

Приложение Д

Моделирование аварийных разливов нефтепродуктов

Содержание

1	Сценарий разлива нефтепродуктов	5
2	Описание методов расчетов	6
2.1	Моделирование разлива в морской среде.....	6
2.2	Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосфере при разливе нефтепродукта	7
3	Фоновые условия среды и гидрометеорологических сценариев для моделирования.....	7
3.1	Ретроспективный прогноз полей ветра и течений	7
3.2	Типовые гидрометеорологические ситуации.....	16
4	Результаты моделирования разливов нефтепродукта в морской среде	18
4.1	Временные области возможного нахождения загрязнения	18
4.2	Толщина пленки и вероятностные характеристики возможного положения загрязнения.....	21
4.3	Воздействие на побережье и зоны охраны китов	25
4.4	Геометрические размеры разлива и его физико-химические параметры	27
4.5	Внутримассовое загрязнение	28
5	Результаты расчета выбросов в атмосферу	29
6	Расчет объемов образования отходов производства и потребления при ликвидации аварийных ситуаций	31
6.1	Грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами	31
6.2	Отходы зачистки и промывки оборудования для хранения, транспортирования и обработки нефти и нефтепродуктов (воды с содержанием нефтепродуктов менее 15%)	31
6.3	Сорбенты из синтетических материалов (кроме текстильных), отработанные при локализации и ликвидации разливов нефти или нефтепродуктов (содержание нефти и нефтепродуктов 15% и более).....	31
6.4	Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более)	32
6.5	Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов 15% и более)	32
6.6	Оценка общего количества образования отходов при аварийном разливе	33
7	Список используемых источников	33

Список таблиц

Таблица 2.1–1: Основные характеристики нефтепродукта.....	6
Таблица 3.1–1: Таблица повторяемости ветра по направлениям и градациям скорости для летних условий в районе работ	9
Таблица 3.1–2: Таблица повторяемости поверхностных суммарных течений по направлениям и градациям скорости в районе работ	9
Таблица 3.2–1: Типовые ситуации приводного ветра в районе работ для летних условий	17

Таблица 4.3–1: Статистические результаты по воздействию на побережье. Разлив 190,2 м ³ СМТ	25
Таблица 4.4–1: Средние геометрические характеристики пятна нефтепродукта. Разлив 190,2 м ³ СМТ	28
Таблица 4.4–2: Изменение физических свойств и балансовое соотношение нефтепродукта. Разлив 190,2 м ³ СМТ	28
Таблица 4.5–1: Характеристика загрязнения водной толщи и морского дна. Разлив 190,2 м ³ СМТ	29
Таблица 4.5–1: Максимальные выбросы ЗВ при разливе 190,2 м ³ СМТ (Сц.№1)	29
Таблица 4.5–2: Валовые выбросы ЗВ при разливе 190,2 м ³ СМТ (Сц.№1)	30
Таблица 6.2–1: Отходы зачистки и промывки оборудования для хранения, транспортирования и обработки нефти и нефтепродуктов (воды с содержанием нефтепродуктов менее 15%)	31
Таблица 6.3–1: Отходы сорбентов, загрязненные опасными веществами (сорбирующие материалы полипропиленовые, загрязненные нефтепродуктами 15% и более)	32
Таблица 6.4–1: Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более)	32
Таблица 6.5–1: Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов 15% и более)	32
Таблица 6.6–1: Оценка общего количества образования отходов при аварийном разливе	33

Список рисунков

Рисунок 2.1–1: Карта-схема источника разлива	5
Рисунок 3.1–1: Поле ветра за 28 января 1989 года за 00 СГВ по данным проекта Reanalysis Project NCEP/NCAR и ветер по данным метеорологических станций	11
Рисунок 3.1–2: Течения в поверхностном слое исследуемого района в июне	12
Рисунок 3.1–3: Течения в поверхностном слое исследуемого района в июле	13
Рисунок 3.1–4: Течения в поверхностном слое исследуемого района в августе	14
Рисунок 3.1–5: Течения в поверхностном слое исследуемого района в сентябре	15
Рисунок 3.1–6: Верификация результатов моделирования по данным спутниковых наблюдений за уровнем моря (AVISO+ECCO2)	16
Рисунок 4.1–1: Типовая форма нефтяного загрязнения через 5 ч после разлива. Разлив 190,2 м ³ СМТ	19
Рисунок 4.1–2: Временные области возможного нахождения загрязнения за 1–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м ³ СМТ	20
Рисунок 4.2–1: Статистические области максимальной толщины пятна нефтепродукта за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м ³ СМТ	22
Рисунок 4.2–2: Области вероятности нахождения нефтяного загрязнения за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м ³ СМТ	23
Рисунок 4.2–3: Диаграмма вероятностного переноса нефтяного загрязнения за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м ³ СМТ	24
Рисунок 4.3–1: Потенциальные зоны поражения береговой линии за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м ³ СМТ	26

Рисунок 4.3–2: Статистическое распределение протяженности береговой полосы загрязненной СМТ за 0–36 ч после разлива. Разлив 190,2 м ³ СМТ	27
Рисунок 4.3–3: Статистические результаты по воздействию на прибрежную (Пильтунскую) зону охраны серых китов. Разлив 190,2 м ³ СМТ	27

1 Сценарий разлива нефтепродуктов

Для оценки потенциального воздействия на окружающую среду при аварийных ситуациях рассмотрен сценарий с разливом топлива (судовое маловязкое топливо – СМТ) в районе работ в точке, ближайшей к побережью (рисунок 2.1–1). Рассматривается разгерметизация топливного танка судна максимального объема – 190,2 м³.

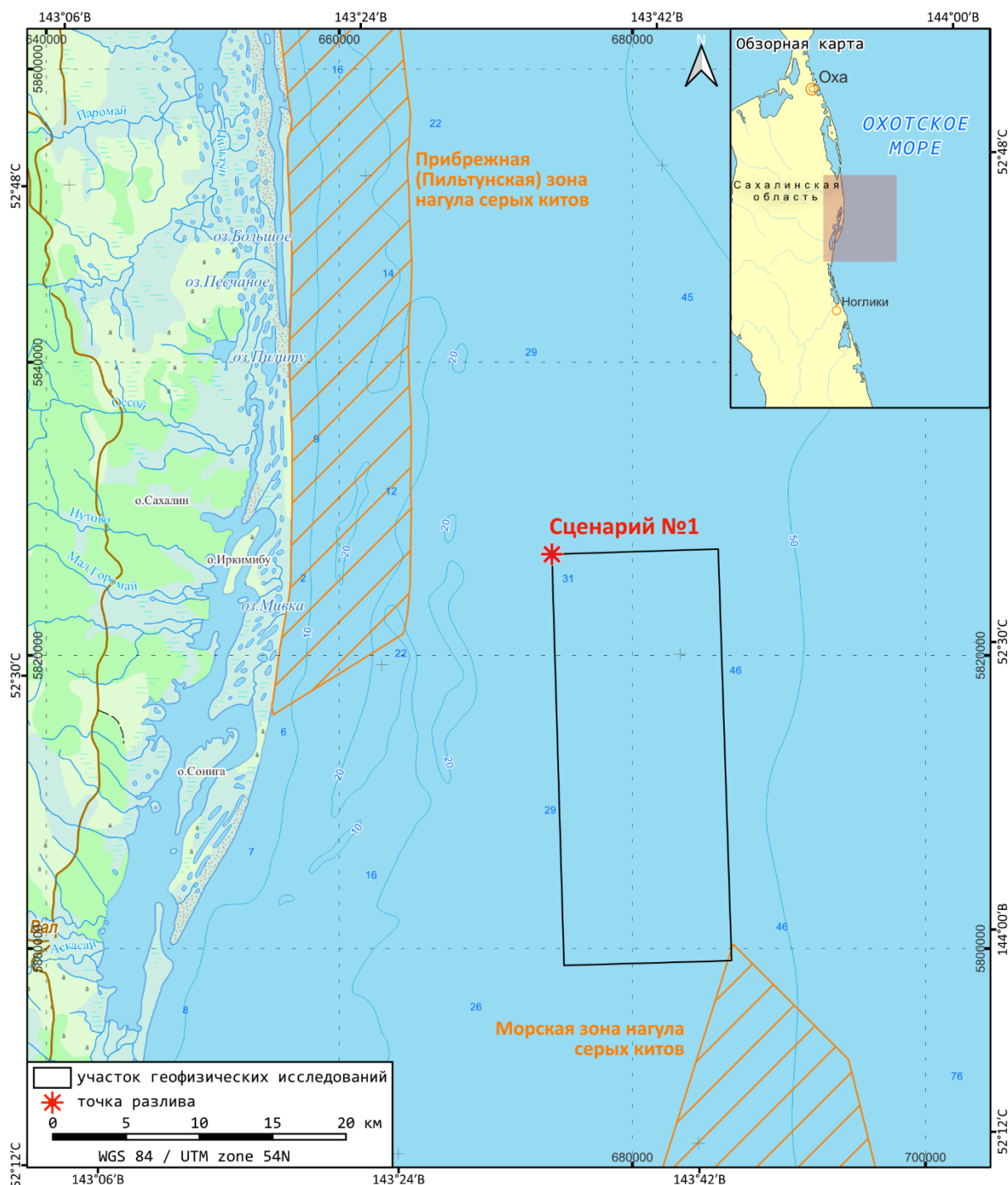


Рисунок 2.1–1: Карта-схема источника разлива

Таблица 2.1–1: Основные характеристики нефтепродукта

Свойство	Единица измерения	Судовое топливо (ГОСТ 32510-2013)
Плотность	г/см ³	0,890 при 15°C
Кинематическая вязкость	сСт	2–6 при 40°C
Сера	%	<0,5
Температура застывания	°C	–6
Температура вспышки паров	°C	61
Температура самовоспламенения	°C	300

2 Описание методов расчетов

2.1 Моделирование разлива в морской среде

Для моделирования загрязнения окружающей среды при разливах нефтепродуктов применялись модель распространения нефтяного пятна «VOS/REA». Модель описывает перемещение пятна при заданных гидрометеорологических ситуациях и включает методы: расчета площади пятна, взаимодействия нефти с береговой линией, статистические оценки зон достижения и вероятности. Также в модели учитываются физико-химические изменения, происходящие в нефтяном пятне после разлива. Модель разработана в ООО «РЭА – консалтинг» и имеет сертификат соответствия №РОСС RU.ME20.H02674.

Траекторная модель используется для статистических оценок распространения разлива по акватории и поражения береговой линии.

Описание траекторной модели и применения технологии моделирования представлено ниже. Практическое применение модели описано в следующих работах (Kochergin et al., 1999; Kochergin et al., 2000; Кочергин и др., 1998; Кочергин и др., 1999; Кочергин и др., 2000; Bogdanovsky et al., 2001; Богдановский и др., 2003; Bogdanovsky et al., 2006).

Модель физико-химических процессов в нефти и нефтепродуктах описывает такие процессы в пятне, как изменение площади пятна, плотности, вязкости, поверхностное натяжение, характеристики испарения, диспергирования, эмульгирования и др.

Моделирование потенциальных разливов нефтепродуктов проводится стохастическим методом с оценкой потенциальных зон (областей) влияния, расчетами вероятностных характеристик переноса, загрязнения береговой линии и других характеристик. Производится перебор множества многолетних метеорологических ситуаций с расчетом для этих сценариев течений и других гидрологических параметров.

Моделирование проводилось для летних условий за 10 лет. Всего обработано около 11 тыс. гидрометеорологических сценариев с

циклическим просчетом сценариев модельных разливов со сдвигом начала запуска модели на каждые 2 ч.

2.2 Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосфере при разливе нефтепродукта

При разливе нефтепродукта на морской поверхности происходит испарение легких фракций углеводородов и соответственное поступление загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Расчет выбросов загрязняющих веществ при разливе нефтепродукта проводилось для теплого периода года (наибольшая интенсивность испарения нефтепродуктов).

