text{ м}^2/\text{с}$.

Скорость подводного течения в районе затопления ППОО составляет от 0.2 до 0.6 уз. (0.1 – 0.3 м/с).

Для оценки площади поверхности раздела сред ($S_{\text{пи}}$ в законе А. Фика), через которую осуществляется диффузионный массоперенос, оценим общий объём иприта в захоронении из массы ($2 \times 10^5 \text{ кг}$) и плотности иприта, равной 1280 кг/м^3 .

$$V = m/\rho = 2 \times 10^5 / 1280 = 156,25 \text{ м}^3.$$

Затем рассчитаем радиус сферы, в которой размещен иприт.

Площадь поверхности иприта вычислим из объёма сферы:

$$V = 4/3 \times \pi \times R^3, \text{ выразим радиус: } R = \sqrt[3]{(3/4) \times (V/\pi)} = 3,4 \text{ м}.$$

Далее найдём площадь поверхности сферы: $S = 4 \pi \times R^2 = 145 \text{ м}^2$.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для расчётов в таблицу 2.

Таблица 2. Исходные данные для расчета распространения ОХВ

№ п/п	Объект (регистрационный номер в Реестре ППОО)	Комплексное захоронение боеприпасов БП-2 (регистрационный номер в Реестре ППОО № 0002.00001)	Обозначения
1	2	3	4
1.	Вид опасности	Химическая	
2.	Место затопления, год затопления	Белое море, 1954-1961 гг.	
3.	Глубина затопления, м	225	h^*
4.	Количество ОХВ, кг	2×10^5 (иприт)	M_{0ij}
5.	Объём ОХВ в захоронении, м^3	$\sim 156,25$	
6.	Площадь поверхности, м^2	145	$S_{\text{пи}}$
7.	Концентрация иприта, кг/м^3	1282,05	C_{j0}

1	2	3	4
8.	ПДК иприта в морской воде, кг/м ³	2×10^{-7}	ПДК _j
9.	Коэффициент молекулярной диффузии иприта в морской воде, м ² /с	2.86×10^{-3}	K _j
10.	Скорость течения, м/с	0,3	ϑ _T

В соответствии с подразделом 8.5 Методических рекомендаций рассчитаем расстояние R_x , на которое иприт распространится по акватории при условии залпового его выброса из химических авиабомб и распространения с течением, и при условии, что удельная концентрация в месте нахождения контейнеров снизится до значений ПДК для иприта в воде.

$$R_k = \left[\frac{6M_{j0}^3 \vartheta_T^2}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 \text{ПДК}_j (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2} \right]^{1/3} =$$

$$= \left[\frac{6 \times 8 \times 10^{15} \times 0.3^2}{3.14 \times 2.86^2 \times 10^{-6} \times (145)^2 \times 2 \times 10^{-7} (1.282 \times 10^3 - 2 \times 10^{-7})^2} \right]^{1/3} = 62,434 \times 10^3 \text{ м} \approx 62,5 \text{ км}$$

Площадь дна акватории, загрязненной j -ым опасным веществом из i -ого ППОО, составляет величину:

$$S_k = \left[\frac{36M_{j0}^3 \vartheta_T}{\pi^2 K_j S_{ni}^2 \text{ПДК}_j^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right]^{1/3} = \left[\frac{36 \times 8 \times 10^{15} \times 0.3}{3.14^2 \times 2.68 \times 10^{-6} \times 145 \times (2 \times 10^{-7})^2 \times (1.282 \times 10^3 - 2 \times 10^{-7})} \right]^{1/3} =$$

$$= 31795192 \text{ м}^2 \text{ или } \approx 31,8 \text{ км}^2.$$

Значение t_k – времени установления концентрации j -ого вещества в размере ПДК_j в месте расположения аварийного i -ого ППОО можно представить следующим образом:

$$t_k = \left[\frac{6M_{j0}^3}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 \text{ПДК}_j^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \vartheta_T} \right]^{1/3} = \left[\frac{6 \times 2 \times 10^{15}}{3.14 \times 2.68^2 \times (145)^2 \times 2 \times 10^{-7} (1.282 \times 10^3 - 2 \times 10^{-7})^2 \times 0.3} \right]^{1/3} =$$

$$= 208116 \text{ с или } 57,8 \text{ часа.}$$

Аналогично рассчитаем площадь зон, максимальное расстояние и время, в течение которого иприт распространятся по акватории при залповом выбросе и при условии, что концентрация в месте нахождения

ППОО снизится с течением времени до значений 5 ПДК и 50 ПДК в морской воде соответственно. Результаты расчёта представим в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчёта параметров зон заражения с превышением ПДК иприта при залповом выбросе

№ п.п.	Превышение ПДК иприта	R_k , км	S_k , км ²	t_k , часа
1.	ПДК	62,5	31,8	57,8
2.	5 ПДК	36,5	10,8	33,8
3.	50 ПДК	16,9	2,3	15,7

Нанесём рассчитанные зоны превышения ПДК на схему без привязки к местности. Результаты представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Изображение расчётных зон распространения иприта

На рисунке 1 представлены зоны заражения ипритом акватории Белого моря в районе комплексного захоронения боеприпасов БП-2. Для 50-кратного превышения ПДК (красный) – 36 км, для 5-ти кратного превышения ПДК (фиолетовый) – 16,9 км и в момент достижения концентрации значений ПДК в воде (зеленый) – 62,5 км.

Зоны действия поражающих факторов ударной волны от взрыва на схему не наносились, так как не достигают поверхности моря.

Этап: Установление опасности ППОО

Расчеты показывают, что действие ударной волны от взрыва ВВ, содержащихся в химических авиабомбах, не представляет опасность для судов ввиду большой глубины нахождения ППОО. Ударная волна значительно ослабнет до момента достижения поверхности воды и сможет нанести только ущерб человеку, находящемуся в воде, однако в открытом море это крайне маловероятный случай.

Что касается распространения заражения, можно сделать вывод, что зона, в которой превышение ПДК достигает 5-кратного значения, не пересекается с зоной активной деятельности человека в рассматриваемой акватории и каких-либо объектов морской инфраструктуры.

