

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ

(на примере залива Петра Великого Японского моря)

В.Ф. Мишуков, В.В. Калинчук, Г.И. Мишукова

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на акватории зал. Петра Великого наблюдается интенсификация грузопассажирских перевозок с увеличением числа и мощности портов, а также возрастание антропогенной нагрузки от прибрежных городов. Для оперативного управления движением судов и для ликвидации возможных аварийных ситуаций необходима схема расчета течений и перемещения примеси на акватории залива Петра Великого в режиме реального времени. Известные работы (Савельева, 1989; Юрасов, 1991; Файман, 2003) по расчету течений на акватории залива описывают только общую схему циркуляции вод, причем влияние приливо-отливных течений либо не учитывается, либо нивелируется за счет большого осреднения по времени. Кроме этого, в моделях не рассматривается сток р.Раздольная и наличие льда в зимних условиях, которые вызывают неоднородные и постоянно меняющиеся поля температуры и солености, что затрудняет расчет по диагностической модели (Файман, 2003).

Целью настоящей работы является расчет переноса и трансформации нефтяного загрязнения на акватории зал. Петра Великого под влиянием ветра, приливо-отливных и непериодических течений на любой заданный момент времени, причем особое внимание будет уделено районам строительства нефтеперерабатывающего комплекса на юге Приморского края.

Течения. Экспериментальные данные о течениях были получены в 1978–1980 гг. и охватывают всю северную и частично южную часть Амурского залива. Схема постановки буйковых станций приведена в работе (Ярычин, Рыков, 2003). В общей сложности было обработано около 60 буйковых станций с длительностью постановки 4–7 суток. Для получения характеристик приливных течений был использован статистический метод выделения циклических трендов с некратными частотами Андерсона (Андерсон, 1976). Перед началом гармонического анализа экспериментальные ряды течений подвергали низкочастотной фильтрации Бартлета для подавления высокочастотной части спектра течений (Монин, Яглом, 1965). Погрешность выделения гармонических постоянных не превышала 5%. В расчетах использовали две наиболее мощные гармоники суточной и полусуточной группы волн – O_1 и M_2 . Конечным результатом процесса гармонического анализа является получение амплитуд F выбранных гармоник и их фаз φ на момент проведения эксперимента при последующем расчете этих величин на любой заданный момент времени. При этом составляющие скоро-

сти приливного течения для двух основных приливных волн $u_i(l, t_n)$ и $v_i(l, t_n)$ восстанавливаются для момента времени t_n и точки пространства $l(x(t_n), y(t_n))$ по амплитуде F_i и фазе φ_i , рассчитанным по экспериментальным данным, по формулам:

$$\begin{aligned} u_i(l, t_n) &= \sum_{i=1}^2 F_i^u(l) \cos \left\{ \frac{2\pi t_n}{T_i} + \varphi_i^u(l, t_0) \right\} \\ v_i(l, t_n) &= \sum_{i=1}^2 F_i^v(l) \cos \left\{ \frac{2\pi t_n}{T_i} + \varphi_i^v(l, t_0) \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где T_i – период гармоник.

При анализе экспериментальных наблюдений за течениями после вычитания двух приливных гармоник в ряду оставались гармонические составляющие с периодами остальных приливных волн, инерционных колебаний и комбинационных приливных мод. Корреляционный анализ показал, что эти гармонические процессы вносят свой вклад в остаточные пульсационные турбулентные составляющие u_d, v_d и могут быть учтены процессом авторегрессии второго порядка (Кендал, 1981) в виде:

$$\begin{aligned} u_d(l, t_n) &= - \sum_{k=1}^2 a_k(l) u_d(l, t_{n-k}) + \alpha(l) \\ v_d(l, t_n) &= - \sum_{k=1}^2 b_k(l) v_d(l, t_{n-k}) + \beta(l), \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_k(l), b_k(l)$ – коэффициенты авторегрессии, $\alpha(l), \beta(l)$ – случайные нормально распределенные числа с нулевым средним и дисперсиями σ_u^2, σ_v^2 соответственно.

Метеорологическая характеристика района. В качестве метеорологической характеристики района моделирования были выбраны среднемноголетние данные для станций, расположенных в г. Владивостоке, так как расчет траекторий дрейфа нефтяных пятен показал, что эти станции находятся приблизительно в центре перемещений нефтяных пятен на акватории Амурского и Уссурийского заливов. Кроме этого, для привязки к реальным метеоусловиям были получены экспериментальные метеоданные за 2003–2004 гг. на метеостанции в ТОИ ДВО РАН в районе ст. Чайка.

Ветровой режим. Район характеризуется муссонным типом климата, отмечается смена направления ветра зимой и летом и резкое различие сезонов (табл. 1). Во Владивостоке с ноября по март господствует северный ветер с повторяемостью 50–73%. В мае–августе преобладают юго-восточные и южные направления с суммарной повторяемостью 64–76%. В апреле и в сентябре – октябре повторяемости северного, юго-восточного, южного ветров примерно равны 30–48%.

Средняя годовая скорость ветра равна 6.5 м/с. Наибольшая средняя месячная скорость ветра отмечается в январе и равна 7.8 м/с, наименьшая средняя месячная скорость ветра в годовом ходе наблюдается в летние месяцы и равна 5.3 м/с в августе. При прохождении глубоких циклонов зимой и тайфунов возможно усиление скорости ветра до 25 м/с и более (табл. 2). Тропиче-

Таблица 1

Повторяемость направления ветра и штилей, %

Румбы/месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Январь	73	3	1	7	4	2	2	8	4
Февраль	73	3	1	8	5	2	1	7	4
Март	48	3	1	15	12	6	3	13	4
Апрель	03	1	1	28	20	8	4	8	6
Май	18	1	2	42	22	6	4	5	4
Июнь	11	1	2	45	26	8	4	3	4
Июль	9	1	2	48	28	7	2	3	4
Август	18	1	1	41	25	6	3	5	4
Сентябрь	35	2	2	22	17	7	4	11	5
Октябрь	41	3	1	20	15	5	3	12	5
Ноябрь	51	3	1	14	10	4	3	14	5
Декабрь	68	3	2	9	4	2	2	10	4
Год	40	2	1	25	16	5	3	8	4

Таблица 2

Распределение средней и максимальной скоростей ветра (м/с) за год во Владивостоке

Месяц/ скорость ветра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя	7.8	7.3	6.4	6.5	6.2	5.8	5.5	5.3	5.7	6.6	7.4	7.3	6.5
Максим.	36	38	34	31	26	24	24	28	30	33	36	38	

Таблица 3

Число дней с сильным ветром (скорость более 15 м/с)

Месяц/ число дней	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя	8	7	6	7	5	3	2	4	5	8	9	8	72
Макс.	15	15	14	14	10	10	9	12	14	16	16	18	

ские циклоны могут проходить через северную часть Японского моря с мая по ноябрь. Наиболее часто тайфуны наблюдаются в июле–сентябре. Так, в июле за 1956–1997 гг. отмечалось прохождение 18 тайфунов, в августе – 51 тайфуна, в сентябре – 29 тайфунов.

В среднем, за год отмечается 72 дня с сильным ветром (со скоростью 15 м/с и более). В годовом ходе штормовые ветры чаще отмечаются с сентября по март. В октябре–феврале наблюдается 7–9 штормовых дней, в отдельные годы таких дней наблюдается 15–18 в зимние месяцы. Летом число дней с сильным ветром уменьшается до 2–4 в месяц, иногда наблюдается 9–12 штормовых дней в месяц (табл. 3).

Температура воздуха. Средняя годовая температура воздуха равна 4.0 °С. Отрицательные значения средних месячных температур воздуха отмечаются с ноября по март. Самым холодным месяцем является январь: средняя месячная температура воздуха –14.3. В отдельные зимние дни при арктическом вторжении температура воздуха может понижаться до –28– –31°С. Средняя месячная температура самого теплого месяца – августа 19.9 °С. Максимальная температура воздуха в отдельные летние дни достигает 33–36 °С. (табл. 4)

Относительная влажность воздуха. В ноябре–феврале средние месячные значения относительной влажности воздуха минимальны: 62–64%. Наиболее интенсивный рост относительной влажности воздуха наблюдается в апреле–июле. В июне–августе средние месячные значения относительной влажности воздуха достигают 88–92%. (табл. 5.)

Облачность. Значение средней месячной облачности в течение года наименьшее в ноябре – феврале (3–4 балла) и наибольшее в июле–августе (8–9 баллов). (табл. 6.)

В зимний период наблюдается 2–3 пасмурных дня (облачность 8–10 баллов) и 12–14 ясных дней (облачность 0–2 балла). Число пасмурных дней наибольшее летом: 18–22, а количество ясных дней наибольшее: 1–2 в месяц (табл. 7).