Масса выбросов углеводородов при их испарении с морской поверхности принята по результатам расчетов физико-химических процессов в CMT по модели «VOS/REA».

3 Фоновые условия среды и гидрометеорологических сценариев для моделирования

Для моделирования поведения разливов нефтепродуктов в морской среде используются следующие гидрометеорологические данные:

- ◆ скорость и направление приводного ветра: расчеты ветрового дрейфа пятна нефтепродуктов, испарения легких углеводородов и оценка естественного диспергирования нефтепродукта через расчет волнения;
- ◆ скорость и направление поверхностных течений: расчет переноса пятна нефтепродукта течениями, учет влияния на процессы растекания и турбулентную деформацию пятна нефтепродукта;
- ◆ температура, плотность, вязкость морской воды, средняя концентрация взвешенных веществ: расчет физико-химических характеристик нефти в морской среде.

3.1 Ретроспективный прогноз полей ветра и течений

Для расчета поверхностных течений использовалась система, включающая в себя две модели – модель Тихого океана и модель северо-западной части Тихого океана (Расчет поверхностных..., 2008). Взаимодействие между компонентами системы идет по принципу – результаты моделирования Тихого океана используются в качестве исходных и граничных данных для модели северо-западной части Тихого океана. Обе модели основаны на модели океана RIAM.

Расчетная область в модели Тихого Океана включает северную и центральную части Тихого океана и восточную часть Индийского океана и лежит в пределах от 95° в.д. до 70° з.д. и от 50° ю.ш. до 65° с.ш. Шаг расчетной сетки по горизонтали равен 1/6°.

Расчетная область модели северо-запада Тихого Океана лежит в пределах 125° в.д. – 165° в.д. и 40° с.ш. – 63° с.ш. и включает Охотское море, северную часть Японского моря, и северо-западную часть Тихого океана, где господствуют Камчатское течение и Ойясио. Шаг расчетной сетки по горизонтали равен 1/18.

Модель океана RIAM, используемая в данном проекте, представляет собой модель циркуляции океана, основанную на примитивных уравнениях движения, со свободной поверхностью. Нелинейные, трехмерные уравнения модели выводились с использованием приближений Буссинеска, гидростатики и «свободная поверхность». При пространственной дискретизации уравнения использовалась В-сетка Аракавы. Использование схемы Аракавы способствует сохранению потенциальной энтропии и кинетической энергии в течении процесса адвекции, предотвращая ложный переход энергии из низкой в высокую частоту. Так называемая «косая адвекция» применяется чтобы показать как можно точнее вертикальную адвекцию горизонтальной составляющей скорости у дна.

В модели используется усовершенствованная схема адвекции для трассеров, так называемая модифицированная квадратичная с расщеплением и направленная против потока интерполяция для кинематической схемы конвекции как для горизонтальной так и для вертикальной адвекции трассеров. Для оценки диффузии тепла и соли применяется GM-схема. Модель включает модель перемешанного слоя, представляющую собой модель замыкания турбулентности второго порядка точности, использующая вихревую диффузию. Диффузия зависит от бигармонического замыкания для количества движения и трассеров.

В модели используется условие свободной поверхности что позволяет учитывать гравитационные волны. Это требует малый размер шага по времени для реального рельефа дна, что приводит к большим объемам вычислений. Что бы обойти эту проблему используется метод расщепления моды. Уравнения движения можно разделить на уравнения, проинтегрированные по вертикали, и уравнения вертикальной неоднородной структуры. Метод расщепления на моды требует два различных шага по времени для внешней моды и для внутренней моды. Шаг для внутренней моды может быть меньше шага по времени для внешней моды в 10–100 раз. На каждом шаге по времени баротропная компонента в уравнениях вертикальной неоднородной структуры заменяется внешней модой. В тоже время, слагаемое, отвечающее за интеграл градиента давления, и нелинейные члены внутренней моды переводятся во внешнюю моду. Внешняя и внутренняя моды рассчитываются при помощи явной схемы.

Начальные и граничные условия формировались на основе результатов модели HYCOM (HYCOM + NCODA Global 1/12° Analysis). Внешние поля потоков соли и напряжения трения ветра, формировались на основе данных ECMWF ERA Interim.

В таблицах 3.1–1 и 3.1–2 представлены расчетные значения повторяемости ветра и суммарных течений для района рассматриваемого аварийного сценария.

Таблица 3.1–1: Таблица повторяемости ветра по направлениям и градациям скорости для летних условий в районе работ

Скорость, м/с	Румбы								Повторяемость, %
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0–5	2,4	4,7	8,9	16,2	14,4	5,6	2,4	1,8	56,4
5–10	0,9	1,3	5,6	12,6	13,6	4,7	0,5	0,1	39,5
>=10	0,1	0,0	0,0	0,7	3,4	0,0	0,0	0,0	4,2
Статистические значения									
макс. скорость	11,1	7,7	8,8	11,0	14,2	8,7	9,7	5,7	–
ср. скорость	3,7	3,4	4,1	4,9	5,8	4,8	3,8	2,9	–

Таблица 3.1–2: Таблица повторяемости поверхностных суммарных течений по направлениям и градациям скорости в районе работ

Скорость, см/с	Румбы								Повторяемость, %
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0–10	1,8	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	8,7
10–20	3,7	2,6	1,3	1,5	2,5	2,4	2,0	1,8	17,8
20–30	4,1	3,6	0,3	0,7	2,6	3,2	0,7	0,1	15,4
30–40	3,9	3,4	0,0	0,1	2,5	3,0	0,1	0,0	13,1
40–50	2,6	3,2	0,0	0,0	2,3	2,4	0,0	0,0	10,5
50–60	2,1	2,8	0,0	0,0	2,2	2,5	0,0	0,0	9,7
60–70	1,5	3,0	0,0	0,0	2,1	2,1	0,0	0,0	8,8
70–80	1,1	2,3	0,0	0,0	1,8	1,6	0,0	0,0	6,8
80–90	0,6	1,3	0,0	0,0	1,6	1,5	0,0	0,0	5,0
90–100	0,2	0,8	0,0	0,0	1,0	0,8	0,0	0,0	2,9
100–110	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	1,1
110–120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3
>=130	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Статистические значения									
макс. скорость	106,5	111,2	28,1	33,5	123,3	120,1	35,6	22,5	–
ср. скорость	36,6	46,6	13,0	15,6	49,2	46,8	15,1	12,2	–

Для верификации расчетных полей приводного ветра и поверхностных течений применялись следующие данные:

- ◆ данные прибрежных ГМС Охотского моря. Анализ синхронных данных реанализа и ГМС показывает, что в большинстве случаев отмечается хорошее совпадение направления ветра на береговых станциях и в ближайших точках сетки реанализа. Коэффициенты корреляции (для рядов длиной 7200 элементов) модулей скорости ветра оставляют 0,47–0,93 (в среднем 0,73), для зональной составляющей 0,59–0,87 (0,68), для меридиональной – 0,41–0,73 (0,59). Сезонные тенденции ветрового режима, выявленные на основе данных реанализа, сопоставимы с результатами, полученными по данным береговых ГМС. Пример сравнительной картины ветра на ГМС и по данным реанализа приведен на рисунке 3.1–1;
- ◆ данные диагностических расчетов течений по другим моделям (Лучин, 1987). На рисунках 3.1–2–3.1–5 показаны сравнение расчетных схем течений, которые показывают, в целом, идентичную картину;
- ◆ данные инструментальных наблюдений за течениями (для района северо-восточного Сахалина). Алгоритм, которым следовали при верификации по инструментальным течениям следующий: из временного ряда течений, измеренных инструментально, удалялись все приливные компоненты; затем полученный ряд сглаживался методом скользящего среднего с периодом трое суток; затем полученный ряд инструментальных течений осреднялся посуточно. Полученный ряд остаточных среднесуточных инструментальных течений сравнивался с аналогичным рядом течений, полученного при помощи моделирования. Корреляционный анализ показывает хорошую сходимость расчетных течений с результатами измерений (результаты анализа приведены ниже);
- ◆ данные спутниковой альтиметрии (для северо-восточной части Охотского моря), а именно данные аномалии геострофических течений на поверхности (Data Unification and Altimeter Combination System Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO in France)). В качестве среднеклиматических данных брались данные проекта ECCO2 (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean, Phase II: High-Resolution Global-Ocean and Sea-Ice Data Synthesis), который представляет собой попытку ассимиляции всех имеющихся на настоящий момент результатов прямых измерений, спутниковой альтиметрии, данных дрейфующих буев и пр. Течения на поверхности, которые представляют собой сумму климатической средней из проекта ECCO2 и аномалий течений на поверхности из данных спутниковой альтиметрии AVISO. Корреляционный анализ показывает удовлетворительную сходимость результатов, наиболее хорошие результаты характерны для прибрежной зоны с коэффициентами корреляции до 0,8–1. Пример представлен на рисунке 3.1–6.

На основании вышесказанного, можно констатировать, что расчетные гидрометеорологические поля получены с использованием подходящей физико-математической модели, в целом, соответствуют режимным характеристикам района исследований и могут использоваться для диагностических целей, включая оценку переноса пленочных загрязнений.

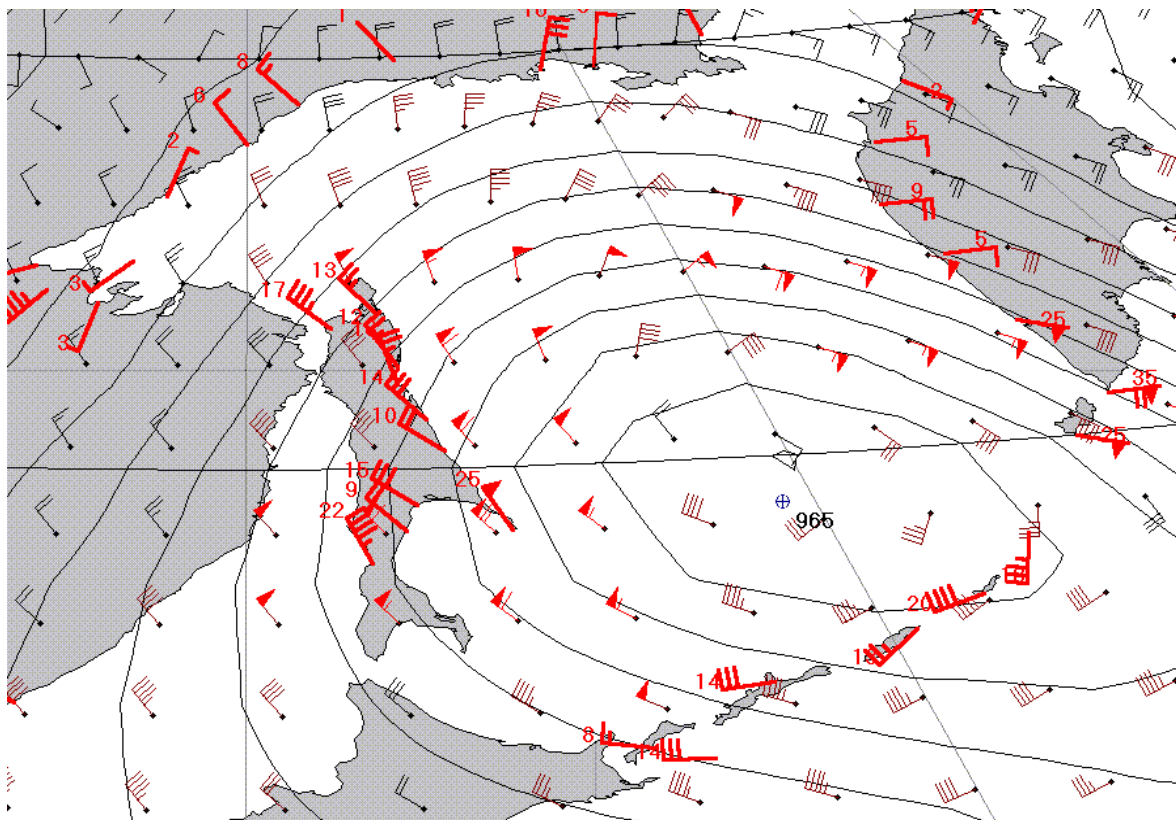


Рисунок 3.1–1: Поле ветра за 28 января 1989 года за 00 СГВ по данным проекта Reanalysis Project NCEP/NCAR и ветер по данным метеорологических станций