Оценка масштабов ЧС

Зоной ЧС можно считать зоны превышения ПДК в 5 и в 50 раз в течение 33,8 и 15,7 часа, соответственно. Эти зоны не пересекаются с зонами хозяйственной деятельности человека. Масштаб ЧС неизвестен, так как нельзя установить количество пострадавшего населения.

Список используемых источников

1. URL: <http://barenzevo.arktifiksh.com/index.php/karty-belogo-morya/336-karta-techenij>
2. <https://forums.vif2.ru/showthread.php?t=2620>
3. URL: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=5458.0>
4. Озмидова Р.В. Диффузия примесей в океане. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1986 г.

Пример 3. Расчет избыточного давления во фронте ударной волны для взрывоопасных ППОО, находящихся во внутренних водах

Проведём расчёт для комплексного захоронения ВВ в районе Дудинки.

Этап: Планирование и организация оценки опасности ППОО

Оценка опасности проводится с целью установления зон действия поражающих факторов, в границах которых возможно возникновение ЧС в акватории с комплексным захоронением ВВ в реке Енисей в районе Дудинки. ППОО - Комплексное захоронение ВВ (Регистрационный номер в Реестре ППОО № 0200.00001) затоплено возле Дудинского морского порта (Красноярский край), правый берег реки Енисей в 230 милях от устья, 1998 г. (69°24' с.ш. 86°07' в.д.)

Этап: Идентификация опасностей ППОО

Вид опасности согласно Реестру ППОО – взрывоопасность.

По данным Реестра ППОО на объекте находится 10 контейнеров с ВВ массой 42,9 т. Состав ВВ – граммонит, гранулит, гранулотол. Основные энергетические показатели в области применения гранулированных неводоустойчивых ВВ предназначены для взрывания горных пород средней крепости и в крепких горных породах в сухих и во влажных условиях. Согласно ГОСТ 21987-76. «Вещества взрывчатые промышленные. Гранулиты. Технические условия» к ним относятся: Граммониты 79/21 и 82/18; Гранулиты АС-4, АС-8, С-2 и Игданиты.

Основные характеристики гранулированных неводоустойчивых ВВ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики гранулированных неводоустойчивых ВВ

Показатели	Граммонит 79/21-В	Гранулиты				Игданит
		АС-8	АС-4	С-2	М	
Кислородный баланс, %	0,02	0,34	0,41	0,06	0,14	0,12
Теплота взрыва, ккал/кг	1030	1248	1080	917	920	920
Объем газов, л/кг	895	847	907	935	980	980
Полная идеальная работа взрыва, ккал/кг	850	955	870	755	755	755
Насыпная плотность, г/см ³	0,8-0,85	0,85-0,9	0,85-0,9	0,8-0,85	0,8-0,82	0,8-0,9
Работоспособность, см ³	360-370	410-430	390-410	320-330	320-330	320-330
Бризантность заряда, мм: в стальном кольце	20-25	22-28	22-26	15-22	18-22	15-20
Скорость детонации, км/с	3,2-4,0	0,3-3,6	2,6-3,5	2,4-3,0	2,5-3,6	2,2-2,8
Критический диаметр, мм: в стальной оболочке	15-20	18-25	20-25	25-30	15-20	25-30
Минимальная масса промежуточного детонатора, г.	2-3	5-10	5-10	20-30	10-15	20-30

Гранулотол – гранулированное водоустойчивое промышленное ВВ, состоящее из тринитротолуола промышленных сортов, в зависимости от примесей и влажности выпускается различных марок. В СССР выпускался до 1983 г. I и II сорта, а в соответствии с ГОСТ 25857-83 выпускаются марки А и Б.

Основные характеристики гранулированного водоустойчивого ВВ Гранулотол приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики гранулированных водоустойчивых ВВ

Характеристика	Гранулотол сухой	Гранулотол водонаполненный
Кислородный баланс, %	74,0	?
Теплота взрыва, ккал/кг	870	980
Объем газов, л/кг	750	1045
Тропиловый эквивалент	1,0	1,13
Бризантность в стальном кольце, мм	24-26	25-30
Скорость детонации в бумажной оболочке, км/с	4,0-4,6	5,0-5,5
Скорость детонации в стальной оболочке, км/с	5,0-5,2	5,5-6,0
Критический диаметр в бумажной оболочке, мм	60-80	25-30
Критический диаметр в стальной оболочке в воде, мм	10-15	5-10

Марка А — для изготовления граммонитов и водосодержащих ВВ, для проведения взрывных работ во всех климатических районах России и для поставки на экспорт;

Марка Б — для изготовления водосодержащих ВВ и для проведения взрывных работ во всех климатических районах России, кроме районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к ним.

Основное отличие марки Б от марки А по составу — содержание воды (2 % и 1 % соответственно).

Цвет светло-жёлтый. Насыпная плотность около 1,0 г/см³. Гранулы сферические, обычный размер гранул 2 - 4 мм, допускается до 15 % гранул менее 2 мм и до 10 % больше 4 мм. Обладают низкой слёживаемостью, хорошей сыпучестью в сухом и мокром состоянии, практически не пылят при зарядании. Во влажном состоянии не электризуются. Гранулы хорошо тонут и распределяются в воде, что обеспечивает стабильность зарядания в обводнённых условиях. Негигроскопичны, морозоустойчивы. При повышенном содержании влаги могут смерзаться на морозе.

В сухом виде химически устойчив, в кислой среде устойчивость снижается незначительно, а в щелочной - заметное снижение. В щелочной среде гранулы и раствор окрашиваются в тёмно-красный цвет. Под воздействием ультрафиолетового излучения гранулы буреют.

Поскольку в исходных данных неизвестен точный количественный состав затонувшего ВВ (по весу каждого ВВ в общей массе ВВ), поэтому расчет ведём по наиболее энергонасыщенному ВВ – Гранулиту АС-8. Его теплота взрыва – 1248 ккал/кг (5225 кДж/кг). Принимаем, что все ВВ состоят из Гранулита АС-8 в количестве 42.9 т. В тротиловом эквиваленте – 48.7×10^3 кг.