Осадки. За год выпадает более 800 мм осадков, из них 85% приходится на осадки теплого периода. Так, в январе–феврале выпадает наименьшее количество осадков: 14–17 мм, суточный максимум может достигать

Таблица 4
Температура воздуха, °С

Месяц/ температура	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя	-14.3	-10.9	-3.5	4.1	9.2	13.0	17.4	19.9	15.8	8.7	-1.4	-10.2	4.0
Аб. макс.	5	10	15	21	30	32	36	33	29	23	18	9	36
Аб. м ин.	-31	-29	-22	-9	-1	4	6	10	2	-8	-20	-28	-31

Таблица 5
Относительная влажность воздуха, %

Месяц/ отн. вл. %	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя	64	64	67	69	77	88	92	88	78	68	62	63	73

Таблица 6
Средняя облачность, балл

Месяц/обл.балл	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя	3	3	5	6	7	8	9	8	6	5	4	3	6

Таблица 7

Число ясных и пасмурных дней

Месяц/число дней	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Ясных	14	12	8	3	2	1	1	2	4	9	9	13	78
Пасмурных	2	3	6	9	13	19	22	18	8	6	4	3	113

Таблица 8

Количество осадков, мм

Месяц/осадки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Ср. кол.	13	17	27	50	78	99	114	163	142	64	41	23	831
Сут. макс.	48	36	35	69	71	138	108	153	178	76	127	38	178

Таблица 9

Число дней с осадками

Месяц/осадки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Число дней с осадками	5	4	8	11	15	20	23	21	10	8	8	7	140
Число дней со снегом	5	4	6	3	–	–	–	–	–	1	5	7	31

36–48 мм осадков. В августе отмечается наибольшее количество осадков – 163 мм, суточный максимум может достигать 153 мм.

Ежегодно отмечаются обильные осадки в сентябре, среднее значение равно 142 мм, суточный максимум осадков – 178 мм. Эти ливни вызываются прохождением тропических циклонов (тайфунов) и наносят значительный ущерб народному хозяйству (табл. 8).

В годовом ходе максимальное число дней с осадками приходится на летние месяцы: 20–23 дня, минимальное – на зимние (январь–февраль): 4–5 дней (табл. 9).

Метели. С ноября по март осадки выпадают в виде снега. При усилении ветра отмечаются метели до 1–2 дней ежемесячно. В отдельные годы в декабре–феврале наблюдается 9–10 дней с метелью (табл. 10).

Туманы. В среднем, за год отмечается 85 дней с туманами. В декабре–феврале туманы редкое явление, в среднем 1 день в месяц, но иногда отмечается до 4–5 дней с туманами в зимний месяц. Наибольшее число дней с туманом наблюдается в июне–июле: в среднем, 17–20, а в отдельные годы бывает до 27 дней в месяц (табл. 11). Продолжительность тумана в зимний день не превышает 5 час., летом увеличивается до 10 час. В июне – июле туманы могут продолжаться 2–5 сут.

Видимость. Годовой ход горизонтальной видимости связан с повторяемостью метелей, туманов. Повторяемость пониженной горизонтальной

видимости (менее 2 миль) составляет в зимние месяцы 5–10%, увеличивается в летние месяцы до 25–40%. Повторяемость хорошей горизонтальной видимости (более 5 миль) колеблется от 80–90% в зимние месяцы; до 35–55% в летние. Для моделирования были выбраны следующие средние и экстремальные метеорологические условия, приведенные в табл. 12.

Гидрохимический режим акватории. Наиболее современный и полный обзор гидрохимической обстановки на акватории зал. Петра Великого Японского моря приведен в работе (Лучин, 2005). Для моделирования трансформации нефти на поверхности моря необходимо задание физико-химических свойств верхнего приповерхностного слоя воды, поэтому приводятся только эти данные.

Таблица 10

Число дней

Месяц/число дней	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднее число дней с метелью	2	2	2								1	2	9
Наибольшее	10	9	7	2						1	7	11	
Среднее число дней с грозой						1	1	1	2	1			6

Таблица 11

Число дней с туманами

Месяц/число дней	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
среднее	–	1	4	9	12	17	20	12	3	3	3	1	85
наибольшее	5	5	10	19	21	27	27	27	10	8	9	4	

Таблица 12

Средние и экстремальные метеорологические условия района

Сезон	Средние условия			Экстремальные условия		
	Ветер		Температура	Ветер		Температура
	Скорость, м/с	Напр., град.	°С	Скорость, м/с	Напр., град.	°С
Зима	7.5	270–0	–11.8	25	270–0	–30
Весна	6.4	180–225	5.6	25	180–225	–11
Лето	5.5	180–225	16.8	25	180–225	34
Осень	6.6	270–0	8.6	25	270–0	–9

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗАЛИВА

В пространственном распределении температуры воды на поверхности залива Петра Великого в течение года выделяется два крупномасштабных типа, которые существенно различаются друг от друга. Для первого из них, выделяющегося в осенне-зимний период, максимальные значения температуры воды характерны для мористых глубоководных акваторий залива, где за счет теплообмена с прилегающей частью моря температура воды не опускается ниже $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой и $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в начале зимы, что существенно выше точки заморзания. В мелководных районах залива, для которых (несмотря на значительный прогрев поверхностных вод летом) характерен минимальный запас тепла толщи вод, температура воды зимой опускается ниже минус $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В теплое время года картина распределения температуры воды на поверхности становится обратной зимней. Для этого типа пространственного распределения температуры воды максимальные значения характерны для прибрежных акваторий, а в мористой части залива выделяются пониженные значения. В октябре в термическом режиме поверхностных вод залива отмечается переходная ситуация.

Пространственно-временное распределение солености для поверхностных вод залива.

Для поверхностных вод залива Петра Великого в течение всего года характерно однотипное пространственное распределение солености. Отличительной чертой этого распределения являются максимальные значения в южной глубоководной части залива, которые в течение года варьируют от 33.5 до 34.0‰ . По мере приближения к берегам соленость существенно понижается. Особенно ярко прибрежное распреснение поверхностных вод выражено летом в вершинах заливов Амурский, Стрелок, Восток и Находка, где значения не превышают $26\text{--}28\text{‰}$. В осенне-зимний период за счет снижения объема атмосферных осадков и материкового стока, а также интенсивного вертикального перемешивания толщи вод, соленость на поверхности зал. Петра Великого существенно возрастает. Происходит также сглаживание пространственных градиентов солености между прибрежными и мористыми акваториями.

Для моделирования трансформации нефти на поверхности зал. Петра Великого была сформирована табл. 13 для наиболее вероятных районов аварийных разливов нефти.

Таблица 13

Сезонное изменение температуры воды и солености на поверхности моря для района б. Перевозная и района о. Желтухина

Сезон	Район б. Перевозная		Район о. Желтухина	
	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Соленость, ‰	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Соленость, ‰
Зима	-1.5	33.0	0.0	34.0
Весна	5	30.0	5	33.8
Лето	20	27.5	15	33.0
Осень	13	31.0	10	33.5

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЙ И ДРЕЙФА ПРИМЕСИ

Предполагается, что перенос и трансформация примеси в морских условиях зависит от нескольких динамических факторов, таких как: скорость и направление ветра, приливных течений, турбулентной диффузии. Вектор перемещения пятна нефти на поверхности моря за временной шаг моделирования dt можно представить в виде суперпозиции векторов воздействия каждого фактора. Тогда уравнение движения пятна можно записать в декартовой системе координат x, y в виде:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= k_{c-o}\{u_w(x, y, t) + u_t(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} + k_{w-o}w_x(x, y, t) \\ \frac{dy}{dt} &= k_{c-o}\{v_w(x, y, t) + v_t(x, y, t) + v_d(x, y, t)\} + k_{w-o}w_y(x, y, t),\end{aligned}\quad (3)$$

где осредненные по глубине u_w, v_w – компоненты скорости ветрового течения слоя воды, u_t, v_t – компоненты суммарной скорости двух главных приливных волн, u_d, v_d – соответствующие турбулентные добавки, w_x, w_y – скорость ветра, k_{c-o}, k_{w-o} – коэффициенты воздействия подстилающих течений и приводного ветра на дрейф примеси.

Для расчета полей ветровых течений была использована программа численного решения уравнения полных потоков Фельзенбаума для мелкого моря (Фельзенбаум, 1960). Задача была решена методом “бегущего счета” на аппроксимирующей залив Петра Великого сетке (размер ячейки $0.5 \cdot 0.5$ км²). На твердых границах расчетной области нормальная к берегу составляющая функции полных потоков приравнивалась к нулю, на жидких границах задавалось условие “полного протекания”. В схеме решения учтен сток р. Раздольная. Для учета ледяного покрова в модели принималось, что для северной части залива Петра Великого выше $43^{\circ}03'$ ветер не оказывает влияние на поверхность воды (нет ветровых течений).

Поскольку в модели используются стационарные поля скорости ветрового течения, то с целью сглаживания скорости в момент смены ветра компоненты скорости для момента t_n рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned}u_w &= \frac{u_w(l, t_n) + u_w(l, t_{n+1})}{2}, \\ v_w &= \frac{v_w(l, t_n) + v_w(l, t_{n+1})}{2}.\end{aligned}\quad (4)$$

Аналогичную процедуру применяем к составляющим приливных течений:

$$\begin{aligned}u_t &= \frac{u_t(l, t_n) + u_t(l, t_{n+1})}{2}, \\ v_t &= \frac{v_t(l, t_n) + v_t(l, t_{n+1})}{2}.\end{aligned}\quad (5)$$

В процессе дрейфа пятно может встретиться с твердой границей. В реальных условиях поведение нефти вблизи береговой линии будет зависеть от крутизны берега и характера грунта. Понятно, что пологий и песчаный

или болотистый берег будет более способствовать осаждению нефти, чем обрывистый и скалистый. Учитывая, что берега Амурского залива в основном пологие, то в модели принято полное осаждение нефти на берегу. Учет неконсервативности нефти осуществляется в блоке расчета параметров нефтяного пятна, приведенном в следующем разделе. В программу вводятся: количество источников, шаг моделирования, общее время моделирования, количество пятен, скорость и направление ветра, дата разлива и координаты разлива.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТИ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

Основой при разработке модели трансформации нефти после аварийного разлива в море являлась модель, представленная в работе (Kuiper, 1981), и собственные разработки авторов (Мишуков, 1987, 1988, 1990, Гулина и др., 1988, Соколов, 1985). Результаты исследования показали, что нефтяное пятно очень неравномерно по толщине, причем около 90% нефти содержится в толстых линзах, занимающих приблизительно 10% площади пятна.

