

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**КАТАСТРОФА ТАНКЕРА  
«ГЛОБЕ АСИМИ»  
В ПОРТУ КЛАЙПЕДА  
И ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПОСЛЕДСТВИЯ**



МОСКВА · ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ — 1990

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

докт. геогр. наук А.И.Симонов, канд. геогр.  
наук Н.А.Афанасьева, докт. биол. наук  
Т.В.Коронелли, канд. биол. наук Ю.Г.Кабанова,  
И.Я.Агарова

КАТАСТРОФА ТАНКЕРА  
«ГЛОБЕ АСИМИ»  
В ПОРТУ КЛАЙПЕДА  
И ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПОСЛЕДСТВИЯ

(Результаты исследований  
по междуведомственной программе)

Под редакцией  
д-ра геогр. наук А. И. СИМОНОВА



В настоящем выпуске представлена работа по исследованию последствий аварийного разлива мазута с английского танкера "Глобе Асиями" на прибрежные экосистемы Балтийского моря. Исследования проводились в течение 1982 г. по комплексной междуведомственной программе.

Выпуск состоит из четырех глав. В первой главе изложена потенциальная опасность загрязнения при аварийных ситуациях с танкерами. Во второй главе подробно описаны экологические условия прибрежной и шельфовой зоны Балтийского моря — основного материала для оценки последствий аварийного разлива мазута. Третья глава посвящена описанию аварийного разлива мазута в районе порта Клайпеда, распространению мазута и мерам по его прослеживанию и ликвидации. Четвертая глава содержит материалы исследований по комплексной междуведомственной программе и конкретизирует влияние аварийного разлива на многие звенья экосистемы прибрежной зоны моря.

В заключении приведены предложения по организации наблюдений и мер по ликвидации аварийного разлива, типовая программа наблюдений и предложения по критериям оценки опасности аварийных разливов.

Монография рассчитана на специалистов, работающих в области химии и биологии моря.

К 1805040700 - 237 5-89(2)  
069(02) - 90

© Государственный океанографический институт, 1990 г.

ISBN 5-286-00472-5

## ВВЕДЕНИЕ

Режим Балтийского моря напоминает эстуарный, хотя и обладает гораздо более устойчивым режимом таких важных экологических факторов, как соленость и температура, чем в эстуариях с сильными приливными течениями. В связи с этим в Балтийском море одновременно живут морские и пресноводные виды, а также существует несколько настоящих видов солоноватых вод, число которых невелико.

Кроме того, другая интересная черта фауны Балтики — наличие реликтов (рачок *Meridothoa extensor*), видов, которые сохранились с ранних этапов развития Балтики по сей день, поэтому наряду с естественными факторами, такими, как постепенное увеличение температуры и солености воды в Балтийском море, значительный антропогенный пресс на экосистему Балтики, хотя в последние годы и в несколько меньшей степени благодаря предпринятым на международном уровне мерам по охране его среды, создает постоянную экологически стрессовую ситуацию для биоты Балтийского моря. В этой связи катастрофические разливы нефтепродуктов, случающиеся время от времени на Балтийском море, следует рассматривать как уникальные, хотя и невольно поставленные эксперименты по влиянию на биоту, требующие всестороннего изучения.

Известно, что отдельные элементы морских экосистем обладают различной устойчивостью по отношению к тем или иным загрязняющим веществам в различных периодах отклика на повреждающие воздействия, поэтому полное представление о состоянии и степени повреждения морских экосистем может быть получено лишь в результате изучения всех их элементов и подсистем (бактерио-, фито-, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна).

Нефть и нефтепродукты, глобальный характер распространения которых в водах Мирового океана подтвержден многочисленными исследованиями, относятся к приоритетным загрязняющим веществам органической природы и оказывает токсическое действие на все группы морского населения. На основе обобщения известных материалов о действии нефтяных углеводородов на отдельные морские организмы в сооб-

щества выделен диапазон минимальных биологически действующих концентраций, равный  $10^{-2}$ ...  $10^{-1}$  мг/л. Из сопоставления приведенных величин с фактическими уровнями их содержания в морях и океанах вытекает, что она близка или совпадает по крайней мере в прибрежных зонах, что позволяло сделать вывод о реальности крупномасштабного нарушения биологических процессов в Мировом океане под влиянием существующего уровня нефтяного загрязнения /65/. Реальность таких нарушений особенно высока в случае аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Большая часть аварийных разливов, как правило, приурочена к прибрежным и шельфовым зонам, т.е. к наиболее продуктивным районам Мирового океана. Нередко они захватывают участки побережья, имеющие курортно-оздоровительное значение.