Глубина в месте затопления составляет 25 м.

В качестве наиболее опасного сценария рассмотрим мгновенный взрыв всей массы ВВ на ППОО и распространение ударной волны от взрыва по акватории размещения ППОО.

Этап: Оценка опасности ППОО

Объектами воздействия определяются люди, находящиеся в воде, суда и объекты инфраструктуры, находящиеся в воде. Расстояние до ближайшего берега от места затопления (согласно Реестру ППОО) составляет 400 м. Расстояние до ближайшего объекта инфраструктуры порта г. Дудинка - составляет 1600 м. Также на космоснимках (рисунок 1.4) видно, что в месте затопления находятся суда на рейдовой стоянке.

В качестве критерия возникновения ЧС принимаем показатели, характеризующие смертельные поражения людей, причинение вреда здоровью, а также разрушение и повреждение конструкций и судов.

В качестве критерия опасности подводного взрыва для человека согласно подпункту 9.2 Методических рекомендаций принимаем избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\phi} = 1470$ кПа - для смертельного поражения и $\Delta P_{\phi} = 147$ кПа – для нанесения вреда здоровью.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для расчётов в таблицу 3.

Таблица 3. Исходные данные для расчетов

1.	Объект (регистрационный номер в Реестре ППОО)	Комплексное захоронение ВВ (№ 0200.00001)	Обозначение
2.	Вид опасности	Взрывоопасность	
3.	Место затопления, год затопления	Дудинский морской порт (Красноярский край), правый берег реки Енисей в 230 милях от устья, 1998 г.	
4.	Глубина затопления, м	25*	h_*
5.	Вид ВВ	Граммонит; гранулит; гранулотол	
6.	Масса ВВ, т.	42,9*	m
7.	Расстояние до ближайшего берега	400 м	r_1
8.	Расстояние до ближайших объектов инфраструктуры (порт Дудинка (Норникель))	1600 м	r_2

По формуле (22) раздела 9 Методических рекомендаций рассчитаем избыточное давление во фронте ударной волны подводного взрыва на расстоянии $r_1=400$ м (до ближайшего берега Енисея):

$$\Delta P_{\phi} = 533 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13} = 533 \times \left(\frac{(2 \times 48,910^3)^{1/3}}{400} \right)^{1,13} = 4324,2 \text{ кПа}$$

Согласно данным таблицы 9.4 раздела 9 Методических рекомендаций такие избыточные давления опасны для жизни человека, находящегося в воде в обычной одежде во время взрыва, так как $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа.

Рассчитаем избыточное давление в акватории порта «Норникель», расположенного на расстоянии от затопленных ВВ $r_2 = 1600$ м.

$$\Delta P_{\phi} = 52234 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1,13} = 52234 \times \left(\frac{(2 \times 42,7 \times 10^3)^{1/3}}{1600} \right)^{1,13} = 902,77 \text{ кПа}$$

Согласно данным таблицы 9.4 раздела 9 Методических рекомендаций такое избыточное давление воздействует на людей, находящихся в воде в акватории порта в обычной одежде, и наносит вред их здоровью $\Delta P_{\phi} > 147$ кПа.

Рассчитаем границы зон действия избыточного давления во фронте ударной волны для нанесения вреда здоровью и смерти человека. Результаты расчётов представлены на рисунке 1.

Рассчитаем по выражениям Таблицы 9.6 раздела 9 Методических рекомендаций размер повреждений судов при донном взрыве затопленных ВВ.

Повреждения днищ судов возможны следующие:

вмятины и водотечность первого днища на расстоянии от ВВ до 213,6 м;

пробоина в первом днище на расстоянии от ВВ до 175,6 м;

пробоина во втором днище на расстоянии от ВВ до 81,5 м;

водотечность борта на расстоянии от ВВ до 81,5 м;

пробоина в борту на расстоянии от ВВ до 99,1 м;

пробоина в первой переборке на расстоянии от ВВ до 29 м.

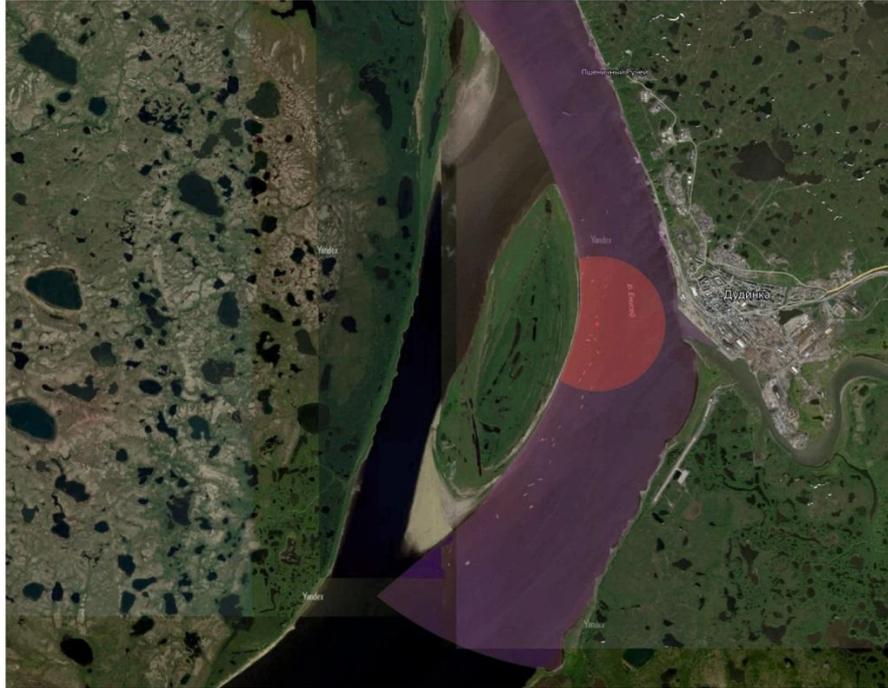


Рисунок 1. Зоны действия поражающих факторов ударной волны для человека

Расчеты показывают, что взрыв затопленных ВВ представляет опасность повреждения для судов в случае их нахождения от центра взрыва на расстоянии, начиная с 213 метров и менее.