Уравнения растекания имеют вид:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{3 \Delta V_h g}{2 \pi R^3} + \frac{3 \pi R \sigma^t}{\rho_0^t V_s} + \frac{1}{R} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{2.175 \rho_w v_w^{1/2} R^{3/2}}{\rho_0^t V_s} \left(\frac{dR}{dt} \right)^{3/2} - \frac{3 v_0^t}{2 R^2} \frac{dR}{dt} \quad (6)$$

$$\frac{dR}{dt} = U = \int_0^t \left(\frac{d^2 R}{dt^2} \right) dt; \quad (7)$$

$$R = \int_0^t \left(\frac{dR}{dt} \right) dt; \quad (8)$$

$$R_{\max} = \left(\frac{V_0}{\pi} \cdot 10^5 \right)^{1/2}, \quad (9)$$

где: t – время с начала разлива (с),

R – радиус пятна в момент времени t ,

$$\Delta = (\rho_w - \rho_0^t) / \rho_w,$$

V_0, V_s – начальный объем вылитой нефти и объем нефти на поверхности моря в момент времени t ,

$g = 9.8$ (м/с²),

$\sigma^t, \rho_0^t, v_0^t$ – давление растекания (Н/м), плотность (кг/м³), кинематическая вязкость (м²/с) нефти в момент времени t ,

ρ_w, v_w – плотность (кг/м³) и кинематическая вязкость (м²/с) воды,

$\pi = 3.14$;

R_{\max} – максимальный радиус пятна (м).

Описание испарения нефти.

Химический состав нефти разбивается на несколько групп или индивидуальных соединений. Считается, что пленка хорошо перемешана и испарение с единицы площади пропорционально среднему давлению паров i -груп-

пы или i – индивидуального соединения при температуре пленки, равной температуре подстилающей воды, и атмосферном давлении. Кроме этого, считается, что испарение ингибируется при образовании эмульсии вода-нефти и скорость испарения пропорциональна доле неэмульгированной нефти (V_{nem}) в общем объеме нефти V_s .

Общий объем испарившейся из пятна нефти пропорционален площади пятна (πR^2). Формула для расчета записывается в виде:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{U_*}{15.2} \left(\frac{D_i}{v_a} \right)^{0,61} \frac{x_i P_i}{R_a T_w} (\pi R^2) \left(\frac{V_n}{V_s} \right) \quad (10)$$

$$U_* = 0.04 U_{10}, \quad (11)$$

где для i – группы или индивидуального соединения: m_i , x_i , P_i , D_i , ρ_i , M_i – число молей, мольная доля, давление паров (Па), коэффициент молекулярной диффузии в атмосфере (м²/с), плотность (кг/м³), молекулярный вес (кг/моль) при температуре воды (T_w , °К) и атмосферном давлении; v_a – кинематическая вязкость воздуха (м²/с), R_a – газовая постоянная, U_* , U_{10} – динамическая скорость ветра (м/с) и скорость ветра на высоте 10 м (м/с). Объем испарившейся нефти (м³) за время t рассчитывается по формуле:

$$V_{ev} = - \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\rho_i} \int_0^t \left(\frac{dm_i}{dt} \right) dt \quad (12)$$

Описание эмульгирования воды в нефть.

Скорость эмульгирования воды в нефть принимали пропорциональной высоте волн (H_w , м) и объему нефти на поверхности моря:

$$\frac{dV_{em}}{dt} = C_7 V_s H_w \quad (13)$$

$$V_{em} = \int_0^t \left(\frac{dV_{em}}{dt} \right) dt, \quad (14)$$

где V_{em} – объем (м³) нефти, перешедший в эмульсию вода в нефти, C_7 – константа эмульгирования.

Для мелкого моря, глубиной менее 40 м,

$$H_w = 0.07 \frac{U_{10}^2}{g} \left(\frac{g H_s}{U_{10}^2} \right)^{3/5}, \quad (15)$$

где H_s – глубина моря (м).

Описание диспергирования нефти в воду.

Считали, что скорость диспергирования нефти в воду пропорциональна высоте волн и объему неэмульгированной нефти на поверхности моря (V_{nem} , м³)

$$\frac{dV_{dis}}{dt} = k V_{nem} H_w \quad (16)$$

$$V_{dis} = \int_0^t \left(\frac{dV_{dis}}{dt} \right) dt, \quad (17)$$

где k – коэффициент эмульгирования, V_{dis} – объем (м^3) нефти, перешедший в эмульсию нефть – в – воде.

Описание выноса в атмосферу за счет капель.

Считали, что скорость выноса нефти в атмосферу за счет капель пропорциональна высоте волн (H_w , м) и объему неэмульгированной нефти на поверхности моря (V_{nem} , м^3)

$$\frac{dV_{\text{dr}}}{dt} = c_5 V_{\text{nem}} H_w \quad (18)$$

$$V_{\text{dr}} = \int_0^t \left(\frac{dV_{\text{dr}}}{dt} \right) dt, \quad (19)$$

где c_5 – коэффициент брызгоуноса, V_{dr} – объем (м^3) нефти, унесенной каплями в атмосферу.

Расчеты объемов.

В ходе моделирования контролировали изменение:

$$\begin{aligned} V_s &= V_0 - V_{\text{ev}} - V_{\text{dis}} - V_{\text{dr}} \\ V_{\text{nem}} &= V_0 - V_{\text{ev}} - V_{\text{em}} - V_{\text{dis}} - V_{\text{dr}} \\ V_w &= c_{10} V_{\text{em}} \\ V_t &= V_s + V_w, \end{aligned} \quad (20)$$

где V_0 – объем (м^3) вылитой нефти, V_s – объем (м^3) нефти на поверхности моря в момент времени t , V_{nem} – объем (м^3) неэмульгированной нефти, V_w – объем (м^3) воды в эмульсии вода-в-нефти, V_{dis} – объем (м^3) нефти, диспергированной в воду, V_t – общий объем (м^3) нефти и эмульсии, c_{10} – коэффициент предельного эмульгирования воды в нефти.

Расчет вязкости, плотности и давления растекания.

Расчет проводили по формулам:

$$\begin{aligned} v_0^t &= v_0 \left(1 - \frac{V_w}{V_t} \right)^{-4.0} \\ \rho_0^t &= \left(\rho_0 V_0 - \sum_{i=1}^n M_i \int_0^t \left(\frac{dm_i}{dt} \right) dt + \rho_w V_w - \rho_0^t (V_{\text{dis}} + V_{\text{dr}}) \right) / V_t \\ \sigma^t &= \sigma_0 \frac{V_{\text{nem}}}{V_s}, \end{aligned} \quad (21)$$

где v_0 , ρ_0 , σ_0 – начальные значения: кинематической вязкости ($\text{м}^2/\text{с}$), плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) и давление растекания ($\text{Н}/\text{м}$) нефти.

Счет заканчивается, если плотность нефти становится больше плотности воды и нефть тонет.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЯТНА МАЗУТА НА АКВАТОРИИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

В ночь с 23 на 24 сентября 2005 г. на территории воинской части из резервуара произошёл разлив мазута, который затем попал в Первую речку и был вынесен на акваторию Амурского залива Японского моря. Утром оперативно были поставлены боновые ограждения и начата операция по очистке загрязненной акватории. Несмотря на принятые меры пятна мазута через сутки появились в районе б. Спортивная, где находится вольер с морскими млекопитающими, а через двое суток пятна мазута были выброшены на берег в б. Фёдорова.

Моделирование переноса и трансформации пятна мазута нами было проведено при следующих условиях: ветер 4–6 м/с северных направлений, температура воды 17 °С, начиная с 4 часов утра и до 16 часов 24 сентября 2005 г., непрерывно порциями по 10 л в мин на акваторию залива поступает мазут. Объем поступившего в море мазута не известен, поэтому в расчетах принимаем общий объем разлива – 7.2 м³. Химические свойства мазута приведены в табл. 14. Для учета боновых ограждений к северу от устья Первой речки была введена береговая черта в виде дамбы, выступающая в море на 1 км. Расчет проводился на трое суток до 21 часа 27 сентября 2005 г. Результаты расчетов приведены на рис. 1 и в табл. 15. Введение боновых ограждений в расчет резко сократило площадь распространения пятен мазута на акватории Амурского залива, причем большая часть нефти осела именно на бонах. Вышедшая за боновые ограждения нефть дрейфовала вдоль берега, достигая оконечности полуострова Эгершельд. Вынос пятен мазута на берег произошел в основном в районе устья Первой речки, а также в районе б. Спортивная и б. Фёдорова, что согласуется с результатами наблюдения.