Аварийные поступления нефтяных углеводородов в морскую среду вызывают ряд нарушений в экологических системах, основные из которых следующие: нарушение соотношения процессов продуцирования и деструкция органического вещества; резкое изменение (уменьшение или увеличение) количественных характеристик планктонного сообщества - численности и биомассы; смена доминантных видов; полное или частичное выпадение из состава сообщества наиболее чувствительных к загрязнению видов, сопровождающееся массовым развитием более устойчивых форм; гибель бентосных организмов и водорослей; загрязнение акваторий, по которым проходят миграционные пути и где расположены нерестилища рыб.

В связи с изложенным особенно важным представляется установление влияния аварийных разливов нефти на морские экосистемы, поскольку знание наиболее уязвимых ее звеньев позволяет подходить с научным обоснованием к ликвидации аварийных разливов, к созданию необходимого парка оборудования для ликвидации аварийных ситуаций в районах, где эти разливы наиболее вероятны.

Самые мощные разливы нефти в море - результат аварийного повреждения корпуса танкера. Такие инциденты не являются редкостью, возможно, из-за того, что более 50% торговых перевозок по морю приходятся на нефть. Ежегодно в мире происходит 50...100 серьезных аварий, причем 10 из них заканчиваются серьезной потерей груза /54/. Большинство аварий, как правило, наблюдается при подходе к портам. В связи с увеличением грузоподъема и осадки танкеров возрастает потенциальная возможность аварийных ситуаций. Расширение разведки и добычи нефти и газа на шельфе - второй источник создания кратковременного и хронического экстремально высокого загрязнения моря нефтью.

21 ноября 1981 г. около 15 ч во время шторма, разыгравшегося на Балтийском море, штормовой волной выбросило на западную оконеч-

ность северного мола английский танкер "Глобе Асиа", вышедший из Морского канала г.Клайпеды с полными танками топливного мазута. В результате аварии из танков расколовшегося на три части танкера на акваторию моря, прилегающую к месту аварии, вылился топливный мазут.

Разлив более 16 тыс.т мазута с танкера "Глобе Асиа", произошедший в районе Клайпеды, - самый крупный на Балтийском море по своим масштабам. В течение 1982 г. и летом 1983 г. впервые по комплексной междуведомственной программе проводились исследования влияния разлива мазута на все звенья прибрежной экосистемы, динамики уровня загрязненности морских вод и пляжей, возможного вторичного загрязнения подземных вод в результате просачивания мазута из захороненной песчано-мазутной смеси. Исследования проводились сотрудниками Государственного океанографического института, Клайпедской ГИО, Северо-Западного УГМ, Института прикладной геофизики (Госкомгидромета СССР), Института океанологии АН СССР, Московского государственного университета (Государственный комитет СССР по народному образованию), Института биологии АН Латвии, Балтийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Миррыбхоз СССР), Института зоологии и паразитологии АН ЛитССР.

Авторами сборника являются:

Глава 1 - М.П.Нестерова, Н.А.Афанасьева, А.И.Симонов.

Глава 2 - О.С.Пустельников (2.1), Н.А.Афанасьева, Ю.А.Шуките, Т.А.Бякум (2.2.1), М.П.Нестерова, Л.М.Гурвич (2.2.2), Ю.Г.Кабанова (2.3).

Глава 3 - В.И.Кеянги, К.П.Широков (3.1), К.А.Московитин, Р.И.Гончарова, Б.А.Федосимов, С.Л.Савельев (3.2), С.Н.Овсиенко, А.В.Удовенко, С.В.Кириянов, С.В.Семовский (3.3).