На рисунке 1 показаны зоны действия поражающих факторов ударной волны для человека. **Красным** показана зона действия $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа, с радиусом поражения 1039,29 м – смертельная для человека, **лиловым** показана зона действия $\Delta P_{\phi} = 150$ кПа, с радиусом поражения 7833,05 м – опасные для здоровья человека.

Опасность для судов представлена на рисунке 2. Согласно таблице 9.6 Методических рекомендаций в **бежевой** зоне действия ΔP_{ϕ} с радиусом поражения 84,34 м – пробоина в борту, в **оранжевой** зоне действия ΔP_{ϕ} с радиусом поражения 213,6 м – вмятины и водотечность первого днища судов.

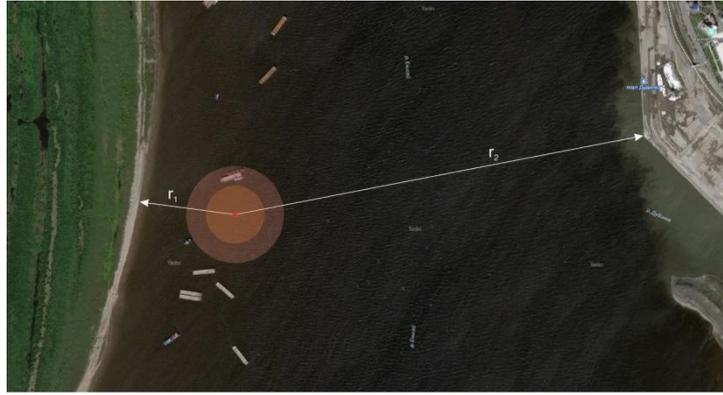


Рисунок 2. Зоны действия поражающих факторов ударной волны для судов

Оценка сейсмического воздействия подводного взрыва на здания и сооружения, расположенные в береговой зоне

Исходными данными для расчета являются координаты эпицентра очага взрыва, количество ВВ в эпицентре, тип грунтов в возможной области сейсмического воздействия, координаты и типы зданий в береговой зоне и их текущее техническое состояние.

Определить безопасное расстояние R_s по сейсмическому воздействию по формуле:

$$R_s = K_s \times K_z \sqrt[3]{m},$$

K_s – коэффициент, учитывающий тип грунтов, для водонасыщенных грунтов $K_s = 25$;

K_z – коэффициент, учитывающий тип зданий принимаем 1,5 для 2-3-этажных кирпичных зданий;

m – вес заряда в кг.

$$R_s = 25 \times 1,5 \sqrt[3]{40000} = 1283 \text{ м.}$$

Безопасное расстояние не превышает расстояния до зданий и сооружений, расчёт сейсмического воздействия не требуется.

Этап: Установление опасности ППО

Из рисунка видно, что зоны действия поражающих факторов ударной волны при наиболее опасном сценарии затрагивают зоны, в которых потенциально могут находиться люди в воде, объекты береговой и прибрежной инфраструктуры, в дополнение к этому эпицентр взрыва

(полученный по координатам в Реестре ППОО) находится в акватории рейдовой стоянки судов и может нанести значительные повреждения бортам и днищу судов.

Оценка масштабов ЧС

Опасность объекта обусловлена зонами воздействия ударной волны от взрыва на человека и суда. ЧС возникнет в случае нахождения людей в воде, а также повреждения судов, в границах соответствующих рассчитанных зон действия давления ударной волны. Масштаб ЧС неизвестен, так как нельзя однозначно установить количество потенциально пострадавшего населения.

Пример 4. Расчет избыточного давления во фронте ударной волны для взрывоопасного ППОО, находящегося в территориальном море

Проведём расчёт для затонувшего теплохода «Жан-Жорес».

Этап: Планирование и организация оценки опасности ППОО

Оценка опасности проводится с целью установления зон действия поражающих факторов, в границах которых возможно возникновение ЧС в акватории нахождения затонувшего теплохода «Жан-Жорес».

ППОО - грузовой теплоход «Жан-Жорес» (регистрационный номер в Реестре ППОО № 0011.00011), затонул в Чёрном море, Феодосийская буха, г. Феодосия в 1942 г.

Этап: Идентификация опасностей ППОО

Вид опасности, согласно Реестру ППОО – взрывоопасность.

В 1942 г. теплоход обеспечивал Керченско-Феодосийскую десантную операцию в Крыму.

В таблице 1 представлены основные характеристики теплохода Жан Жорес.

Таблица 1. Технические характеристики теплохода «Жан-Жорес»

Водоизмещение	8300 т
Длина	111,4 м
Ширина	14,8 м
Осадка	8,29 м
Двигатели	дизель Sulzer
Мощность	1800 л.с.
Движитель	1 винт
Скорость хода	10,5 узлов
Экипаж	36 чел.
Регистровый тоннаж	3972 брутто-регистрационных т

16 января 1942 г. теплоход «Жан Жорес» затонул в точке 45°02.121'N 35°23.611'E в 400 м от набережной Десантников Феодосийской бухты на глубине 20 м. Расстояние до входа в порт – 100 м. На рисунках 1 и 2 представлена схема расположения теплохода в Феодосийской бухте.