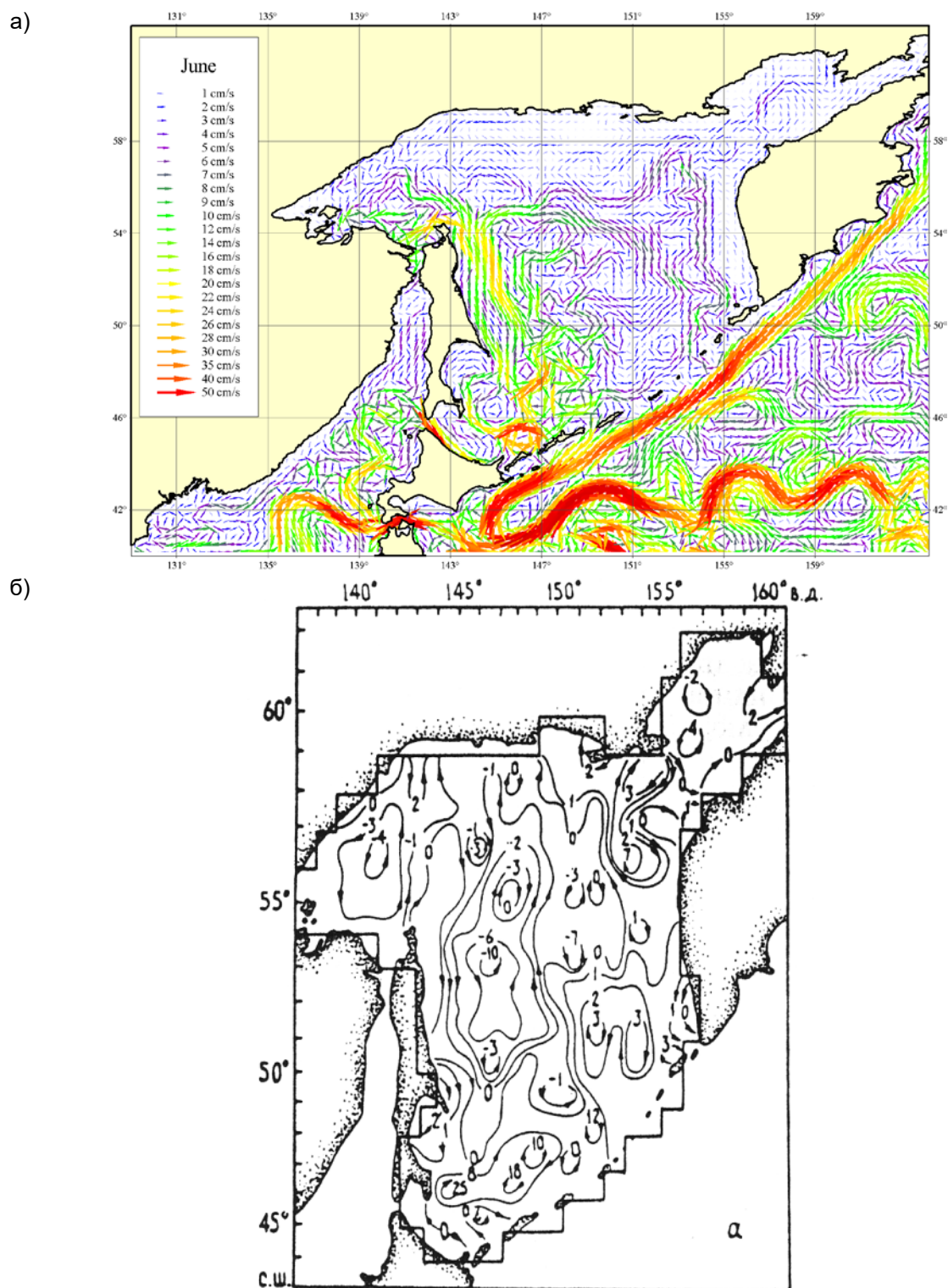


Рисунок 3.1–2: Течения в поверхностном слое исследуемого района в июне

а – результаты прогностического моделирования; б – результаты диагностических расчетов

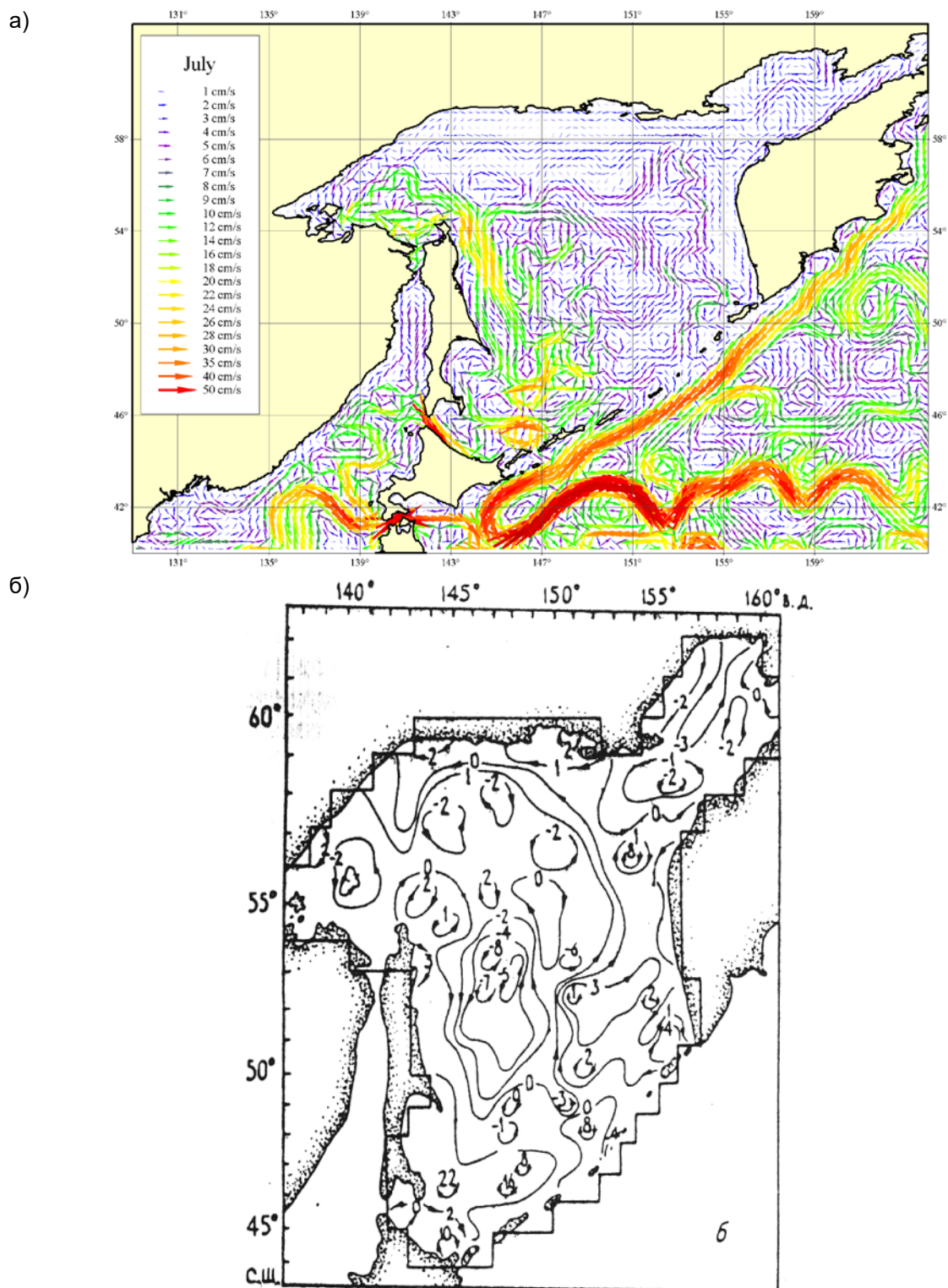


Рисунок 3.1–3: Течения в поверхностном слое исследуемого района в июле

а – результаты прогностического моделирования; б – результаты диагностических расчетов

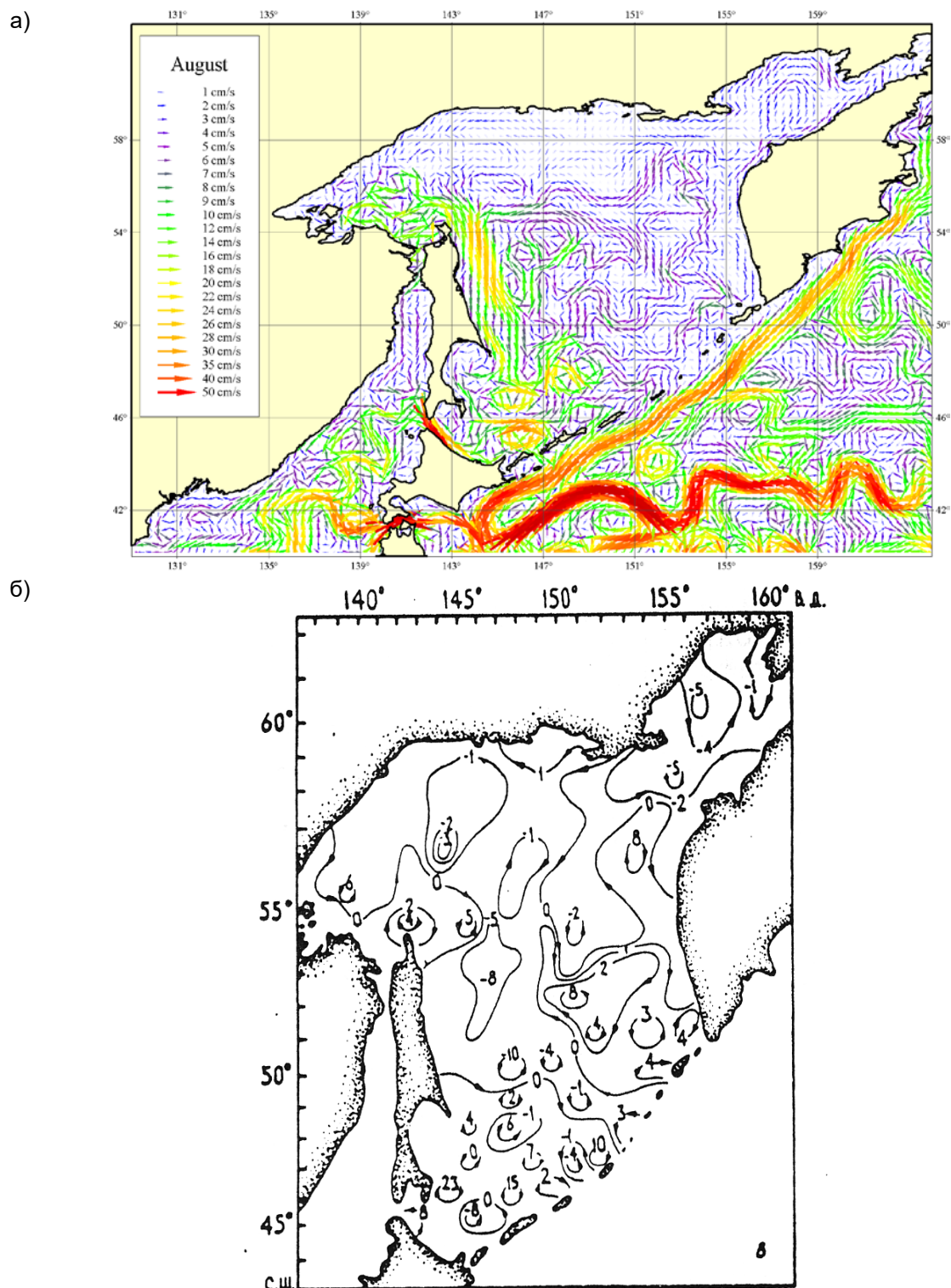
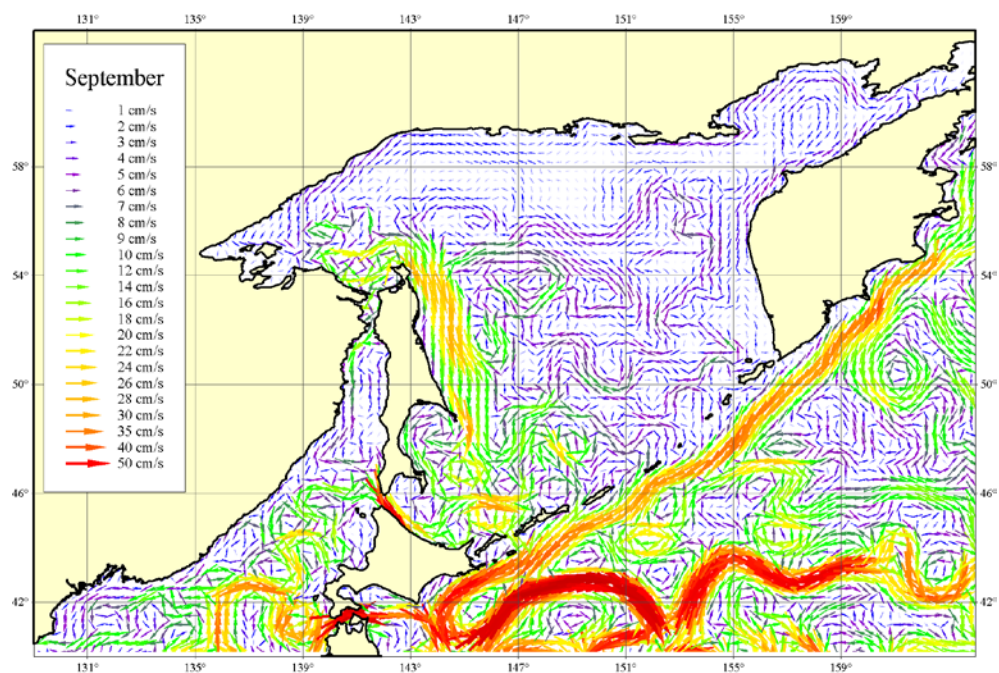