Глава 4 - С.О.Пустельников, И.А.Немировская (4.1), А.И.Симонов, Н.А.Афанасьева, И.Г.Матвейчук, И.А.Немировская, Л.А.Гурвич, В.М.Тулчинский (4.2), Т.В.Коронелли, В.В.Ильянский, В.А.Янушка (4.3.1), Е.Д.Гупало (4.3.2.1.2; 4.3.2.2), О.И.Крылова, Е.Д.Носкова (4.3.2.3; 4.3.3.3; 4.3.4.3.2), А.Н.Коршенико (4.3.3.1), Р.Ю.Лагановская, Г.С.Лагздинь, У.Я.Ботва, И.Н.Берзина (4.3.3.2; 4.3.4.2.1), С.Н.Оленин (4.3.4.1; 4.3.4.3.1), В.И.Притков, В.И.Муравский, Г.Г.Силькова (4.3.4), О.Е.Каменская (4.3.4.2.2), В.В.Андрюшенко, В.Р.Колосов, В.И.Морозов, Г.К.Тимохина, А.А.Мандругин, М.Н.Семеновко (4.3.5.1.1), В.А.Веселовский, В.С.Вшивцев, Ю.И.Пиковский (4.3.5.2), С.Д.Авилова (4.3.5.1.2).

Заключение - А.И.Симонов, В.В.Андрюшенко, М.П.Нестерова, Н.А.Афанасьева, Т.В.Коронелли, Ю.Г.Кабанова.

## Глава I. О РАЗЛИВЕ МАЗУТА В АКВАТОРИИ ПОРТА КЛАЙПЕДА

В результате сильного шторма 21 ноября 1981 г. потерпел крушение английский танкер "Глобе Асими", приписанный к порту Гибралтар. Ураганный ветер, скорость которого достигала 30 м/с, выбросил 170-метровый танкер на железобетонные волноломы северного мола Клайпедского морского порта и расколол его на три части. Из разбитых грузовых отсеков в бушующее море за несколько часов вытекло 16 493 т мазута, т.е. 16...30% ежегодного поступления нефти и нефтепродуктов на акваторию Балтийского моря. Ветер, неоднократно менявший направление, и волны погнала мазут в глубь Куршского залива и вдоль морского побережья.

Поиски локализовать аварийный разлив оказались безуспешными. Из-за тяжелых гидрометеорологических условий практически бесполезной оказалась работа по установке 4 тыс.м боновых заграждений на акваториях Клайпедского торгового и рыбного портов, судостроительного завода "Балтия" и судоремонтного завода.

Комплекс организационных и технических мероприятий, разработанный организациями Министерства морского флота СССР для подобных аварийных ситуаций, предусматривал локализацию и сбор с акватории порта до 1500 т разлитой нефти и поэтому оказался непригодным в реальных условиях значительно более крупного разлива.

Штатные технические средства, в том числе и нефтемусоросборщики, в условиях Клайпедского разлива не смогли обеспечить номинальные режимы сбора с поверхности моря мазута из-за его высокой вязкости, обводненности и затвердевания.

Благодаря усилиям моряков, рыбаков, работников коммунальных предприятий, жителей Клайпеды, Паланги, Вильнюса, Каунаса, Паневежиса и других городов Латвии, специалистов, прибывших в район аварии из Москвы, Одессы, Ростова-на-Дону, Рязи, Ленинграда, Баку, Вентспилса, возглавляемых специально созданной комиссией при Совете Министров Латвийской ССР, городским штабом под руководством секретаря Клайпедского горкома Компартии Латвии Н.А.Бережного, Па-

лангским горисполкомом, значительная часть разлившегося мазута была собрана с поверхности моря ручными средствами, крановыми грейферами, автоцистернами и переработана на Клайпедском предприятии по поставкам нефтепродуктов на экспорт.

По экспертной оценке, произведенной в первые дни после катастрофы танкера "Глобе Асими" чрезвычайной аварийной комиссией с участием специалистов Минморфлота СССР, вылившиеся из танкера в море нефтепродукты (16 493 т топочного мазута из грузовых танков и 186 т моторного и дизельного топлива из топливных танков) распределялись следующим образом: собрано с поверхности моря около 9 тыс.т; испарилось, растворилось в воде и затонуло около 2,5 тыс.т; выброшено на пляжи около 5,5 тыс.т /41/.

Одной из первоочередных задач комплексной экспедиции было установление распределения, уровней, степени и форм загрязнения нефтепродуктами вод, донных отложений и прибрежной полосы в районе разлива и в зоне выноса мазута.