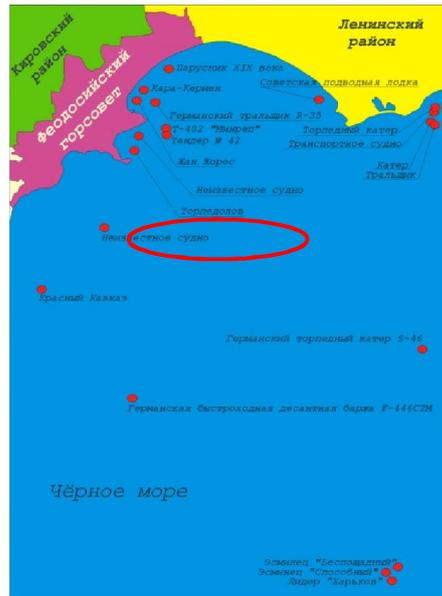


Рисунок 1. Расположение затонувшего корабля в Феодосийской бухте

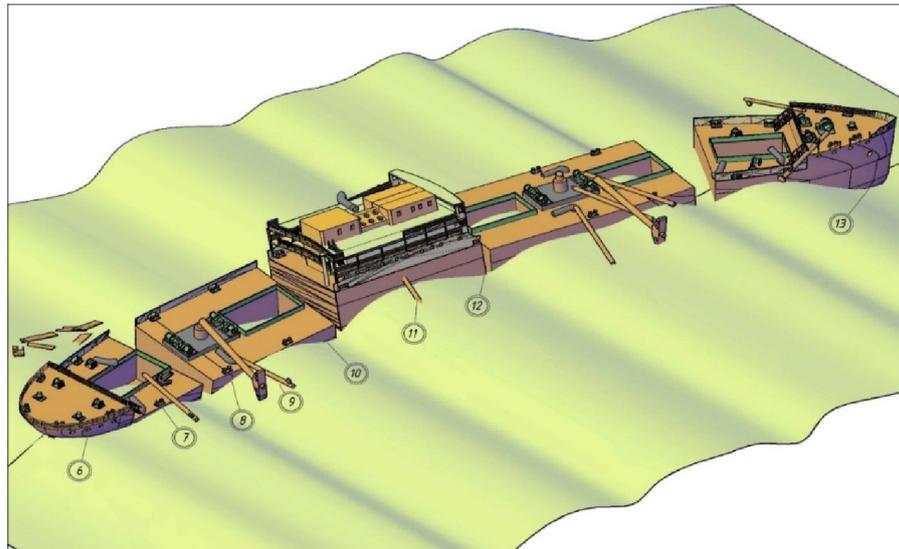


Рисунок 2. Расположение корабля на дне, вид на правый борт

Данные о грузе, оставшемся на борту корабля.

Осенью 2007 г. специальный Керченский морской отряд МЧС России провел работы по водолазному обследованию судна, в ходе которого подтвердилось наличие военного груза, а именно - артиллерийских орудий, снарядов и военной техники. В частности, на борту «Жан-Жореса» находятся минимум 3 гусеничных тягача, 4 артиллерийских орудия с боезапасом, оборудование и боеприпасы для авиации, а также большое количество боеприпасов для стрелкового оружия.

С 2015 года ведутся работы по подъему взрывоопасных предметов (ВОП) и патронов с борта теплохода. С начала работ на сегодняшний день поднято порядка 5% ВОП. По оценкам, сделанным по количеству поднятых взрывоопасных предметов и по количеству содержащегося в них ВВ, на борту теплохода остается порядка 30 т ВВ.

Разделение на составные части не требуется.

В качестве наиболее опасного сценария рассмотрим мгновенный взрыв всей массы ВВ на ППОО и распространение ударной волны от взрыва по акватории размещения ППОО.

Этап: Оценка опасности ППОО

В качестве объектов воздействия определяются люди, находящиеся в воде, суда и объекты инфраструктуры, находящиеся в воде. Расстояние до ближайшего берега от места затопления (согласно Реестру ППОО) составляет 800 м (городской пляж г. Феодосия). Расстояние до ближайшего объекта инфраструктуры, порта г. Феодосии, составляет 500 м.

В качестве критерия возникновения ЧС принимаем показатели, характеризующие смертельные поражения людей, причинение вреда здоровью, а также разрушение и повреждение конструкций и судов.

В качестве критериев поражения человека, согласно подразделу 9.2 Методических рекомендаций, принимаем избыточное давление во фронте ударной волны $\Delta P_{\phi} = 1470$ кПа для смертельного поражения, и $\Delta P_{\phi} = 147$ кПа – для нанесения вреда здоровью.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для расчётов в таблицу 2.

Исходя из имеющихся исходных данных, на основе формулы (22) раздела 9 Методических рекомендаций рассчитаем избыточное давление во фронте ударной волны подводного взрыва на расстоянии $r_1=800$ м (до ближайшего пляжа на берегу Феодосийской бухты):

$$\Delta P_{\phi} = 52234 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r_1} \right)^{1,13} = 52234 \times \left(\frac{(2 \times 30 \times 10^3)^{1/3}}{800} \right)^{1,13} = 1726,7 \text{ кПа}$$

Таблица 2. Исходные данные для расчетов

1.	Объект (регистрационный номер в Реестре ППОО)	Грузовой теплоход «Жан-Жорес» (№ 0011.00011)	Обозначение
2.	Вид опасности	Взрывоопасность	
3.	Место затопления, год затопления	Чёрное море, Феодосийская бухта, г. Феодосия, 1942	
4.	Глубина затопления, м	25	h_*
5.	Вид ВВ	Снаряды, авиабомбы, патроны	
6.	Масса ВВ, т.	30	m
7.	Расстояние до ближайшего берега	800 м	r_1
8.	Расстояние до ближайших объектов инфраструктуры (вход в порт)	500 м	r_2

Согласно данным таблицы 9.4 раздела 9 Методических рекомендаций такие избыточные давления опасны для жизни человека, находящегося в воде в обычной одежде во время взрыва, так как $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа.

Рассчитаем избыточное давление в акватории входа в порт, расположенного на расстоянии от затопленных ВВ – r_2 - 500 м.

$$\Delta P_{\phi} = 52234 \left(\frac{(2m)^{\frac{1}{3}}}{r_2} \right)^{1,13} = 52234 \times \left(\frac{(2 \times 30 \times 10^3)^{1/3}}{500} \right)^{1,13} = 3779,16 \text{ кПа}$$

Согласно данным таблицы 9.4 раздела 9 Методических рекомендаций такие избыточные давления опасны для жизни человека, находящегося в воде в обычной одежде во время взрыва, так как $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа.