Таким образом, представленные результаты показывают, что разработанная модель расчета течений, переноса и трансформации нефти хорошо описывает реальную аварийную ситуацию на акватории зал. Петра Великого и может быть использована для оценки воздействия строительства нефтеперезгрузочного комплекса на юге Приморского края на экосистему прибрежных вод.

СВОЙСТВА НЕФТИ

В районе б. Перевозная первоначально планируется построить нефтяной терминал для перекачки нефти из железнодорожных нефтяных цистерн на крупные морские танкеры (водоизмещение от 200 до 300 тыс. т) в объеме 20 млн т год. Затем в течение 5–6 лет в район терминала планируется провести нефтепровод, по которому первоначально будут поставлять 50 млн т нефти в год, а через 10 лет объем транспортировки дойдет до 80 млн т. Нефть в район терминала в б. Перевозная пойдет из районов восточной Сибири. В настоящее время на территории Сибирской платформы выделены следующие нефтегазовые провинции (НГП) [Ларкин, 2003]: 1) наиболее перспективная по разведанным запасам нефти – Лено-Тунгусская НГП; 2) Лено-Виллюйская НГП; 3) Енисейско-Анабарская НГП. В Лено-Тунгусской

Таблица 14

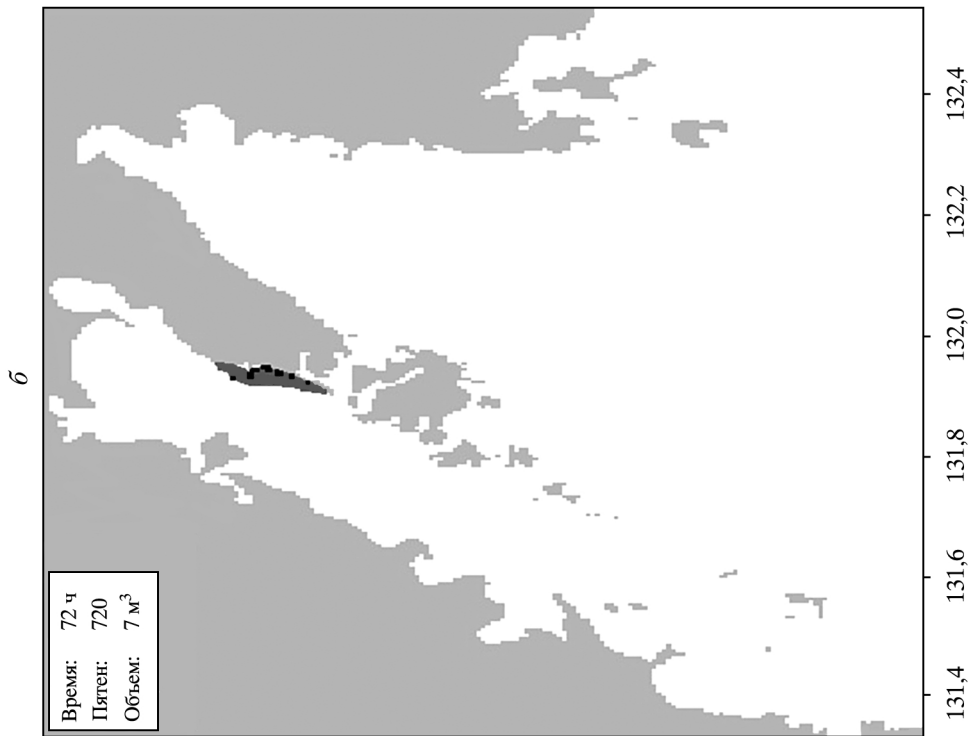
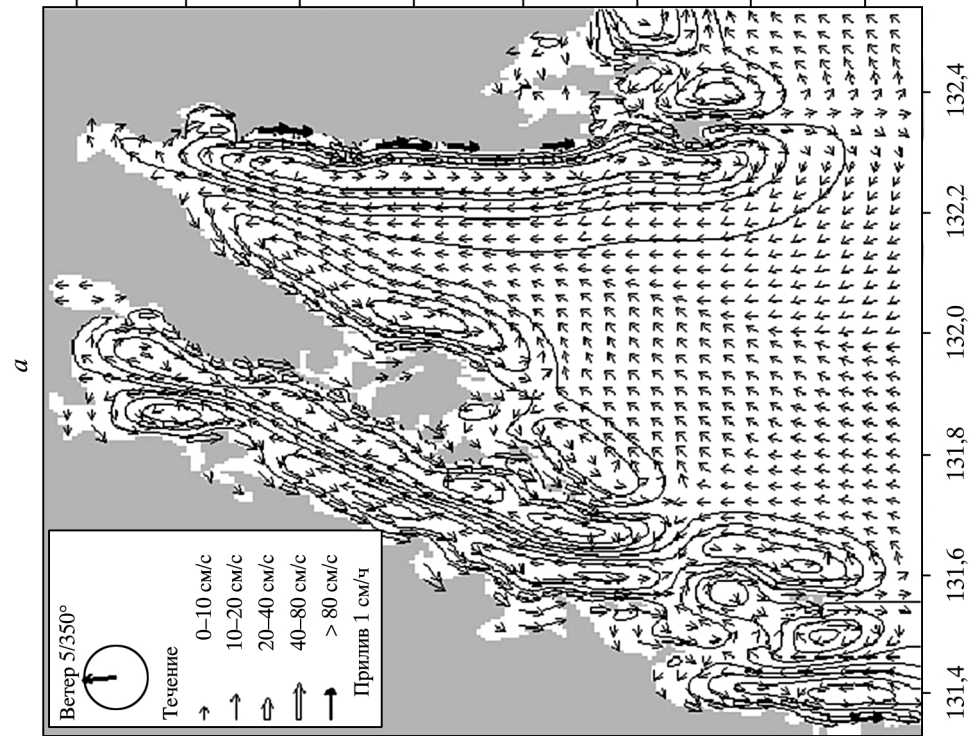
Паспортный и модельный состав мазута марки Ф.

Свойство, состав, где C_i – число атомов углерода в молекуле	Паспортный состав мазута		Модельный состав мазута				
	Среднее	Свойство, состав	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Молекулярный вес, г/моль	Давление паров (P_i), мм. Рт. ст.	
Плотность, кг/м ³	870	807					
Вязкость, сСт	8.7	8.7	660–770	69–230	86–170	lg $P_1 = 6.94 - 1417.61 / (202.17 + t_w)$	
Алканы, $C_6 - C_{12}$	44%	10%	770–780	230–405	184–352	lg $P_2 = 7.01 - 1825.04 / (149.76 + t_w)$	
Алканы, $C_{13} - C_{25}$		34%	880–1100	80–240	78–143	lg $P_5 = 6.91 - 1407.34 / (208.48 + t_w)$	
Ароматика, $C_6 - C_{11}$	22.2%	11.1%	1100–1200	240–400	128–234	lg $P_6 = 6.97 - 1801.00 / (162.77 + t_w)$	
Ароматика, $C_{12} - C_{18}$		11.1%	970–1200	180–400	116–300	lg $P_7 = 6.97 - 1789.85 / (164.56 + t_w)$	
Смолы, $C_9 - C_{25}$	21.8%	21.8%	1000–1100	>400	300–900	$P_8 = 0$	
Асфальтены	12	12%					

Примечание. t_w – температура воды, °С.

Таблица 15
Результаты расчета объёмов и физико-химических свойств мазута после аварии на Первой реке

Время после аварии, час	Число пятен	Объём вылитого мазута, м ³	Объём мазута в воде, м ³	Объём испарившегося мазута, м ³	Объём мазута в море, м ³	Объём мазута на берегу и боках, м ³	Плотность мазута, кг/м ³	Вязкость мазута
3	181	1.8	0.002	0.499	0.622	0.8	886.5	6.7E-06
6	361	3.6	0.006	1.038	0.274	2.5	885.4	6.2E-06
9	541	5.4	0.009	1.579	0.872	3.3	887	7.3E-06
12	720	7.2	0.012	2.095	0.761	4.8	887	7.1E-06
15	720	7.2	0.015	2.192	0.765	4.9	891.4	1.64E-05
18	720	7.2	0.018	2.264	0.791	4.9	896.7	3.38E-05
21	720	7.2	0.02	2.315	0.594	5.1	904	0.000066
24	720	7.2	0.021	2.337	0.524	5.2	910.9	0.000106
27	720	7.2	0.022	2.352	0.531	5.2	917.7	0.000159
30	720	7.2	0.023	2.362	0.438	5.3	923.3	0.000218
33	720	7.2	0.023	2.364	0.02	5.7	926.3	0.000247
36	720	7.2	0.023	2.364	0.02	5.7	930	0.0003
48	720	7.2	0.023	2.364	0.01	5.7	937.7	0.000454
60	720	7.2	0.023	2.365	0.011	5.7	944.5	0.000664
72	720	7.2	0.023	2.365	0.011	5.7	949.9	0.000911



НПП открыты 30 месторождений нефти и газа, среди которых крупными месторождениями по нефти являются: Юрубчено-Тохомское (наиболее перспективное для начального освоения), Верхнечонское, Талаканское и Среднеботуобинское. Нефти Юрубчено-Тохомского месторождения наиболее удобны для транспортировки по железной дороге и нефтепроводу в условиях сильных морозов Сибири, так как они легкие (плотность 775–838 кг/м³), малосернистые (до 0.3%), смолистые (до 23.8%), практически не содержат асфальтенов, при небольших концентрациях ароматических углеводородов (17.1–27.4%). Для них характерны высокие концентрации насыщенных углеводородов биомаркеров (например, содержание 12–13-монометилалканов до 13.6%) (Тимошина, 2003). Исходя из приведенного состава нефти для Юрубчено-Тохомского месторождения для моделирования поведения нефти в море, был рассчитан средний состав нефти, который приведен в табл. 16.