Рисунок 3.1–4: Течения в поверхностном слое исследуемого района в августе

а – результаты прогностического моделирования; б – результаты диагностических расчетов

а)



б)

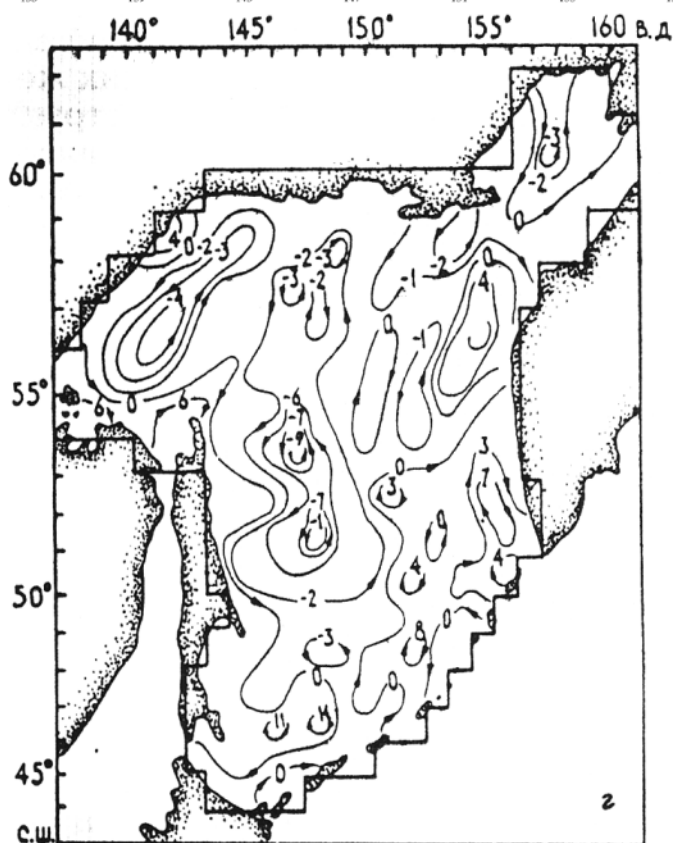


Рисунок 3.1–5: Течения в поверхностном слое исследуемого района в сентябре

а – результаты прогностического моделирования; б – результаты диагностических расчетов

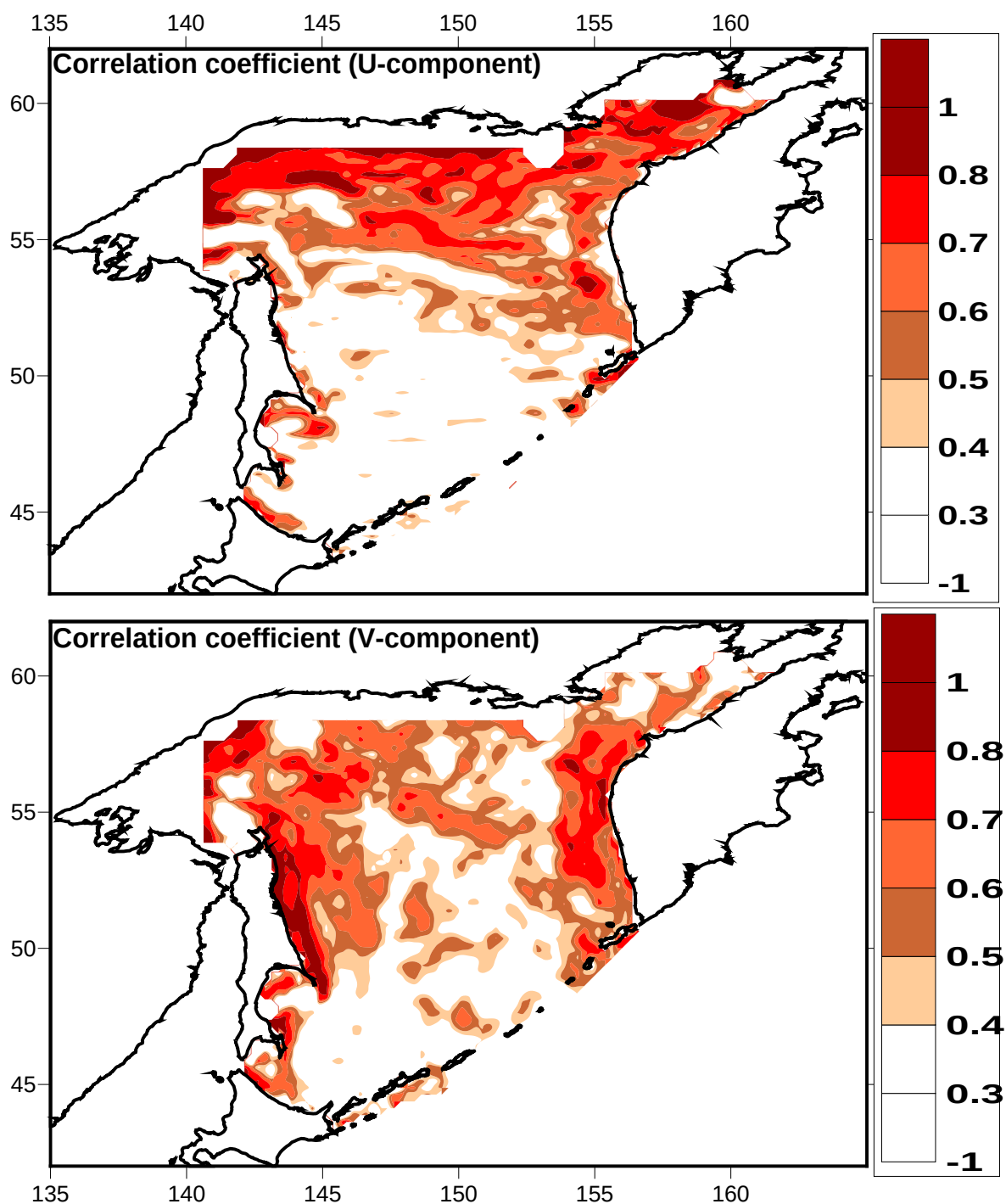


Рисунок 3.1–6: Верификация результатов моделирования по данным спутниковых наблюдений за уровнем моря (AVISO+ECCO2)

Коэффициент корреляции широтной (вверху) и меридиональной (внизу) скоростей поверхностного течения

3.2 Типовые гидрометеорологические ситуации

Для описания типовых сценариев поведения нефтяного пятна проводилось диагностическое моделирование, при котором поведение нефти на морской поверхности описывалось типовыми

метеорологическими условиями, формирующими определенное поле остаточных течений. Построение типовых метеорологических условий проводилось по следующему сценарию:

1. На основе данных приводного ветра за 10-летний период строилась таблица повторяемости ветра по направлениям и грациям скорости (таблица 3.1–1).
2. На основе анализа таблицы повторяемости и ветровых характеристик района выделены 2 типовые метеорологические ситуации (таблица 3.2–1).

Для каждой из этих типовых ситуаций производился поиск наиболее близкой и непрерывной метеоситуации из прогностического ряда приводного ветра за 10 лет с учетом заданных критериев толерантности (по силе ветра: для слабых ветров $2,5 \pm 2,5$ м/с, для умеренных свыше 5 м/с 10 ± 5 м/с; по направлению: $\pm 22,5^\circ$; критерий непрерывности – отклонение не более 2-х одночасовых сроков).

В результате были получены даты начала квазиреальных метеоситуаций из ряда 10-летнего ретроспективного прогноза, наиболее близко соответствующих выбранным типовым метеоситуациям. Для этих квазиреальных метеоситуаций проводилось диагностическое моделирование.

Параметры выявленных типовых г/м условий представлены в таблице 3.2–1.

Таблица 3.2–1: Типовые ситуации приводного ветра в районе работ для летних условий

Кодировка г/м ситуации	Описание	Критерии отбора типовой ситуации		Повторяемость, %	Средний вектор приводного ветра в районе разлива	
		Сила, м/с	Направление, град.		Сила, м/с	Направление, град.
1	Слабые Ю ветра 1–5 м/с	$2,5 \pm 2,5$	–	56,4	1,9	227
2	Умеренные Ю ветра >5 м/с	10 ± 5	–	39,5	7,2	188

Расчет средних геометрических характеристик нефтяного пятна (площадь и толщина пятна) и изменение балансовых и физических характеристик разлива проводился для средних гидрометеорологических условий района проведения работ: скорость ветра 5 м/с, температура морской воды 12°C , фоновая концентрация взвешенных веществ 5–30 мг/л.

Расчет моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проводился для всех возможных направлений ветра и средней скорости ветра 5 м/с, при средней температуре воздуха $12,8^\circ\text{C}$. Фоновое содержание ЗВ в атмосферном воздухе принято нулевым.