Аналогично рассчитаем границы зон действия избыточного давления во фронте ударной волны способного нанести вред здоровью и вызвать смерть человека. Данные расчётов представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. Зоны действия поражающих факторов ударной волны для человека

Рассчитаем по выражениям Таблицы 9.6 раздела 9 Методических рекомендаций размер повреждений судов при донном взрыве затопленных ВВ:

Повреждения днищ кораблей возможны следующие:

вмятины и водотечность первого днища на расстоянии от ВВ до 181,7 м;

пробоина в первом днище на расстоянии от ВВ до 149,4 м;

пробоина во втором днище на расстоянии от ВВ до 69,3 м.

Повреждения бортов и переборок:

водотечность борта на расстоянии от ВВ до 69,3 м;

пробоина в борту на расстоянии от ВВ до 84,3 м;

пробоина в первой переборке на расстоянии от ВВ до 24,7 м.

Расчёты показывают, что взрыв затопленных ВВ представляет существенную опасность для надводных транспортных средств в случае их нахождения от ВВ на расстоянии, начиная со 181,7 м и менее.

На рисунке 3 показаны зоны действия поражающих факторов ударной волны при наиболее опасном сценарии. **Красным** показана зона действия $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа, с радиусом поражения 922,48 м – смертельная для человека, **лиловым** показана зона действия $\Delta P_{\phi} = 150$ кПа, с радиусом

поражения 7078,1 м – опасная для человека, когда он начинает ощущать болевое воздействие, особенно в брюшной полости.

Опасность для судов представлена на рисунке 4. Согласно таблице 9.6 Методических рекомендаций, в **оранжевой** зоне действия ΔP_{ϕ} , с радиусом поражения 84,34 м – пробоина в борту, в **бежевой** зоне действия ΔP_{ϕ} , с радиусом поражения 181,7 м – вмятины и водотечность первого днища судов.

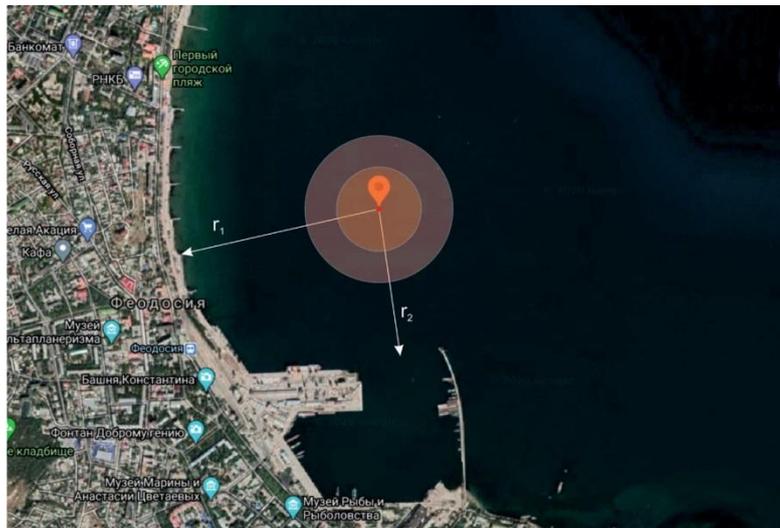


Рисунок 4. Зоны действия поражающих факторов ударной волны для судов

Оценка сейсмического воздействия подводного взрыва на здания и сооружения, расположенные в береговой зоне

Исходными данными для расчета являются координаты эпицентра очага взрыва, количество ВВ в эпицентре, тип грунтов в возможной области сейсмического воздействия, координаты и типы зданий в береговой зоне и их текущее техническое состояние. Текущее техническое состояние зданий определяется по результатам обследования.

Определить безопасное расстояние R_s по сейсмическому воздействию по формуле:

$$R_s = K_s \times K_z \sqrt[3]{m},$$

K_s – коэффициент, учитывающий тип грунтов, для водонасыщенных грунтов $K_s = 25$;

K_z – коэффициент, учитывающий тип зданий принимаем 1,5 для 2-3-этажных кирпичных зданий;

m – вес заряда в кг.

$$R_s = 25 \times 1,5 \sqrt[3]{30000} = 1163 \text{ м.}$$

Безопасное расстояние превышает расстояние до зданий и представлено на рисунке 5. Необходимо определить скорость грунтов V_s (см/с) в основании зданий и характер возможных повреждений, см. табл.1.15.

$$V_s = 375 \times \sqrt[2]{m/R^{1,5}}, \text{ где}$$

R – расстояние до объекта, м.

Соответственно, рассмотрим жилую застройку, подвергшуюся сейсмическому воздействию. Как видно на рисунке 5, в зону сейсмического воздействия попадает прибрежная жилая застройка на расстоянии от 800 м (ближайшее расстояние от эпицентра взрыва до зданий) до 1163 м.



Рисунок 5. Зоны сейсмического воздействия от взрыва ВВ теплохода Жан-Жорес

Рассчитаем скорость грунтов на расстоянии 800 м.

$$V_s = 375 \times \sqrt[2]{30000/800^{1,5}} = 2,87 \text{ см/с.}$$

Рассчитаем скорости грунтов для расстояний от эпицентра с шагом в 100 м. Расчёты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчёта скорости грунтов в зависимости от расстояния при взрыве ВВ на теплоходе «Жан-Жорес»

R_s	800	900	1000	1100	1200
V_s	2,87	2,4	2,05	1,78	1,56

Как видно из результатов расчётов, влияние на прибрежную застройку подводного взрыва ВВ на теплоходе «Жан-Жорес» будет соответствовать повреждению побелки на зданиях и дребезжанию стёкол (согласно таблице 9.9 Методических рекомендаций). В указанную зону сейсмического воздействия попадает порядка 500 жилых строений, из них 3 - школы, 1- техникум и 1 - детский сад.