Сценарии разливов нефти были рассчитаны по двум вариантам:

Первый вариант рассчитывался на основании статистики мелких утечек нефти при эксплуатации района порта и терминала, которые подразделяются на (Каменев, Марачев, 1985):

1) эксплуатационные разливы, связанные с перевалкой сырой нефти на нефтяном терминале, объем которых зависит от объема перекачиваемой нефти (принимается 20 млн т нефти на начало работы терминала);

2) бункерные разливы, связанные с бункеровкой топливом танкеров и судов обслуживания (принимается 0.5 млн т топлива);

3) смешанные разливы, связанные, например, с такими операциями, как балластировка судов, мойка танков (принимается 20 млн т на начало работы терминала).

В табл. 17 приведен расчет количества разливов при эксплуатации терминала. Результаты расчета и анализ вероятности разливов на основании номограммы в работе (Каменев О.В., Марачев Н.М., 1985) показывают, что в среднем за год с вероятностью 60% будет 10 разливов: 70% – 9, 80% – 8, 90% – 7 и со 100% вероятностью будет происходить шесть разливов нефти в год. Отметим, что при эксплуатационных и бункерных разливах будет поступление нефти на поверхность акватории, в то время как при смешанных разливах нефтяное загрязнение поступает сразу в объем воды в растворенном и эмульгированном виде и в данной работе не рассматривается. Таким образом, интерес для моделирования представляют эксплуатационные и бункерные разливы, причем в среднем, объем разлитой нефти составляет для эксплуатационных разливов – 2.55 м³, а для бункерных разливов – 0.73 м³, причем в 50% случаев объем нефтяного загрязнения за один разлив будет меньше 0.4 м³.

Следовательно, в среднем за год на акватории б. Перевозная и Амурского залива при аварийных разливах поступит 9.88 м³ нефтяного загрязнения, из которого 5.87 м³ нефти и 4.01 м³ нефтепродуктов:

$$V = 0.73 \text{ (м}^3\text{)} \cdot 5.5 \text{ (разл/год)} + 2.55 \text{ (м}^3\text{)} \cdot 2.3 \text{ (разл/год)} = 9.88 \text{ м}^3\text{/год}$$

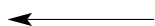


Рис. 1. Поле скоростей течений в заливе Петра Великого на 21 час 27.09.2005 при среднем северном ветре 5.5 м/с в момент начала прилива и (а) Траектории движения пятен мазута за 72 часа (серые области и линии, чёрные квадраты – конечные точки движения) (б)

Таблица 16

Экспериментальный и модельный состав нефти

Свойство, состав, где C_i – число атомов углерода в молекуле	Экспериментальный состав нефти		Модельный состав нефти		
	Диапазон	Среднее	Свойство, состав	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С
Плотность, кг/м ³	775–839	807	807		
Вязкость, сСт			6		
Алканы, C ₆ –C ₁₂	59.1–48.8%	54%	20%	660–770	69–230
Алканы, C ₁₃ –C ₂₅			34%	770–780	230–405
Ароматика, C ₆ –C ₁₁	17.1–27.4%	22.2%	11.1%	880–1100	80–240
Ароматика, C ₁₂ –C ₁₈			11.1%	1100–1200	240–400
Смоли, C ₉ –C ₂₅	23.8%	23.8%	21.8%	970–1200	180–400
Асфальтены			2%	1000–1100	>400

Свойство, состав, где C_i – число атомов углерода в молекуле	Модельный состав нефти	
	Молекулярный вес, г/моль	Давление паров (P_i), мм. Рт. ст.
Плотность, кг/м ³		
Вязкость, сСт		
Алканы, C ₆ –C ₁₂	86–170	$\lg P_1 = 6.94 - 1417.61 / (202.17 + t_w)$
Алканы, C ₁₃ –C ₂₅	184–352	$\lg P_2 = 7.01 - 1825.04 / (149.76 + t_w)$
Ароматика, C ₆ –C ₁₁	78–143	$\lg P_5 = 6.91 - 1407.34 / (208.48 + t_w)$
Ароматика, C ₁₂ –C ₁₈	128–234	$\lg P_6 = 6.97 - 1801.00 / (162.77 + t_w)$
Смоли, C ₉ –C ₂₅	116–300	$\lg P_7 = 6.97 - 1789.85 / (164.56 + t_w)$
Асфальтены	300–900	$P_8 = 0$

Примечание. t_w – температура воды, °С.

Таблица 17

Количество разливов в год на территории и акватории терминала в б. Перевозная

№	Тип разливов	Средняя частота разливов, λ	Объем грузо-оборота порта V_i млн т	Количество разливов в год, $\lambda_i \cdot V_i$
1	Эксплуатационные	0.115	20	2.3
2	Бункерные	11.0	0.5	5.5
3	Смешенные	0.13	20	2.6
			Итого	10.4

Таким образом, первый вариант моделирования – моментальный разлив 0.4 м³ нефти на поверхность моря в виде одиночного пятна. На определенные промежутки времени (через три часа) изменяются согласно экспериментальным данным скорость и направление ветра, производится расчёт приливо-отливных течений и выводятся траектория движения пятна

на акватории, а также средний химический состав всего пятна нефти с расчетом объема нефти на поверхности моря и на берегу, объема диспергированной и испаренной нефти и объема образовавшейся эмульсии вода – нефть.

Первый вариант моделирования. Осень (см. таблица 12, 13). Рассматриваются одновременные утечки нефти по всему зал. Петра Великого Японского моря с целью выявления гидрологических особенностей акватории. Продолжительность выпуска (ч) – 0.01. Время прогноза (час.) – 24.0. Выпущено пятен – 1. Макс. радиус (м) – 113. Общий объем (м^3) – 0.4. Скорость ветра (м/с) – 6.5.

Результаты моделирования движения нефти, представленные на рис. 2 показывают, что траектория движения пятен очень сильно зависит от места расположения аварии на акватории залива. В центральных районах заливов пятна движутся по эллиптическим траекториям под воздействием приливотливных течений. Вблизи береговой линии движение пятен более сложное и обусловлено совокупным влиянием ветра, приливов и морфологии дна и берега. При северном ветре пятно из района аварии в районе б. Перевозная будет дрейфовать вдоль береговой линии залива (рис. 2) и совершать круговые движения в районе аварии, повышая вероятность выхода на берег в случае смены направления ветра.

Результаты расчета фазового состава нефти после аварийной утечки объемом 0.4 м^3 в летний период (рис. 3) показывают, что из первоначально разлитой нефти через три часа испарится 43% нефти и образуется 0.25 м^3 эмульсии вода-в-нефти, а через 50 ч испарится большая часть нефти (83%), но несмотря на это оставшиеся 0.07 м^3 нефти образуют эмульсию вода-в-нефти объемом 0.22 м^3 , причем в воду диспергируется 0.04 м^3 (10% от первоначальной нефти). Для зимнего сезона картина изменения фазового состава нефти будет подобной, но испарение нефти будет меньше на 20%. В случае аварии в районе о. Желтухина пятно нефти в обоих случаях движется вдоль оси Амурского залива, где совершает круговые движения. В случае точки разлива в бухте Славянка, где возможна бункеровка топливом обслуживающих нефтяной терминал судов, пятно нефти не выходит из бухты и попадает на берег.

Второй вариант моделирования заключался в расчете реальной катастрофической ситуации аварии крупнотоннажного танкера, в качестве примера была использованы ситуации с аварией танкера “Эксон Валдиз”.

Справка: танкер “Эксон Валдиз” натолкнулся на риф Блай в заливе Принца Уильяма на Аляске в “Хорошую пятницу”, 24 марта 1989 г. Разлив нефти: 11 млн, галлонов – 41 500 т – 48 000 м^3 нефти. Покрытое нефтью побережье: 1300 миль – сильно и умеренное загрязнение, 1100 миль небольшое и слабое загрязнение нефтью. Гибель животного мира (оцениваемая): 250 000 морских птиц, 2800 морских выдр, 300 тюленей, 150 белоголовых орлов, около 22 касаток, а также миллиарды икринок горбуши и сельди, других животных и растений, находившихся в прибрежных районах.