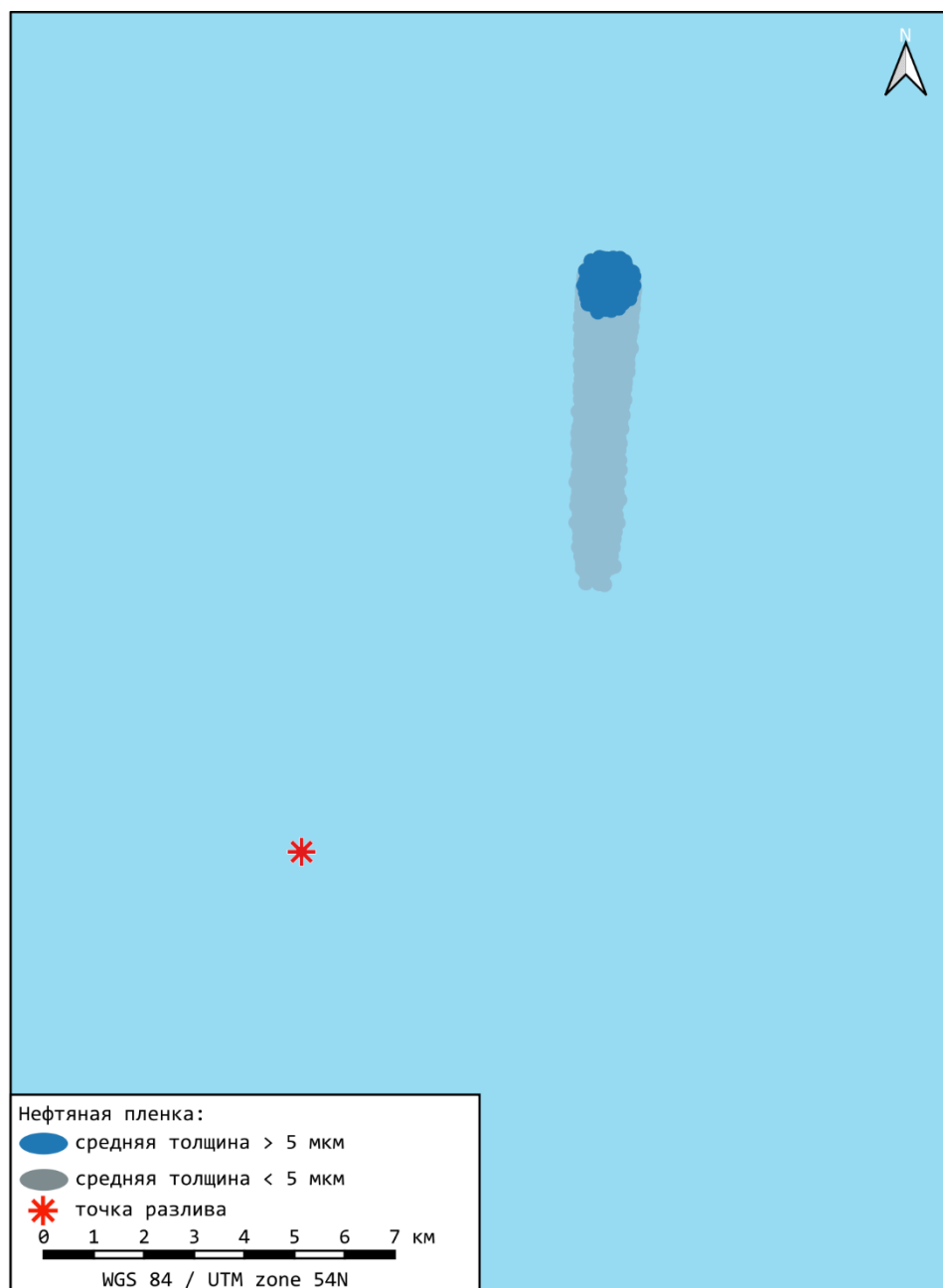
4 Результаты моделирования разливов нефтепродукта в морской среде

4.1 Временные области возможного нахождения загрязнения

Форма нефтяного загрязнения для мгновенного разлива нефтепродукта представляет собой округлую форму в начальный момент разлива и вытягивающее в дальнейшем по направлению ветра (рисунок 4.1–1). Характерные геометрические характеристики нефтяного загрязнения для представлены в таблице 4.4–1. Исчезновение пятна нефтепродукта с морской поверхности прогнозируется через 36 ч после разлива при средних метеорологических условиях (таблица 4.4–1 на стр.28).

Для всех ниже рисунков результаты представлены для средней толщины нефтяной пленки не менее 5 мкм.

На рисунке 4.1–2 представлены максимальные временные области, в пределах которых возможно нахождение разлива нефтепродуктов за определенное время, прошедшее со времени разлива (следует не путать эти области с площадью пятна разлива, которое будет на порядки ниже представленных областей). Временные области получены на основе перебора всех возможных гидрометеорологических сценариев для моделируемого сценария разлива. Временные области показывают максимальные границы возможного воздействия на акваторию на заданные моменты времени.



**Рисунок 4.1–1: Типовая форма нефтяного загрязнения
через 5 ч после разлива. Разлив 190,2 м³ СМТ**

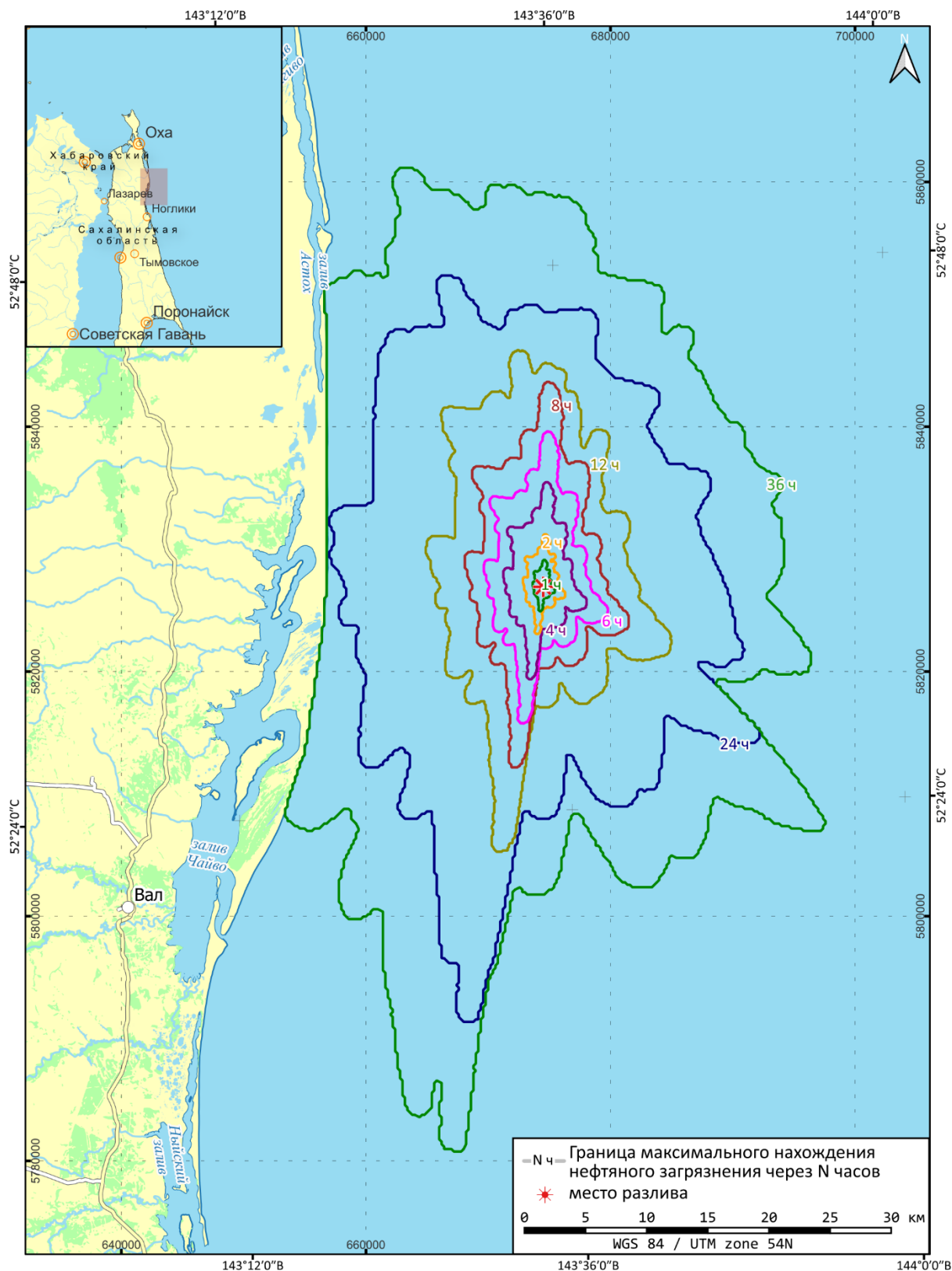


Рисунок 4.1–2: Временные области возможного нахождения загрязнения за 1–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м³ СМТ

4.2 Толщина пленки и вероятностные характеристики возможного положения загрязнения

На рисунке 4.2–1 представлены статистические области с максимальной толщиной нефтяной пленки на морской акватории. Эти области дают пространственное распределение максимальной толщины на поверхности в районе разлива. Построение такой области основано на разбивке района на ячейки равномерной сетки и присвоении максимального значения толщины пятна в те ячейки, куда попадает нефтяное пятно по всем просчитанным сценариям. Затем строится карта изолиний, окружающих ячейки сетки с заданными значениями (100, 50, 30, 20, 10 и 5 мкм).

На рисунке 4.2–2 представлены области вероятностного нахождения нефтяного загрязнения в районе проведения работ. По вероятностным областям можно определять морские районы с той или иной вероятностью попадания туда нефтяного загрязнения в течение заданного промежутка времени. Построение такой области основано на разбивке района на ячейки равномерной сетки и подсчете относительного (от общего числа) количества маркеров, попадающих в каждую ячейку на протяжении заданного периода времени после начала разлива для всех просчитанных сценариев. Затем строится карта изолиний, окружающих ячейки сетки с суммой значений, равной заданной вероятности (1, 5, 10, 30, 50 и 80%).

На рисунке 4.2–3 представлена диаграмма вероятностного переноса нефтяного загрязнения относительно источника разлива. Построение диаграммы производится путем подсчета относительного количества плавающих на поверхности маркеров в каждом секторе в течение всего периода расчетов.