Полученные экспедицией данные о распределении нефтепродуктов в прибрежных районах моря и в береговой полосе легли в основу балансового расчета масс миграционных форм загрязнения, образовавшихся из продуктов разлива в аварийном районе, а также соотношения масс нефтяного загрязнения вод Клайпедской бухты и Куршского залива, связанных с аварией танкера "Глобе Асими", с поступлением из других источников и с фоновым (доаварийным) содержанием в различных звеньях исследованной системы.

Весьма быстро разлив мазута в порту Клайпеды при аварии танкера "Глобе Асими" станет историей. Однако случившаяся катастрофа, как и все предшествовавшие ей в мире, послужит значительным уроком и заставит задуматься специалистов, занимающихся вопросами борьбы с аварийными разливами, и, возможно, кардинально изменить представления о методах и средствах борьбы, об организации работ по удалению загрязнения и о необходимости детального комплексного исследования влияния нефтяного разлива на экологию региона.

Прежде всего следует отметить, что изложенные в работе материалы не могут претендовать на полноту исследований, так как они начаты с большим опозданием (более 4 мес после аварии). Естественно, за столь длительный период в зоне разлива мазута происходили существенные изменения в количественном и качественном составе загрязнения в различных средах, видоизменялась форма существования и, что особенно важно, происходило отрицательное воздействие на гидробионты. Не подлежит сомнению, что время было упущено, несмотря на оперативность составления комплексной программы исследований Госкомгидрометом СССР, как координатором работ по охране ок-

рующей среды в нашей стране, и быстрое комплектование экспедиций, исполнителей и научно-исследовательских судов в академических и ведомственных институтах. Научные исследовательские силы были привлечены в период, когда основная масса разлитого мазута была уже удалена с акватории порта и частично с побережья, лишь треть разлитого мазута еще находилась на подвергшейся загрязнению территории.

Аварийный разлив мазута в порту Клайпеды заставляет прежде всего задуматься над вопросами: как и когда проводить исследования по оценке экологического воздействия, как организовать сбор данных, их обобщение для использования в будущем при решении вопросов защиты моря от нефтяного загрязнения. И первый вывод, который, видимо, надо сделать, — это необходимость привлечения научных сил к исследованию последствий аварийного разлива с первых моментов катастрофы, для чего весьма желательно заблаговременно разработать комплексные типовые программы, определить и скоординировать научные центры исполнителей, которые приступят к действию параллельно с работами по ликвидации загрязнения. Такая синхронная работа будет весьма плодотворна и полезна как для исследователей, так и для подразделений по борьбе с разливом.

Можно ли было предвидеть разлив, определить размеры и последствия, а следовательно и подготовиться к его ликвидации? Естественно, каждый разлив нефти является уникальным. Причина и место аварии, погодные условия, тип и количество разлитой нефти, ее распространение всегда неповторимы. Однако используя многолетние наблюдения над естественными процессами в регионе и проводя аналитические исследования по грузопотоку, видимо, возможно определить вероятность аварии и ее последствия.

Анализ маршрутов движения судов из порта Клайпеды показывает, что наиболее опасным в аварийном отношении является выход из порта, и при интенсивном движении судов в сложных навигационных условиях вероятность аварийной ситуации в данной акватории порта весьма высока. Учитывая, что количество штормовых дней в году в Клайпедо равно 32 и дней с ограниченной видимостью — 60, вероятность аварии усугубляется. Анализируя грузооборот порта Клайпеды, количество и грузоподъемность транспортных судов как советских, так и иностранных, можно определить, что при кораблекрушении будет вылит не менее 10 тыс. т нефтепродукта, а принимая во внимание, что значительную часть перевозок (более 70%) составляет мазут, вероятность аварии танкера с разливом именно мазута наиболее реальна. Далее, используя известные модели, возможно определить направление и скорость движения разлитого мазута в зависимости от гидродинамических и погодных условий; осенью в районе Клайпеды преобладают западные

и юго-западные ветры; поверхностное течение следует с юга на север вдоль берегов, эти факторы будут обуславливать выброс нефтепродукта на берег и загрязнение побережья. Это и имело место в ноябре 1981 г., когда ураганный ветер выбросил танкер "Глобе Асимия" на железобетонные волноломы клайпедского порта.