Таким образом, *второй вариант моделирования* – это разлив $48\,000 \text{ м}^3$ нефти. Нефть поступает на поверхность моря непрерывно в течение 40 часов порциями по 20 м^3 через одну минуту. В результате поступления очередной

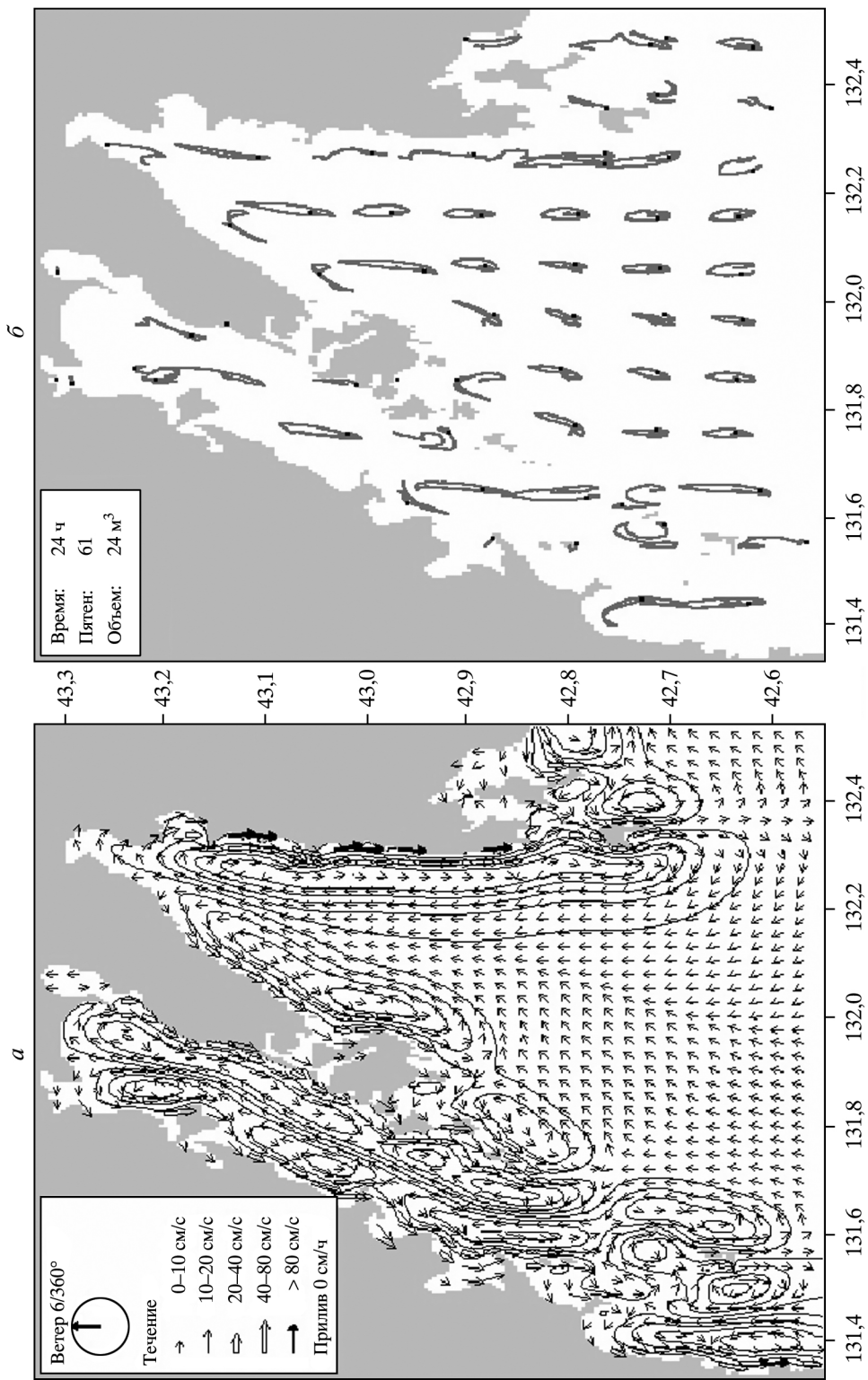




Рис. 2. Направление и скорость течений (черные стрелки) и изолинии функции полных потоков на конец расчета (а). Траектории дрейфа пятен (серые линии) в течение 24 час. на акватории залива Петра Великого Японского моря при северном ветре (скорость ветра 6.5 м/с) (б)

порции нефти образуется новое пятно нефти, траектория движения которого на поверхности моря и изменение физико-химических свойств нефти прослеживается на расчетной акватории до момента выхода нефти на берег или за пределы расчетной области. На определенные промежутки времени (через три часа) изменяются, согласно экспериментальным данным, скорость и направление ветра, производится расчёт приливо-отливных течений и выводятся траектории движения всех пятен на акватории, а также средний химический состав всего пятна нефти с расчетом объема нефти на поверхности моря и на берегу, объема диспергированной и испаренной нефти и объема образовавшейся эмульсии вода-в-нефти. Для моделирования химический состав нефти был разбит на фракции, физико-химические свойства которых приведены в табл. 16, причем предполагалось, что все легкие углеводороды с числом атомов углерода менее 5 моментально испаряются из нефтяной пленки.

Район б. Перевозная. Продолжительность выпуска пятен – 40.0 ч. Время прогноза (час,) – 192.0. Выпущено пятен – 2400. Макс. радиус (м) – 1784. Общий объем (м³) – 48 000. Скорость ветра (м/с) – 25. На рис. 4 показаны траектории движения пятен нефти при аварии танкера через 192 часа при ветрах юго-западных направлений в диапазоне 165–215°. На конец расчета практически вся нефть оказалась на берегу. Фазовый состав нефти для этой аварии, приведенный на рис. 5 свидетельствует о том, что уже через шесть часов нефть достигла берега и начала интенсивно выбрасываться на берег. Вследствие этого, резко падает как количество нефти в море, так и количество эмульсии вода-в-нефти в море, и уменьшается интенсивность испарения

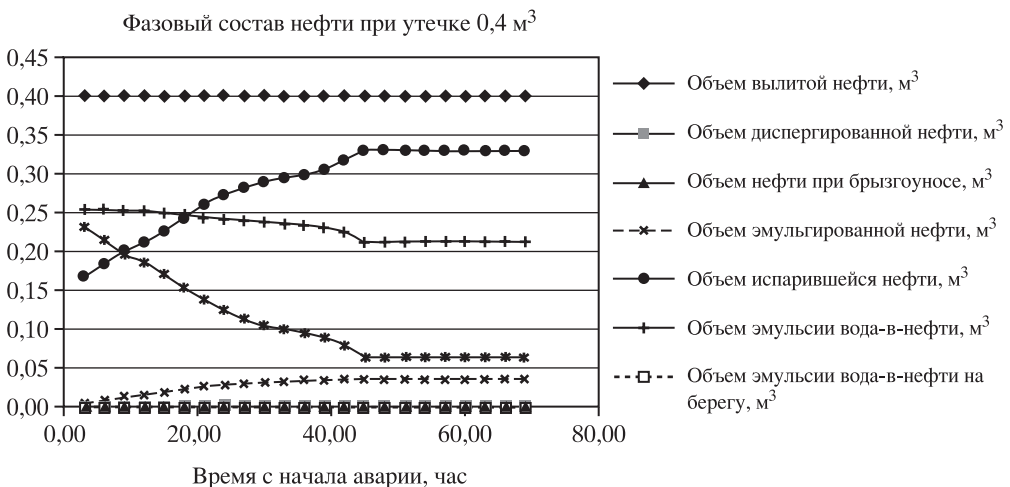


Рис. 3. Изменение фазового состава нефти после аварии (0,4 м³) в районе б. Перевозная для осеннего сезона