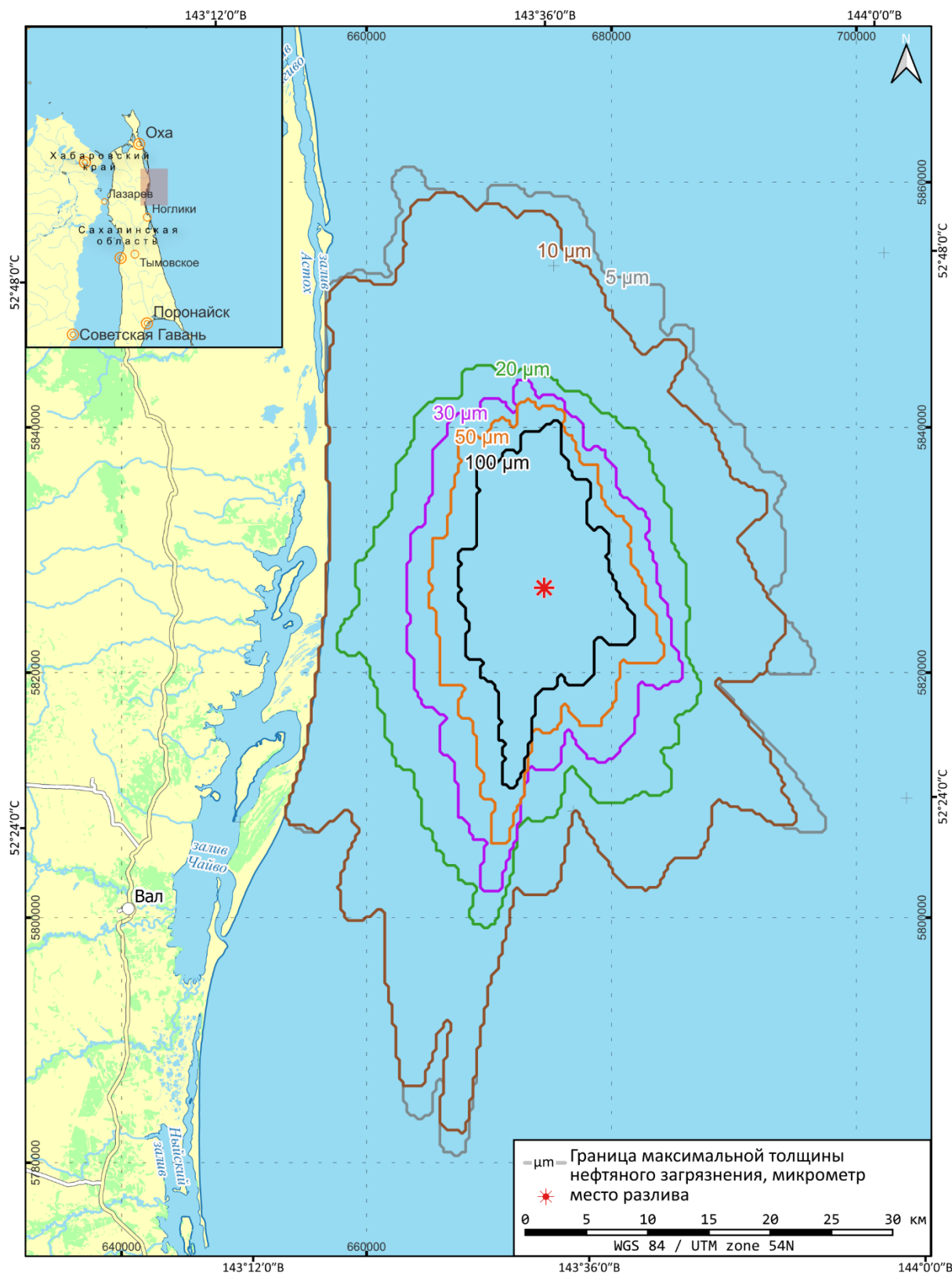


Рисунок 4.2–1: Статистические области максимальной толщины пятна нефтепродукта за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м³ СМТ

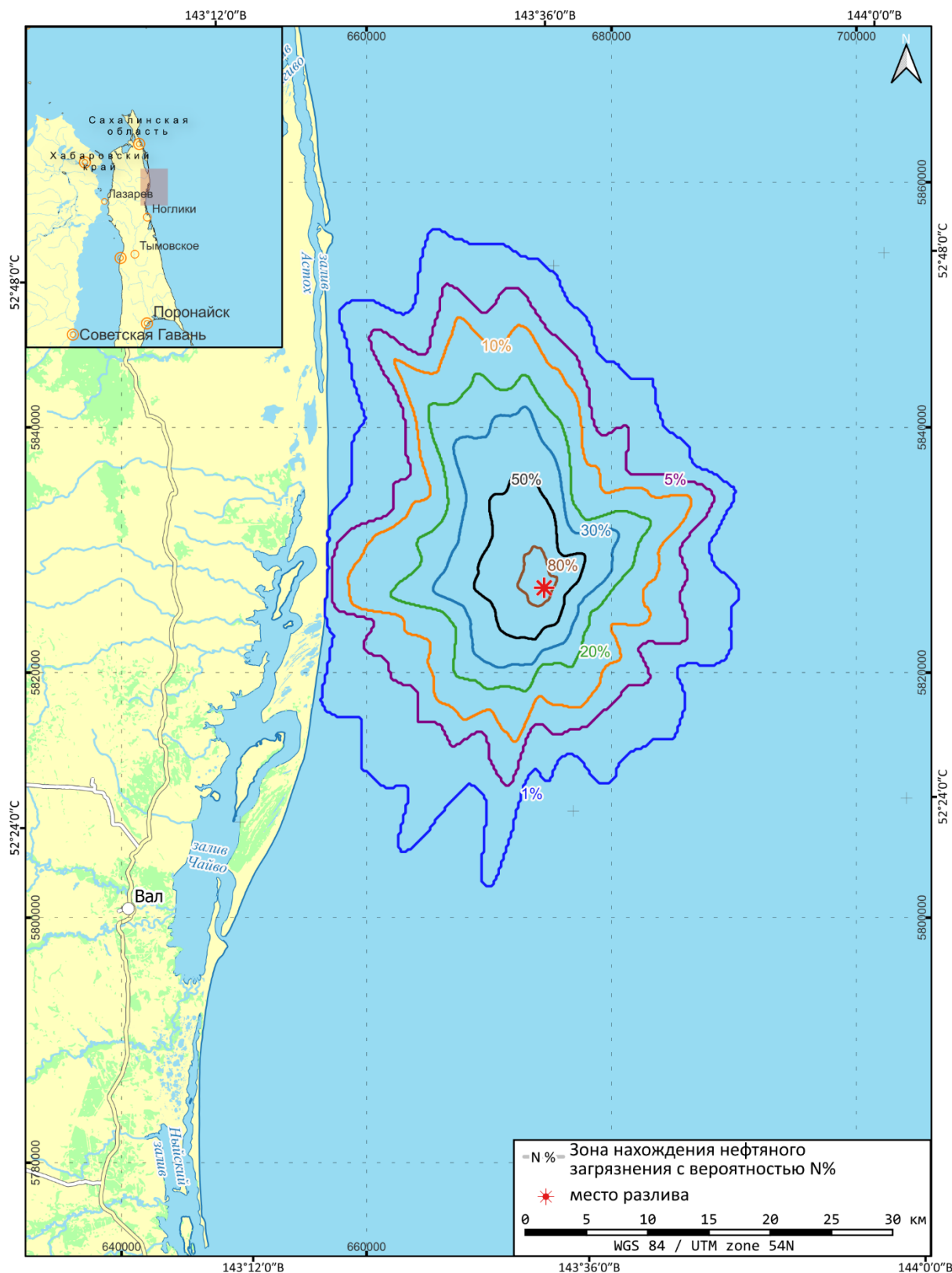


Рисунок 4.2–2: Области вероятности нахождения нефтяного загрязнения за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м³ СМТ

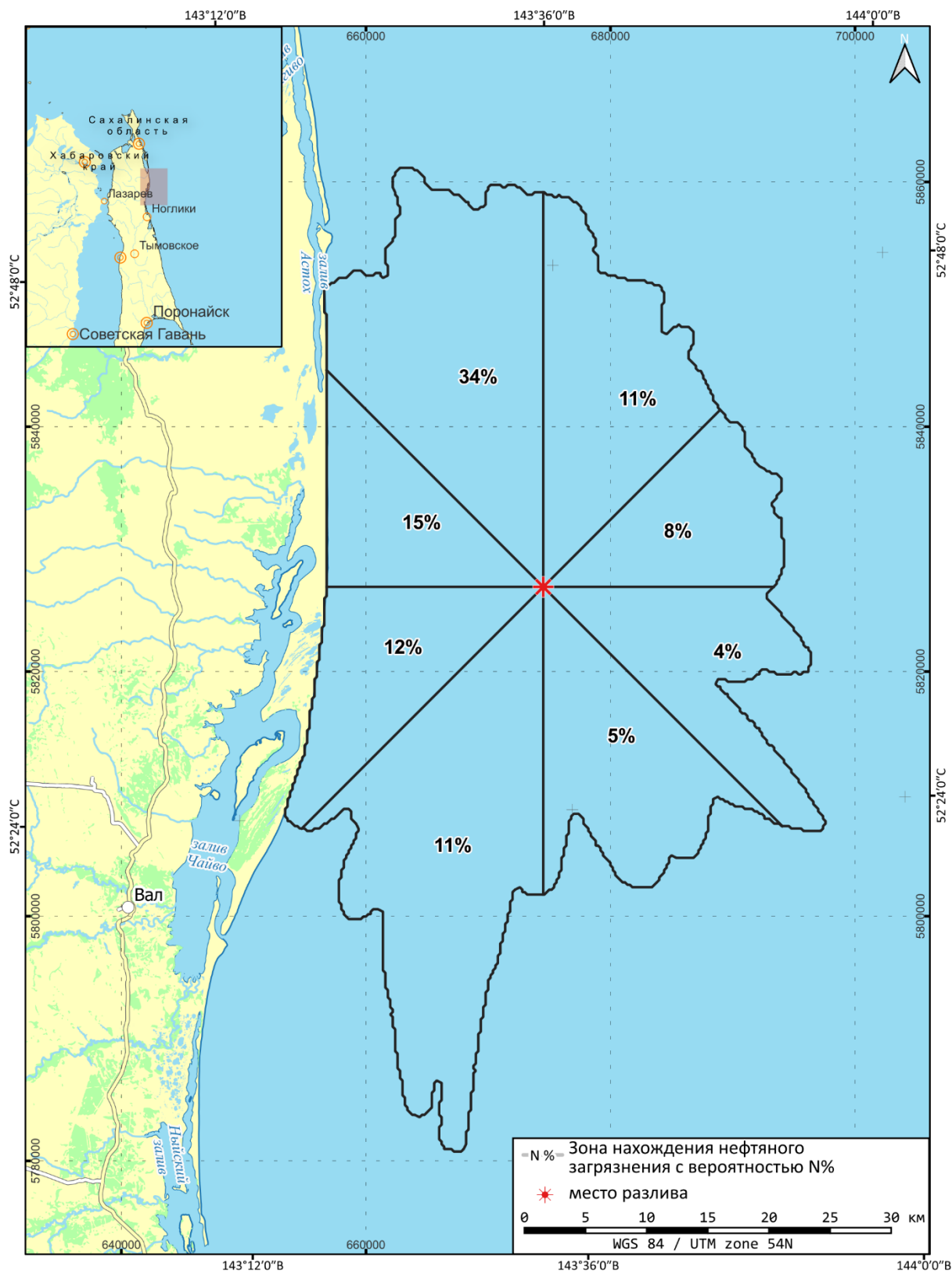


Рисунок 4.2-3: Диаграмма вероятностного переноса нефтяного загрязнения за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м³ CMT

4.3 Воздействие на побережье и зоны охраны китов

Потенциальные зоны поражения береговой линии показывают: зоны возможного выхода нефтяного загрязнения на берег, вероятность выхода нефтепродуктов на этот участок, наименьшее время выхода, прошедшего с начала разлива, и с указанием максимально возможного объема нефтяного загрязнения на конкретном участке побережья с учетом его нефтеемкости. В зависимости от конфигурации, побережье делится на сегменты длиной ~2 км. Под вероятностью поражения береговой линии здесь следует понимать частоту случаев касания нефтяного загрязнения берега, включая частичный или полный выход на берег. Необходимо различать вероятность выхода нефтяного загрязнения на берег и процент выхода на берег, который показывает, какая часть нефтяного пятна вышла на берег.

В таблице 4.3–1 приводятся значения с общей вероятностью поражения береговой черты в зависимости от времени, прошедшего с начала разлива, а также средние и максимальные значения длины и объема нефтепродукта при воздействии на береговую черту. Следует учитывать, что при выходе нефтепродукта на берег, процессы выветривания, происходящие в пятне нефтепродукта замедляются. При расчетах использовался объем нефтепродукта в момент выхода на берег. В связи с этим, в некоторых случаях общая масса нефтепродукта, находящегося на берегу, может превосходить массу нефтяной пленки в воде на тот же момент времени для других случаев переноса нефтепродукта без выхода на берег.

На рисунке 4.3–2 приводится график с вероятным распределением протяженности береговой линии загрязненной в результате нефтяного разлива.

В графике 4.3–3 показываются значения с общей вероятностью воздействия/нахождения нефтяного загрязнения в зонах охраны китов (рисунок 2.1–1) в зависимости от времени, прошедшего с начала разлива, а также средние значения объемов нефтепродукта при воздействии на эти зоны.