Этап: Установление опасности ППОО

По изображённым зонам поражения видно, что зона потенциального смертельного поражения ударной волной затрагивает зоны с возможным нахождением людей в воде – это центральный пляж «Камешки» г. Феодосии. Эпицентр взрыва (полученный по координатам в Реестре ППОО) находится в акватории активного движения судов в туристских и транспортных целях и взрыв может представлять для них потенциальную опасность. Повреждения зданий и сооружений от сейсмического воздействия подводного взрыва наблюдаться не будет, только повреждение штукатурки и дребезжание стёкол.

Оценка масштабов ЧС

Опасность объекта обусловлена зонами воздействия ударной волны от подводного взрыва на человека и суда.

Исходя из протяжённости центрального пляжа г. Феодосии в 1200 м, ширина которого - 40 м, можно сделать вывод, что приблизительная площадь пляжа составляет 48000 м² при пиковой наполненности, с соблюдением социальной дистанции, на пляже одновременно

максимально может находиться до 12000 человек. Единоновременно в воде все посетители пляжа находиться не могут, ввиду этого примем количество человек, находящихся в воде как 30% от максимального количества – 3600 человек. Пляж на всей своей протяжённости попадает под действие давления во фронте ударной волны $\Delta P_{\phi} > 1470$ кПа, которое характеризует смертельное поражение человека. Таким образом, максимальное количество человек, которое попадает в зону смертельного поражения, составляет 3600 человек. Согласно таблице 2-3 приложения 2 Методических рекомендаций это соответствует потенциальной ЧС федерального масштаба.

Пример 5. Расчет параметров разлива нефти и нефтепродуктов из ППОО

Проведём расчёты параметров процесса распространения нефтепродуктов из затонувшего теплохода «Адмирал Нахимов».

Этап: Планирование и организация оценки опасности ППОО

Оценка опасности проводится с целью установления зон действия поражающих факторов, в границах которых возможно возникновение ЧС в акватории с затопленным теплоходом «Адмирал Нахимов».

ППОО - теплоход «Адмирал Нахимов» (регистрационный номер в Реестре ППОО № 0011.00006), затонул в Чёрном море, Цемесская бухта в 1986 г.

Этап: Идентификация опасностей ППОО

Вид опасности – опасность разлива нефти и нефтепродуктов.

В соответствии с Реестром ППОО на затонувшем теплоходе находится 300 т мазута. Глубина затопления объекта – 45 м.

Разделение объекта на составные части не требуется.

В качестве наиболее опасного сценария рассмотрим залповый выброс ОВ ППОО при условии полного разрушения его ЗО, распространение ОВ по акватории размещения ППОО.

Этап: Оценка опасности ППОО

Объектом воздействия при разливе нефти и нефтепродуктов является окружающая среда и её компоненты.

Критерием возникновения ЧС, согласно таблице 2-2 приложения 2 Методических рекомендаций, можно считать разлив нефти и нефтепродуктов от 20 т и выше.

При разрушении защитных барьеров и попадании нефтепродуктов в водную среду, поведение пятна нефтепродуктов будет зависеть от температуры воды. Под действием силы Архимеда мазут стремится к поверхности, приобретая температуру окружающей среды. Формируется

пятно нефтепродуктов на поверхности моря, которое распространяется по направлению ветра.

Далее, можно рассчитать распространение и трансформацию пятна разлива с целью планирования мероприятий по ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов. Расчёт не учитывает влияние нефтепродуктов на береговую полосу.

Для упрощения расчётов принимаем допущение, что нефтепродукты всплывают на поверхность в едином объёме и затем начинают растекаться.

При низкой температуре воды и воздуха увеличивается вязкость нефтепродуктов и медленнее происходит их растекание по водной поверхности.

Для проведения оценки опасности анализируемого ППОО занесем исходные данные для расчётов в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчётов

1.	Наименование объекта (регистрационный номер в Реестре ППОО)	Теплоход «Адмирал Нахимов» (№ 0011.00006)	Обозначение
2.	Вид опасности	Опасность разлива нефти и нефтепродуктов	
3.	Опасные вещества	Мазут, 300 т.	
4.	Место затопления, дата затопления	Чёрное море, Цемесская бухта, 1986	
6.	Глубина затопления, м	45	h^*
7.	Плотность нефтепродуктов, кг/м ³	0,9557	ρ_H
8.	Объём нефтепродуктов, м ³	344827,59	
9.	Расстояние до ближайшего берега, м	3500	

Радиус пленки при гравитационно-вязком режиме растекания пятна определяется по формуле:

$$R_H = K_2(\lambda g V_H^2 t^{3/2} \nu^{-1/2})^{1/6},$$

где K_2 – константа, равная 1,45;

$\lambda = (\rho_B - \rho_H) / \rho_B$ – относительная разность плотностей воды ρ_B и нефти ρ_H к плотности воды;

g – ускорение свободного падения - 9,81 м/с²;

V_H – объем нефти, м³;

t – время с момента пролива нефти, с;

ν – кинематический коэффициент вязкости воды;

ρ_H – плотность жидкого нефтепродукта, кг/м³.

$$R_H = K_2(\lambda g V_H^2 t^{\frac{3}{2}} \nu^{-\frac{1}{2}})^{\frac{1}{6}} =$$

$$= 1,45 \times (0,05 \times 9,8 \times 3,15 \times 10^7 \times 3600^{\frac{3}{2}} \times (1,52 \times 10^{-6})^{-\frac{1}{2}})^{-1/6} = 2074,25 \text{ м}$$

В соответствии с разделом 10 Методических рекомендаций и рисунком 1 рассчитаем радиусы пятна растекания нефти и нефтепродуктов для температур от 5 °С до 22 °С.

t °С	t °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,793	1,732	1,675	1,621	1,569	1,520	1,474	1,429	1,387	1,347
10	1,308	1,272	1,237	1,203	1,171	1,1401	1,1107	1,0825	1,0554	1,0294
20	1,0045	0,9905	0,9574	0,9353	0,9139	0,8934	0,8736	0,8545	0,8361	0,8184
30	0,8012	0,7847	0,7687	0,7533	0,7383	0,7239	0,7099	0,6964	0,6833	0,6706
40	0,6583	0,6464	0,6348	0,6236	0,6127	0,6022	0,5919	0,5820	0,5723	0,5629