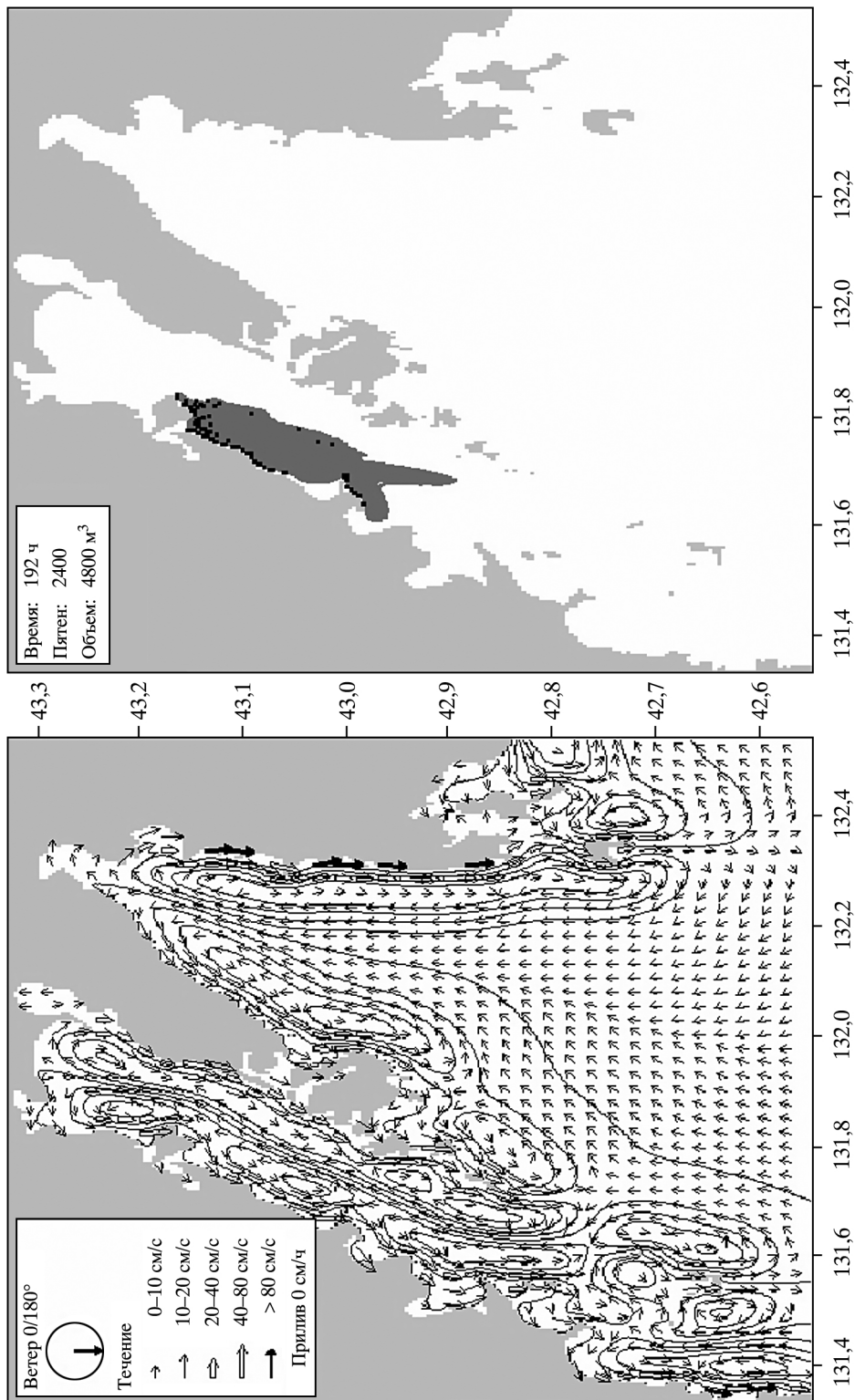


Рис. 4. Траектория движения нефтяных пятен после аварийного разлива крупнотоннажного танкера при юго-западных ветрах в районе б. Перевозной

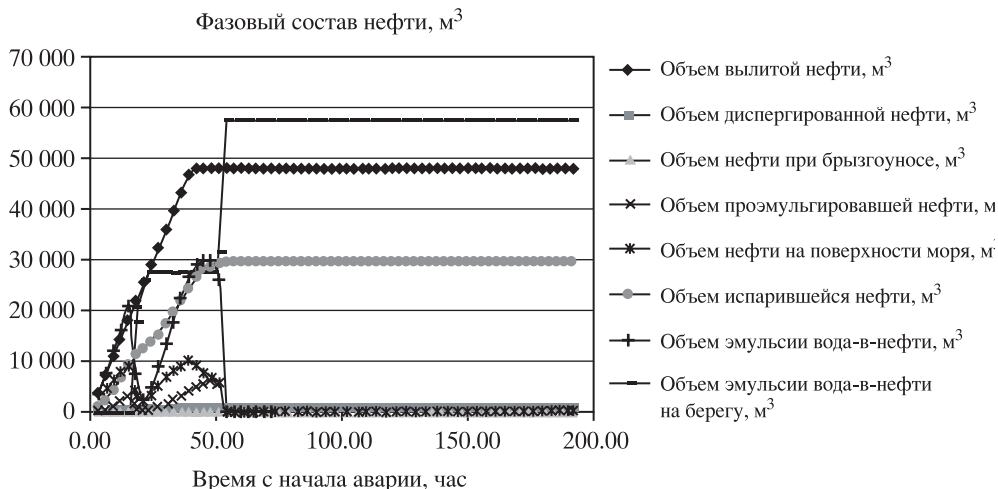


Рис. 5. Фазовый состав нефти после аварийного разлива крупнотоннажного танкера при штормовых условиях в районе б. Перевозной в летний период

нефти в атмосферу. Затем в районе 51 часа, вследствие изменения гидрометеорологических условий, опять происходит интенсивный вынос нефти на берег, причем количество эмульсии вода-в-нефти на берегу превышает объем вылитой нефти на 20%. В результате полного выноса на берег через 54 часа береговая полоса шириной 10 м на протяжении 15 км севернее 43° с.ш., включая устье р. Барабашевка, оказывается покрытой слоем эмульсии толщиной 0.4 м. В воду перейдет 1000 м³ нефти, которые под пятном нефти площадью 75 км² создадут концентрацию нефти в воде на уровне 120–140 мг/м³, что превышает предельно-допустимые концентрации нефтяного загрязнения для морских вод в два-три раза. Следует учитывать, что в прибойной зоне за счет энергии волн будет происходить значительно более интенсивное диспергирование нефти в воду, которое не учтено в данной модели расчета.

На рис. 6 показаны траектории движения пятен нефти при аварии танкера в районе б. Перевозная через 192 часа при ветрах северных направлений в диапазоне 315–345°. Продолжительность выпуска (час.) – 40.0. Время прогноза (час.) – 192.0, Выпущено пятен – 2400. Максимальный радиус (м) – 1784. Общий объем (м³) – 48 000. Скорость ветра (м/с) – 8.

Фазовый состав нефти для этой аварии, приведенный в табл. 18, свидетельствует о том, что практически сразу нефть достигла берега. К концу расчета нефть в объеме 27 731 м³ испаряется в атмосферу, причем оставшаяся нефть в объеме 22 903 м³ плавает в виде эмульсии вода-в-нефти в море, а 20 522 м³ нефтяной эмульсии выброшено на берег. В воду перейдет только 424 м³ нефти.

В качестве примера на рис. 7 приведена траектория движения нефтяного пятна после аварии крупного танкера в районе б. Перевозная, когда нефть при воздействии западного ветра движется в сторону г. Владивостока. Через 24 часа пятно достигает о. Русский.

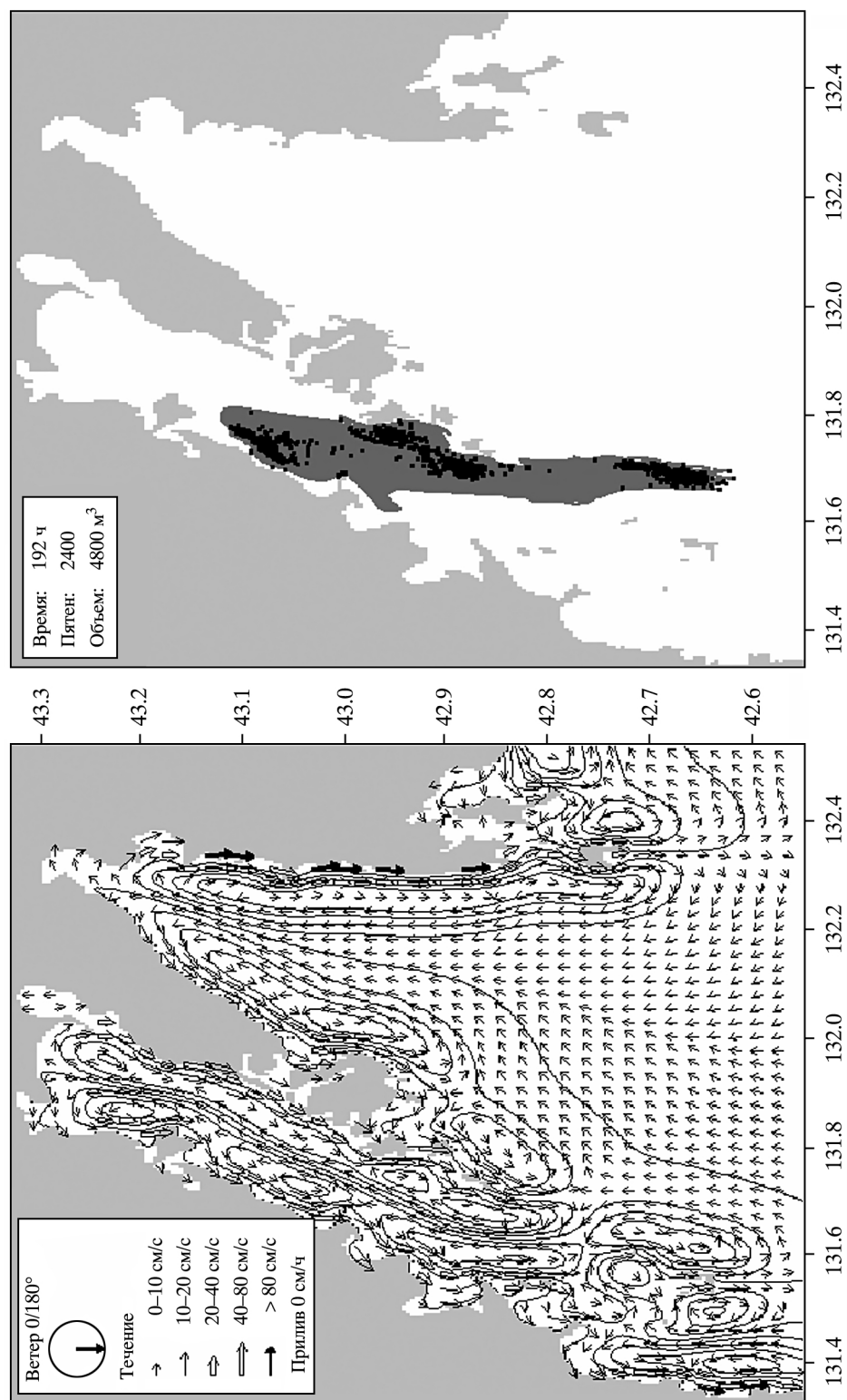


Рис. 6. Траектория движения нефтяных пятен после аварийного разлива крупнотоннажного танкера при северных ветрах в районе б. Перевозной