**Таблица 4.3–1: Статистические результаты по воздействию на побережье.
Разлив 190,2 м³ СМТ**

Время после начала разлива, ч	Общая вероятность загрязнения берега, %	Протяженность воздействия на берег, км		Объем нефтепродукта на берегу, м³		Наименьшее время выхода на берег, ч
		средн.	макс.	средн.	макс.	
0–26	0,2	1,15	2,05	6	16	24,33
0–28	0,7	1,71	2,50	18	38	
0–30	1,4	1,84	2,65	28	66	
0–32	2,5	1,99	2,85	34	71	
0–34	3,6	2,14	3,30	42	77	
0–36	5,2	2,24	3,85	44	80	

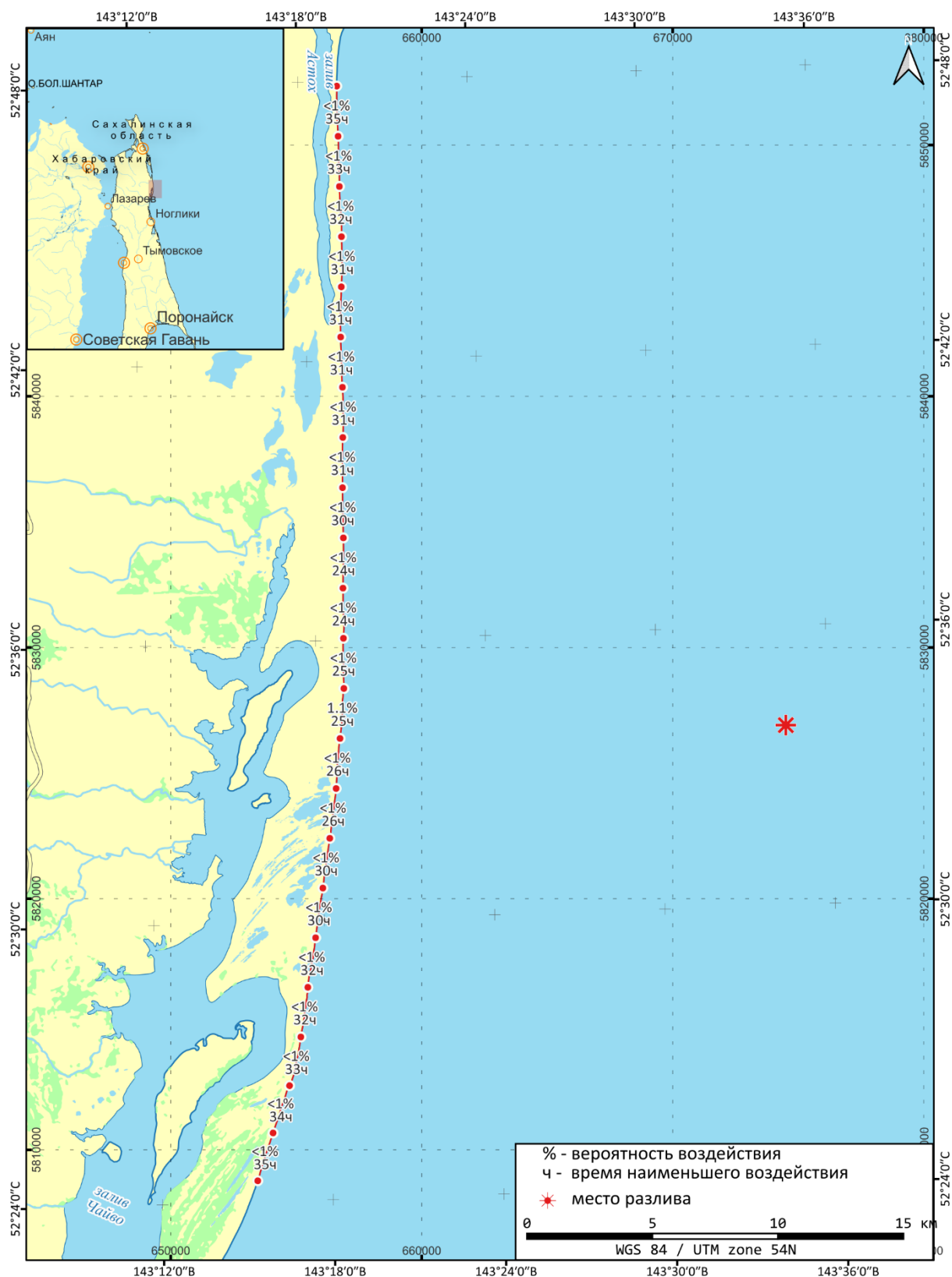


Рисунок 4.3–1: Потенциальные зоны поражения береговой линии за 0–36 ч после разлива (рассчитаны по 11 тыс. гидрометеорологическим ситуациям за 10 лет). Разлив 190,2 м³ СМТ

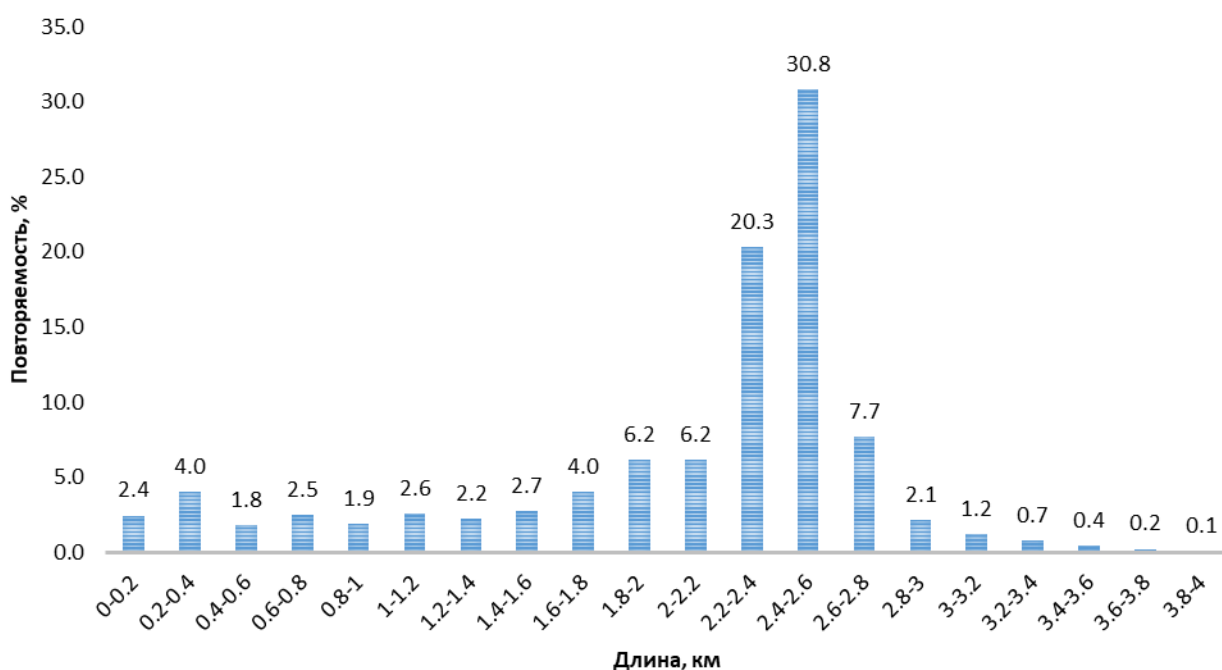


Рисунок 4.3–2: Статистическое распределение протяженности береговой полосы загрязненной СМТ за 0–36 ч после разлива. Разлив 190,2 м³ СМТ

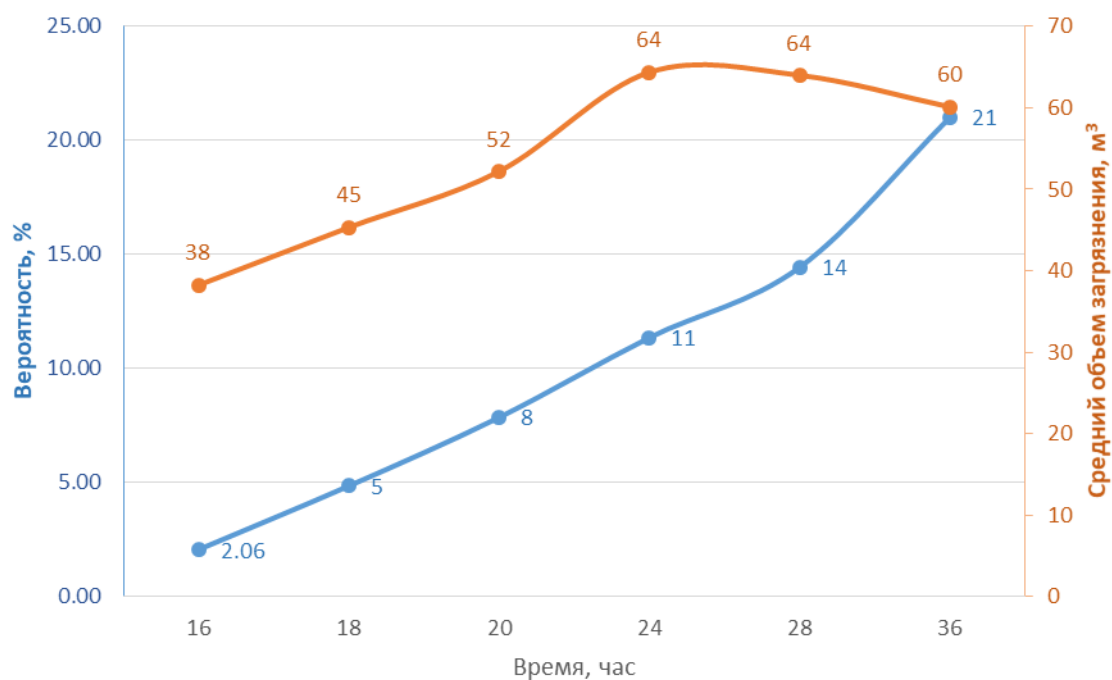


Рисунок 4.3–3: Статистические результаты по воздействию на прибрежную (Пильтунскую) зону охраны серых китов. Разлив 190,2 м³ СМТ

4.4 Геометрические размеры разлива и его физико-химические параметры

В таблице 4.4–1 приводятся значения, показывающие изменение геометрических размеров разлива на поверхности (ширины, длины,

средней площади и толщины пятна нефтепродукта). Площадь и толщина пятна нефтепродуктов приводятся с учетом процессов испарения, диспергирования для средних гидрометеорологических условий (скорость ветра 5 м/с, температура морской воды 12°C).

В таблице 4.4–2 приводятся изменение физических свойств нефтепродукта на морской поверхности и балансовое соотношение нефтепродукта.

Таблица 4.4–1: Средние геометрические характеристики пятна нефтепродукта. Разлив 190,2 м³ СМТ

Время после начала разлива, ч	Размеры пятна, м		Площадь, км²	Толщина нефтяной пленки, мм
	ширина	длина		
1	287	313	0,07	2,688
2	380	425	0,13	1,490
4	638	714	0,36	0,513
6	865	968	0,66	0,266
8	1074	1201	1,01	0,160
12	1455	1628	1,86	0,072
24	2448	2738	5,26	0,013
36	3305	3698	9,60	0,004

Таблица 4.4–2: Изменение физических свойств и балансовое соотношение нефтепродукта. Разлив 190,2 м³ СМТ

Время после начала разлива, ч	Плотность, кг/м³	Вязкость, сСт	Испарилось, м³	Диспергировано, м³	Всего СМТ на поверхности	
					м³	%
1	894	15	0,48	0,04	189,7	99,7
2	895	15	1,43	0,11	188,7	99,2
4	899	17	6	0,51	183,8	96,7
6	906	23	14	1,34	174,8	91,9
8	915	33	25	2,68	162,4	85,4
12	935	71	48	7	134,6	70,8
24	972	297	92	28	70,6	37,1
36	991	620	114	42	33,7	17,7

4.5 Внутримассовое загрязнение

В таблице 4.5–1 приводятся характеристики внутримассового переноса для типовых ветровых ситуаций (таблица 3.2–1), показывающие изменение характеристик загрязнения водной толщи после начала разлива: средние и максимальные значения концентрации нефтяных углеводородов (НУ) в толще воды на глубине до 10 м, объем водной толщи, в которой присутствует нефтяное загрязнение, средние и максимальные значения концентрации ЗВ в донных отложениях, площадь донных осадков.