Сильные ветры преимущественно западных румбов гнали мазут к берегу, выбрасывали на береговые сооружения, пляжи и на 90 км вдоль побережья подвергли загрязнению полосу шириной 5...15, а в некоторых местах — до 100 м. Разлив в Клайпедо явился классическим примером для демонстрации влияния в природных условиях естественных процессов на последствия разлива, предвидеть которые было возможно и должно, а следовательно, подготовиться и принять соответствующие меры.

Аварии чаще всего бывают именно при плохой погоде, когда разлитые нефтепродукты или нефть подвергаются быстрому эмульгированию из-за сильного волнения с образованием обратных эмульсий (вода в масле), с содержанием воды около 80%, чему способствует высокомолекулярные соединения, входящие в состав нефтей и нефтепродуктов, при этом увеличивается вязкость и объем разлитого нефтепродукта.

Такой процесс наблюдался при аварии танкера "Антонио Грамши" в феврале 1979 г., когда в море попало около 6 тыс. т нефти. Вот некоторые данные.

В течение двух недель нефть на поверхности моря распространялась вместе со льдами в территориальных водах Советского Союза, загрязняя припайные льды северо-западных берегов Латвии, островов Сааремаа и Хийумаа на протяжении 150 км. Через три дня после аварии площадь загрязнения составила около 120 км<sup>2</sup>. Через две недели площадь основного пятна нефти составляла 50 км<sup>2</sup>, а также отмечалось несколько шлейфов нефтяного загрязнения, вытянутых в северном направлении. Часть разлившейся нефти была выброшена на припайные льды и берега островов Сааремаа и Хийумаа и распространилась в Ирбенский пролив. В последующую треть после аварии танкера "Антонио Грамши" неделю из-за резкого изменения направления ветра на северо-восточное нефтяные пятна были вынесены в нейтральные воды и распространились в юго-западном направлении примерно на 100 км. За время дрейфа в течение трех недель нефтяные пятна на поверхности моря уменьшались за счет эмульгирования в поверхностном слое воды, а также загрязнения лавучего льда. В результате судовых наблюдений в районах аварии и миграция пятен нефти было установлено, что к марту большая часть разлитой нефти (около 75...80%) перешла в воду в зоне дрейфа нефтяных пятен в территориальных водах СССР и западнее в открытых водах Балтийского моря; нефтеводная смесь в основном распо-

лагалась на глубине 0...10 м при средней толщине слоя 5 м.

При разливе мазута в Клайпеде этот процесс имел место и являлся одним из факторов, обусловивших высокую вязкость разлитого мазута. Кроме того, твердообразность мазута усугубилась и тем, что температура воды и воздуха во время разлива была ниже (около 3°C) температуры застывания мазута (10°C).

Возможно ли это было учесть при разработке методов и средств? Нам представляется, что вполне возможно. Видимо, для порта Клайпеда рекомендации по борьбе с разливом были разработаны без учета его особенностей и поэтому нельзя было применить имеющиеся средства. Если сравнить разлив в порту Клайпеда с разливом нефти с танкера "Амоко Кадис" у берегов Франции, то можно при явном различии в типе и количестве загрязнителя, масштабности распространения, гидродинамических и погодных условий найти общее, объединяющее их.

Исследование влияния разлива на экологию регионов началось с некоторым опозданием при этих катастрофах. Как при разливе 220 тыс. т нефти при аварии танкера "Амоко Кадис" не сработал известный "План Польмар", разработанный во Франции для защиты от нефтяных загрязнений, так не сработали и средства на Балтийском море при аварии в порту Клайпеда танкера "Глобе Асими". Естественно, возникает вопрос, возможно ли вообще разработать такие методы и средства, дать рекомендации, как при тех или иных условиях предотвратить максимальное загрязнение и механическими или химическими средствами быстро удалить его, сократив время отрицательного воздействия загрязнения на естественные природные процессы? Видимо, возможно, хотя и нельзя и даже опасно упрощать задачу. Но, обогатившись знаниями процессов, протекающих в море, влияния на них загрязнений, вносимых случайно или преднамеренно человеком в результате деятельности всего комплекса факторов, обуславливающих трансформацию загрязнения, видимо, возможно разработать рекомендации и средства по борьбе с разливами. Следовательно, еще более очевидным ставится вопрос о необходимости исследований последствий разливов, чтобы на основе их разработать научные концепции и создать методы и средства по борьбе с разливами нефти. Аварийный разлив в порту Клайпеда позволяет сделать вывод, что уже в настоящее время на данном уровне знаний, используя аналитический метод, можно было ранее определять особенности аварийной ситуации и научно обосновать мероприятия по борьбе с разливом.