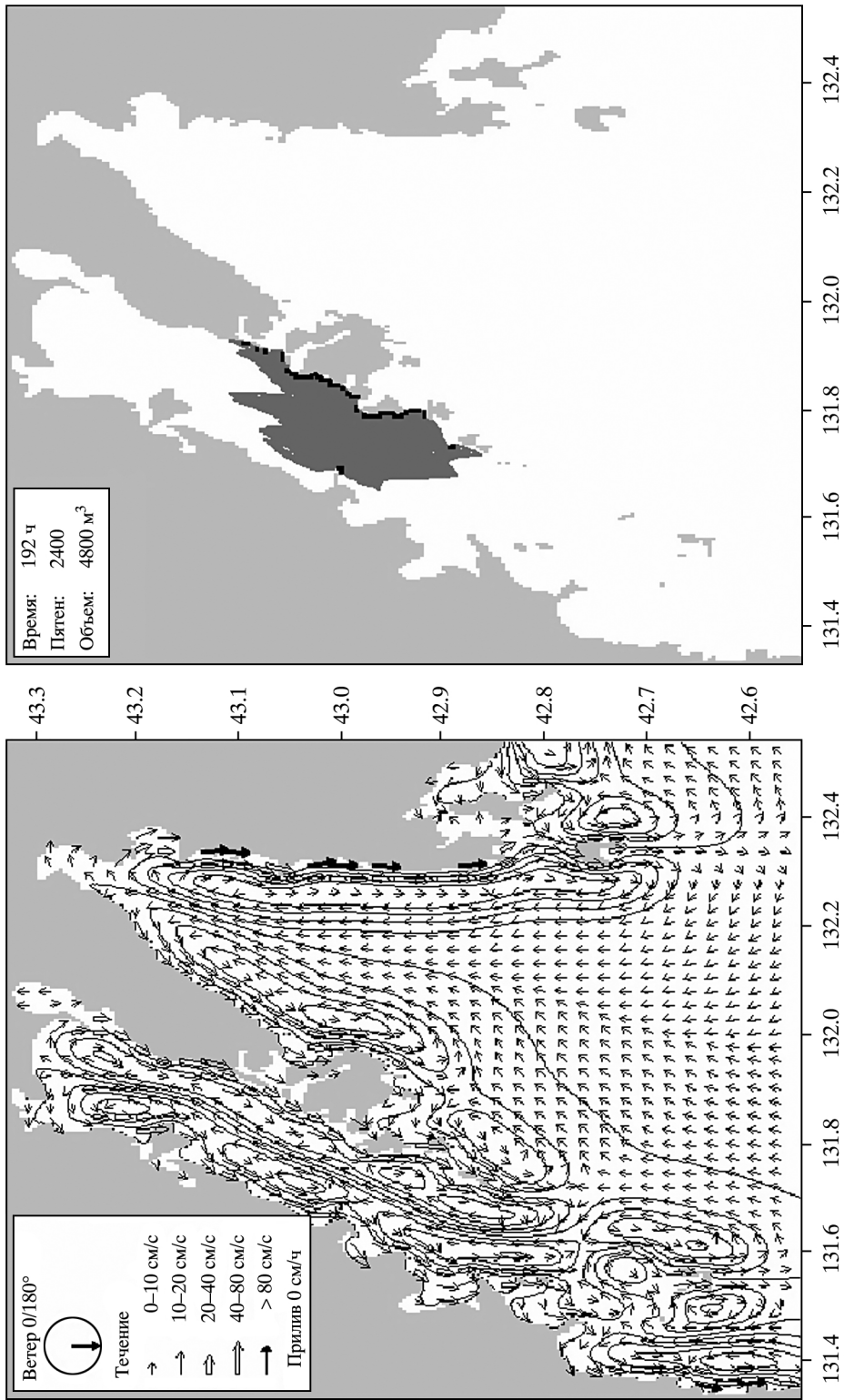


Рис. 7. Траектория движения нефтяных пятен после аварийного разлива крупнотоннажного танкера при западных ветрах в районе б. Перевозной

Таблица 18
Фазовый состав нефти

Время, час	Объем вылитой нефти, м ³	Объем диспергированной нефти, м ³	Объем эмульгированной нефти, м ³	Объем нефти на поверхности моря, м ³	Объем испарившейся нефти, м ³	Объем эмульсии вода-в-нефти в море м ³	Объем эмульсии вода-в-нефти на берегу моря, м ³
12	14 500	72	725	6616	5569	9526	2160
24	28 900	200	1983	8521	11 460	16 448	8788
48	48 000	467	4389	9226	22 199	17 420	8788
72	48 000	572	5256	6837	24 188	27 767	18 401
96	48 000	604	5494	5921	9964	24 973	27 832
192	48 000	424	3364	2876	27 731	22 903	20 522

К концу расчета вся нефть на берегу северной части о. Попова, почти всего о. Русский, м. Эгершельд, б. Золотой Рог. Таким образом, в результате одной крупной аварии при соответствующем ветре г. Владивосток лишается основных зон отдыха населения и теряет свою туристическую привлекательность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные экспериментальные результаты и результаты математического моделирования показали :

1) для рассматриваемого района наблюдается муссонный тип климата, для которого приведены основные метеорологические характеристики;

2) гидрохимический режим вод зал. Петра Великого Японского моря определяется влиянием стока рек и водообменом с открытой частью Японского моря;

3) разработана модель расчета течений и дрейфа нефтяных пятен на акватории залива и проведена ее достоверность по имеющимся экспериментальным данным. В условиях залива Петра Великого Японского моря наблюдается сложная картина течений, которые определяют траекторию движения нефтяных пятен при соответствующих ветрах.

4) разработана модель трансформации химического состава нефти на поверхности моря и произведен расчет трансформации нефти по нескольким сценариям. Среди процессов, определяющих поведение нефти в природных условиях, основное влияние оказывают: испарение (60–80%), диспергирование нефти в воду (6–23%), причем нефть, оставшаяся на поверхности моря представляет из себя эмульсию нефть-в-воде с высокой плотностью и вязкостью.

5) расчет траекторий дрейфа нефтяных пятен показал, что нефть в результате движения в основном выходит на берег, где загрязняет прибрежную зону залива высоковязкой эмульсией вода – в – нефти, причем содержание воды доходит до 80% от объема эмульсии.

ЛИТЕРАТУРА

- Андерсон Т.* Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 756 с.
- Гулина Г.Н., Мишуков В.Ф., Моисеевский Г.Н., Ярош В.В.* Факторный анализ океанологических полей прибрежной зоны // ДАН СССР. 1988. Т. 298, № 5. С. 1238–1242.
- Камнев О.В., Марачев Н.М.* Оценка вероятности разливов нефти в портах // Морской транспорт. М.: Мортехинформреклама, 1985. С. 1–16. (Сер. “Предотвращение загрязнения морской среды”; Вып. 1(54)).
- Кендал М.* Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981. 199 с.
- Ларкин В.Н.* Направления геологоразведочных работ на нефть и газ в Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции Восточной Сибири на основе установленных закономерностей размещения крупных зон нефтегазоаккумуляции // Геология и направления поисков нефти и газа / Ред. К.А. Клещев М.: ВНИГМИ, 2003. С. 81–88.
- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Круц А.А.* Океанографический режим вод залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 140. С. 130–169.
- Мишуков В.Ф., Аникиев В.В.* Экспериментальное изучение влияния границы раздела морская вода–воздух и нефтяных пленок на испарение воды с поверхности моря при умеренном ветре // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293, № 6. С. 1483–1486.
- Мишуков В.Ф., Мишукова Г.И., Моисеевский Г.Н., Ярош В.В.* Исследование параметров экосистемы Амурского залива Японского моря с помощью факторного анализа // Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химических загрязнений. М.: Гидрометеоиздат, 1990. С. 118–120.
- Мишуков В.Ф., Соколов Е.А.* Вторичное загрязнение морской среды органическими пероксидами // Океанология. 1988. Т. 33, вып. 4. С. 577–582.
- Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. Ч. 1. М.: Наука, 1965. 363 с.
- Савельева Н.И.* Общая схема циркуляции вод Амурского и Уссурийского заливов по результатам численного моделирования. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1989. 29 с.
- Соколов Е.А., Мишуков В.Ф., Ильичев В.И.* и др. Влияние фотохимического и бактериального окисления на физико-химические свойства углеводородных пленок на водной поверхности и на скорость испарения воды // Докл. АН СССР. 1985. Т. 281, № 4. С. 948–951.
- Тимошина И.Д.* Геохимия углеводородов–биомаркеров в битумоидах верхнепротерозойских нефтематеринских пород и нефтях Енисейско-Байкитского региона как доказательство их осадочно-миграционной природы // Генезис нефти и газа / Ред. А.Н. Дмитриевский, А.Э. Конторович. М.: ГЕОС, 2003.
- Фельзенбаум А.И.* Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 120 с.
- Яричин В.Г., Рыков Н.А.* Постановки автономных буйковых станций на акватории залива Петра Великого. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2003. 1–24 с.
- Kuipers H.D.* SMOSS – a simulation model for oil slicks at sea / Dep. of Civil Eng. Belgium Univ. of Techn. Delft, 1981. 168 p.