**Таблица 4.5–1: Характеристика загрязнения водной толщи и морского дна.
Разлив 190,2 м³ СМТ**

Время, ч	Концентрация НУ в толще воды, мг/л		Объем загр. воды, тыс. м³	Концентрация НУ в донных осадках, мг/кг		Площадь загрязненного дна, тыс. м²
	ср.	макс.		ср.	макс.	
Ситуация №1. Слабые ветра 1–5 м/с						
1	0,002	0,010	5 900	<0,001	<0,001	15750
2	0,004	0,016	10 900	<0,001	<0,001	21250
4	0,007	0,032	22 500	<0,001	<0,001	26750
6	0,010	0,042	40 500	<0,001	<0,001	40750
8	0,011	0,056	62 000	<0,001	<0,001	66750
12	0,017	0,083	103 300	<0,001	<0,001	129500
24	0,013	0,060	273 200	<0,001	0,001	269500
36	0,007	0,044	464 300	<0,001	0,001	376250
Ситуация №2. Умеренные ветра более 5 м/с						
1	0,124	0,827	16 900	<0,001	0,002	20500
2	0,214	1,335	31 400	0,001	0,007	36500
4	0,374	1,911	63 200	0,003	0,023	60000
6	0,530	2,367	98 600	0,006	0,051	73750
8	0,570	2,881	149 900	0,009	0,088	95000
12	0,286	1,826	272 400	0,008	0,089	177250
24	0,172	1,275	362 700	0,003	0,089	411500
36	0,141	1,121	405 300	0,003	0,089	470500

5 Результаты расчета выбросов в атмосферу

Количество поступающих в атмосферу веществ при испарении разлитого нефтепродукта за 36 ч, по результатам моделирования, представлено в таблицах 4.5–1–4.5–2.

Состав паров СМТ идентифицирован в соответствии с действующими нормативно-методическими документами (Дополнение..., 1999): 99,72% предельных углеводородов C₁₂–C₁₉ и 0,28% сероводорода.

Расчетное количество поступающих в атмосферу веществ при испарении разлитого нефтепродукта представлено в табл. 4.5–1 и 4.5–2.

Таблица 4.5–1: Максимальные выбросы 3В при разливе 190,2 м³ СМТ (Сц.№1)

Время от начала разлива, ч	Площадь пятна, м²	Скорость поступления паров СМТ (М), г/с	Выбросы 3В (Mi), г/с	
			Сероводород	Алканы C ₁₂ –C ₁₉
			Код 0333 (сi 0,28% масс.)	Код 2754 (сi 99,72% масс.)
1	70 577	119,2	0,33	118,87
2	126 614	236,3	0,66	235,65
4	358 118	553,9	1,55	552,38

Время от начала разлива, ч	Площадь пятна, м ²	Скорость поступления паров СМТ (М), г/с	Выбросы ЗВ (Мi), г/с	
			Сероводород	Алканы C ₁₂ –C ₁₉
			Код 0333 (сi 0,28% масс.)	Код 2754 (сi 99,72% масс.)
6	657 905	1041,3	2,92	1 038,39
8	1 012 911	1419,3	3,97	1 415,37
10	1 415 586	1577,8	4,42	1 573,42
12	1 860 836	1524,2	4,27	1 519,93
18	3 418 574	1200,9	3,36	1 197,51
20	4 003 881	929,5	2,60	926,93
24	5 263 238	798,8	2,24	796,53
36	9 599 252	552,7	1,55	551,17
Примечание: $M_i = M \cdot c_i$, г/с				

Таблица 4.5–2: Валовые выбросы ЗВ при разливе 190,2 м³ СМТ (Сц.№1)

Код вещества	Наименование ЗВ	Выброс ЗВ, т
0333	Сероводород	0,32
2754	Алканы C ₁₂ –C ₁₉	113,01

При разливе топлива на акватории возгорания не ожидается, поскольку горение возможно только при толщине более 5 мм (Техника и технология..., 2008), для рассмотренного сценария толщина слоя топлива составит менее 3 мм (таблица 4.4–1 на стр. 28).

6 Расчет объемов образования отходов производства и потребления при ликвидации аварийных ситуаций

6.1 Грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами

В случае разлива на акватории и выхода нефтепродукта на берег может быть загрязнено до 3,9 км побережья (вероятность менее 0,1%) и остаться на берегу до 80 м³ (71,2 т при плотности 0,89 т/м³) нефтепродукта (таблица 4.3–1, на стр. 25). Оценочно принимается, что до 20% грунта будет иметь сильное загрязнение (более 15% нефти), в среднем содержание нефти/нефтепродуктов – 31% (согласно паспорта отхода). Остальные 80% (менее 15% нефти/нефтепродуктов) грунта с содержанием нефти/нефтепродуктов 1,82% (согласно паспорта отхода). Тогда масса образования грунта, загрязненного нефтепродуктами, составит:

$$M_{>15\%} = (71,2 \text{ т} \times 0,2) / (31 \div 100\%) = 45,935 \text{ т.}$$

$$M_{<15\%} = (71,2 \text{ т} \times 0,8) / (1,82 \div 100\%) = 3129,670 \text{ т.}$$

6.2 Отходы зачистки и промывки оборудования для хранения, транспортирования и обработки нефти и нефтепродуктов (воды с содержанием нефтепродуктов менее 15%)

Отход образуется при очистке нефтезагрязненного оборудования ЛРН на палубах судов ЛРН с помощью мойки под высоким давлением с использованием забортной морской воды (принято консервативно до 30 м³ на каждое судно, на 2 судах).

Таблица 6.2–1: Отходы зачистки и промывки оборудования для хранения, транспортирования и обработки нефти и нефтепродуктов (воды с содержанием нефтепродуктов менее 15%)

Объем воды для промывки, м ³	Масса образования отхода, т
60	60

6.3 Сорбенты из синтетических материалов (кроме текстильных), отработанные при локализации и ликвидации разливов нефти или нефтепродуктов (содержание нефти и нефтепродуктов 15% и более)

Масса нефтепродукта на берегу – 71,2 т (согласно п.6.1). Коэффициент нефтенасыщения сорбентом принято консервативно – 9 кг/кг (Техника и технологии..., 2008).

Таблица 6.3–1: Отходы сорбентов, загрязненные опасными веществами (сорбирующие материалы полипропиленовые, загрязненные нефтепродуктами 15% и более)

Наименование средств сорбционной очистки	Масса нефтепродукта, кг	К-т нефтенасыщения	Норматив образования отхода, т
Нефтяной сорбент (универсальный гидрофобный)	71200	9 кг/кг	$71200 \div 9 \div 1000 = 7,911$

6.4 Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более)

В расчетах нормативного количества образования вида отхода использован документ:

- ♦ Методическая разработка «Оценка количеств образующихся отходов производства и потребления». — СПб., 1997.

Количество персонала привлекаемого для разворачивания оборудования ЛРН принято консервативно – 20 чел.

Таблица 6.4–1: Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более)

$N_{ср}$, чел.	$K_{уд}$, кг/сут чел.	T , сут	Норматив образования отхода	
			т	м³
20	0,100	1	0,002	0,010

6.5 Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов 15% и более)

Спецодежду отшивают по ГОСТ 27575-87 для костюмов летних и ГОСТ 12.4.303-2016 для утепленных, вес одного комплекта костюма может быть от 3 до 6 кг, в зависимости от вида ткани. Принимаем для расчета максимальную величину 6 кг. В отход идут загрязненные нефтью элементы одежды, которые невозможно очистить и восстановить. Количество персонала привлекаемого для разворачивания оборудования ЛРН принято консервативно – 20 человек.

Таблица 6.5–1: Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов 15% и более)

$N_{ср}$, чел.	m , кг/1 костюм	n костюмов	k	Норматив образования отхода	
				т	м³
20	6	1,00	1,20	0,144	0,72

6.6 Оценка общего количества образования отходов при аварийном разливе

Таблица 6.6–1: Оценка общего количества образования отходов при аварийном разливе

Наименование вида отхода	Код по ФККО	Класс опасности	Норматив образования отхода за период работ, т
Грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более)	9 31 100 01 39 3	3	45,935
Сорбенты из синтетических материалов (кроме текстильных), отработанные при локализации и ликвидации разливов нефти или нефтепродуктов (содержание нефти и нефтепродуктов 15% и более)	9 31 215 12 29 3	3	7,911
Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов 15% и более)	4 02 311 01 62 3	3	0,144
Обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15 % и более)	9 19 204 01 60 3	3	0,002
Итого 3 класса			53,992
Грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15%)	9 31 100 03 39 4	4	3129,670
Воды от промывки оборудования для транспортирования и хранения нефти и/или нефтепродуктов (содержание нефтепродуктов менее 15%)	9 11 200 62 31 4	4	60,000
Итого 4 класса			3189,670
Всего			3243,662

7 Список используемых источников

Нормативно-правовые акты и нормативно-технические документы

1. ГОСТ 32510-2013. Топлива судовые. Технические условия.
2. ГОСТ 12.4.303-2016. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур.
3. ГОСТ 27575-87. Костюмы мужские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические условия, 1990.
4. Дополнения к Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров, СПб, 1999.
5. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – СПб., 2015 (ред. 2021).

Литературные и прочие источники

6. Кочергин И.Е. и др. О технологии моделирования нефтяных разливов на шельфе восточного Сахалина в рамках проведения оценки их воздействия на окружающую среду (ОВОС) / И.Е. Кочергин, А.А. Богдановский, В.Д. Будаева и др. // Тематический вып. ДВНИГМИ №1. – Владивосток: Дальнаука, 1998.
7. Кочергин И.Е. и др. Построение гидрометеорологических сценариев для задач оценки воздействия на окружающую среду / И.Е. Кочергин, А.А. Богдановский, В.Д. Будаева и др. // Тематический вып. ДВНИГМИ №3. – Владивосток: Дальнаука, 2000.
8. Кочергин И.Е. и др. Характеристики вероятных сценариев разлива нефти для Сахалинского шельфа по результатам моделирования / И.Е. Кочергин, А.А. Богдановский, В.Ф. Мишуков и др. // Тематический вып. ДВНИГМИ №2. – Владивосток: Дальнаука, 1999.
9. Расчет поверхностных течений Охотского моря 10-летний период. 2008 // Научно-исследовательский отчет по заказу ООО «РЭА – консалтинг». Отв. исп. Файман П.А. – Владивосток, 2008.
10. Техника и технологии локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008.
11. Bogdanovsky A.A. et al. Diagnostic oil spill modeling in Aniva bay and La Perouse (Soya) strait including ice conditions/ A.A. Bogdanovsky, I.E. Kochergin, S.A. Pokrashenko // Proceedings of the 18th IAHR International Symposium on Ice. Vol. 2, 28 August – 1 September, 2006, Sapporo, Japan,
12. Kochergin I.E. et al. Oil spill simulation based on «VOS» models / I.E. Kochergin, A.A. Bogdanovsky // Pacific Oceanography. Vol. 2, №1–2. – Vladivostok: FERHRI, 2004.
13. Kochergin I.E. et al. On-line oil spill modeling within Navy Exercises in the NW Pacific marginal seas / I.E. Kochergin, A.A. Bogdanovsky, I.A. Arshinov et al. // Pacific Oceanography. Vol. 1, №2 – Vladivostok: FERHRI, 2003.
14. Kochergin I.E. et al. Transport and Turbulence Characteristics for the North-Eastern Sakhalin Shelf Conditions. / I.E. Kochergin, A.A. Bogdanovsky // Proc. of the Second PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. №12, 1999.