Рисунок 1. Кинематические коэффициенты вязкости воды при различных температурах ($\nu \times 10^6$, м²/с)

Результаты расчётов радиуса гравитационно-вязкостного растекания нефтепродуктов и площади пятна в условиях различных температур моря в зависимости от продолжительности растекания приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Результаты расчёта изменения радиуса разлива в зависимости от времени разлива и температуры воды

t _ч	T _в		
	5 °С	15 °С	22 °С
1 час	2074,3 м	2729,9 м	3101,7 м
3 часа	2124,6 м	2796,1 м	3176,9 м
5 часов	2157,1 м	2838,9 м	3225,6 м

Для определения площади пятна принимаем условно, что площадь пятна будут стремиться к площади круга:

$$S = \pi \times R^2, \text{ км}^2.$$

Таблица 3. Результаты расчёта изменения площади пятна в зависимости от времени разлива и температуры воды

$t_{\text{ч}}$ \diagdown $T_{\text{в}}$	5 °С	15 °С	22 °С
1 час	1,35816 км ²	2,3 км ²	3,0 км ²
3 часа	1,41 км ²	2,4 км ²	3,1 км ²
5 часов	1,46 км ²	2,5 км ²	3,2 км ²

Таким образом, при допущении идеализированного растекания плавучего и нерастворимого химического соединения в спокойной воде, можно говорить о площади нефтяного пятна, исходя из полученного радиуса $R_{\text{н}}$.

Скорость перемещения нефтяного пятна по поверхности воды рассчитаем по формуле:

$$v_{\text{н}} = 0,05 \times v_{\text{вет}},$$

где $v_{\text{вет}}$ - скорость ветра м/с.

Скорость и направление ветра взяты как наиболее часто повторяющиеся годовые значения из [1]. Роза ветров и скорости представлены на рисунке 2.

Примем направление ветра в момент аварии, согласно рисунку 1, ветер южный 3 м/с. Получим скорость ветра равную $v_{\text{н}} = 0,05 \times 3 = 0,15$ м/с.

За 5 часов пятно переместится на расстояние 2700 м. По направлению ветра пятно достигнет берега (расстояние 10 км) через 18 часов.

Роза ветров в Новороссийске

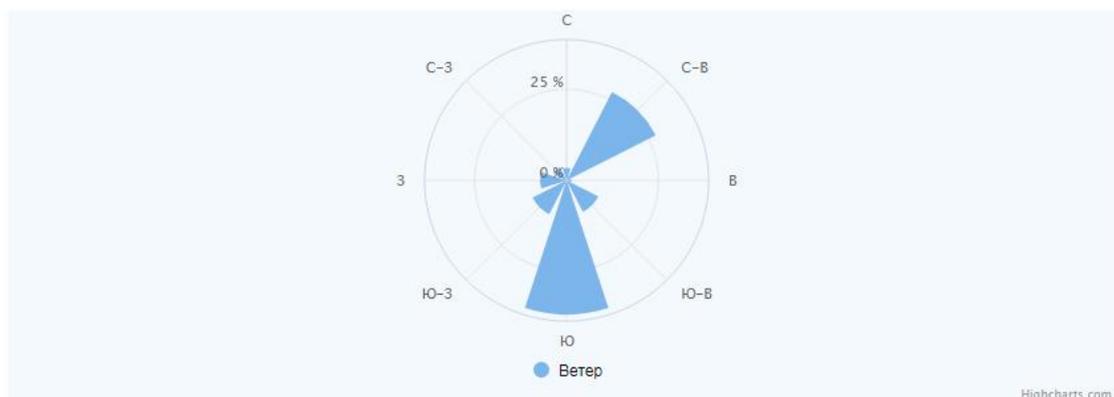


График ветра (направление - откуда дует ветер) в Новороссийске, с усредненными значениями согласно нашим данным.

С ▼ Северный	С-В ▲ Северо-Восто...	В ◀ Восточный	Ю-В ▼ Юго-Восточный	Ю ▲ Южный	Ю-З ◀ Юго-Западный	З ▶ Западный	С-З ▲ Северо-Запад...
3.4%	27.2%	1.3%	9.7%	36.8%	10.4%	7.2%	4%

Рисунок 2. Роза ветров в районе г. Новороссийска

Для расчёта необходимого объёма емкостей для собираемых нефтепродуктов необходимо учитывать процесс эмульгирования нефтепродуктов. Объём собираемой водонефтяной эмульсии будет больше, чем объём нефтепродуктов, участвующих в разливе. Объём эмульсии рекомендуется рассчитывать с допущением, что весь объём нефтепродуктов, участвующих в разливе, эмульгируется с содержанием воды - 80% в объёме нефтепродуктов. Общий объём нефтепродуктов для сбора составит 620688,6 м³ водонефтяной эмульсии.

Для наглядности нанесём на схему зоны распространения нефтепродуктов при разливе из теплохода «Адмирал Нахимов», изображение зон разлива нефтепродуктов и перемещения пятна представлены на рисунке 3.

По результатам расчёта и изображённым зонам видно, что разлив нефтепродуктов способен добраться до берега.



Рисунок 3. Параметры разлива нефтепродуктов из теплохода «Адмирал Нахимов» и перемещение его за 5 часов разлива

Этап: Установление опасности ППОО

Оценка масштабов ЧС

Опасность объекта обусловлена суммарным объёмом потенциального разлива нефтепродуктов (300 т.), который, в соответствии с законодательством Российской Федерации классифицируется как ЧС (Н) (таблица 2-1 приложения 2 Методических рекомендаций).

Дополнительно рассчитаны зоны возможного распространения нефтяного загрязнения в целях планирования действий по ликвидации ЧС(Н). Расчёты показывают, что примерная площадь пятна через 5 часов после разлива равна 2,5 км и переместится от места разлива на 2,7 км. До береговой полосы пятно дойдёт через 18 часов. Общий объём нефтепродуктов для сбора составит 620 688,6 м³ водонефтяной эмульсии.

Список используемых источников

1. <https://world-weather.ru/archive/russia/novorossysk/>