По-видимому, комплексно (системно) надо подходить к разработке и проведению работ по удалению последствий разлива, учитывая всю совокупность вопросов, не упуская даже мелкие, что позволит

учесть и подготовить заранее все необходимое для борьбы с разливом, правильно организовать и осуществить руководство операций по удалению. Ведь неподготовленность вызывает растерянность, принятие необоснованных решений и использование средств и методов, не способствующих удалению загрязнения, а иногда усугубляющих положение, приводя к тяжелым экологическим последствиям. Это имело место при аварии танкера "Торри Каньон", "Амоко Кадис" и ряда других. Не составил исключения и аварийный разлив в Клайпеде. В частности, применение диспергатора (даже в малых количествах) было абсолютно не обоснованно.

Диспергаторы вообще весьма эффективное средство для ликвидации последствий разлива нефти в форме тонких пленок и slickов в местах, где использование иных средств быстрого уничтожения нефтяного поля невозможно и когда это экологически безвредно. Основная функция диспергатора - быстро уничтожить нефтяную пленку на поверхности моря, превратив ее в мелкодисперсную форму, ввести в толщу воды, ускорив тем самым естественный биологический и химический процесс разложения, и возобновить газо-тепло-водообмен между воздушной и морской средой. В условиях клайпедского разлива не требовалось применения диспергаторов по нескольким причинам: во-первых, в условиях штормовой погоды происходило естественное диспергирование, во-вторых, основная масса мазута находилась в застывшем состоянии или в виде обратных эмульсий, весьма вязких; таким образом, механизм диспергирования, основанный на взаимодействии двух жидких фаз, в данном случае не мог сработать, когда одна из фаз была в предельно вязком состоянии. Для разрушения в море "шоколадного мусса", как иногда называют водо-нефтяные обратные эмульсии, пока не создано эффективных средств. По опыту борьбы с разливом нефти с танкера "Амоко Кадис" известно, что обработка "мусса" была мало эффективна, дисперсия при этих условиях весьма затруднена. Кроме того, диспергирование - весьма полезный и часто единственный способ ликвидации разливов в море, когда основной целью является предотвращение попадания нефти на побережье или экологически чувствительные участки; в Клайпеде спасти побережье было поздно - мазут выбрасывался на берег.

Особо остро в Клайпеде при борьбе с разливом почувствовалось отсутствие средств защиты побережья и средств очистки пляжей, дни от мазута. Следует напомнить, что подвергшиеся загрязнению мазутом берега этого региона Балтийского моря характеризуются интенсивными динамическими процессами, приводящими к размыванию берега, поэтому снятие верхнего слоя пропитанного мазутом песка (в некоторых участках до 60 см) и вывоз его в карьеры, как это было осуществлено

при ликвидации последствий разлива, усилили и без того интенсивное разрушение берегов. На восстановление их потребуются годы, и ущерб, нанесенный таким образом побережью, весьма опасен.

Во многих местах специфические морфологические черты побережья определяли распределение мазута и условия его накопления. Исследования позволяла выявить взаимосвязь с различными геологическими фациями. Максимальные концентрации нефтяного загрязнения приурочены к тонкодисперсным осадкам, супесям и мелкоалевритовым илам. Такая закономерность наблюдалась и в ранее проводимых исследованиях в нашей стране и за рубежом.

В составе проб, отобранных в портовых акваториях, как и в замученных пробах, возрастала доля углеводородов, в отличие от других проб, где в составе органических соединений преобладала неуглеводородная фракция (58...95%). В большинстве проб среди n-алканов преобладали высокомолекулярные соединения (C<sub>23</sub>-C<sub>31</sub>), что, видимо, объясняется процессами деструкции.

В процессе исследований с апреля по июль 1982 г. отмечена тенденция снижения содержания в донных осадках органических соединений и в их составе малополярных компонентов. Концентрация органических соединений в апреле составила 250 и малополярных - 82 мкг/г. В июле средние их концентрации уменьшились соответственно до 96 и 46 мкг/г.

В составе мазутного загрязнения пляжей преобладала масляно-смолистая фракция (87...97%). Уменьшение доли легких углеводородов в процессе деструкции мазута обусловило сдвиг максимума в спектре n-алканов в высокомолекулярную область.

Нефтяное загрязнение в форме смоляных образований и погрузившегося на дно мазута ни на одном из этапов исследований обнаружено не было, хотя и было дано заключение (ИНИИМФ), что якобы 15% мазута, т.е. 2500 т, опустилось на дно в результате эмульгирования и увеличения плотности мазута за счет налипания эмульгированных его глобул на твердые частицы. На основе анализов уже на первом этапе экспедиции было установлено, что в донных осадках находилось не более 190 т мазута, количество которого под влиянием химических, биохимических процессов разложения, трансформации миграционных форм нефтяного загрязнения снизилось до 11 т. Данные анализов послужили основой расчета баланса масс мазутного загрязнения, происшедшего при аварии танкера "Глобе Асима", который не подтвердил погружение больших масс мазута на дно. Если бы имело место столь большое количество мазута, опустившегося на дно, то на последующих этапах экспедиции анализы должны были бы показать увеличение содержания нефтяных углеводородов в воде в иных формах (растворенных, эмуль-

гированных, взвешенных, пленочных и т.д.), т.е. происходило бы для-тельное загрязнение района на основе перехода нефтяного загрязнения из одной формы в другую. Исследователями не обнаружено увеличения загрязнения. Отмечена общая тенденция снижения нефтепродуктов в воде с апреля по октябрь. Так, после разлива среднезвешенная концентрация нефтяных углеводородов в воде была выше в 7...8 раз предвзвешенного уровня, в апреле загрязнение превышало в 4...5 раз фон, а в октябре приблизилось к фоновому. Процесс седиментации мазута в связи с ним загрязнения донных отложений в исследуемой акватории моря имели место, но масштабы их ограничены, по-видимому, было вовлечено менее 200 т мазута.

Мазут в период зимних штормов был в основном выброшен на берег, и важное значение для его скопления и дисперсии приобретали береговые процессы и геоморфология берега. Береговая линия весьма неоднородная и, естественно, наибольшему загрязнению подвергаются и сложно очищаются закрытые отмели, травянистые болота. Опыт очистки берегов Бретани при разливе нефти с "Амоко Кадиас" показывает, что естественная эрозия оказывает очищающее действие на песчаные пляжи. Скалы, каменистые пляжи и закрытые участки очищаются волнами только во время сильных штормов и при прямом их воздействии. Исследования, выполненные в Клайпедде, не позволяют сделать такой вывод, процесс весьма мало изучен, и даже наблюдения за полигонами, оставленными на побережье для исследований, не позволили сделать окончательных выводов. Однако неоднородность условий накопления, приуроченность максимального загрязнения к определенным геоморфологическим формам и фациям образования, а главное, сложность очистки побережья, весьма остро ставят вопрос о необходимости создания научно обоснованных методов и средств очистки берегов. Для этого прежде всего необходимо изучить процессы, происходящие на побережье при разливах, определить взаимодействие нефти в каждом типе берегов и с каждым типом отложений, оценить берега с точки зрения экологического уровня вследствие загрязнения нефтью. Такие исследования могут послужить основой для специалистов, занимающихся вопросами разработки мероприятий по борьбе с разливами нефти и созданием средств и методов, необходимых для защиты берега и очистных операций на побережье при разливах.

С момента разлива нефти с "Торри Каньона", когда не было еще средств для борьбы с разливами, прошло много времени и появились весьма эффективные методы и средства для очистки поверхности моря от разлитой нефти. Однако среди этого арсенала нет методов для сбора загрязнений на побережье. Весьма печально, что в век технической революции здесь основными орудиями являются совки и лопаты,



или просто снятие верхнего слоя. Видимо, немалую отрицательную роль в этом вопросе сыграла бытующая точка зрения, что главное — охрана моря, а не берега от нефтяного загрязнения. Урок Клайпеды указал на необходимость разработки технических средств по ликвидации последствий разлива на пляжах, скалистых участках, причалах, по обработке песка и мусора, загрязненного нефтью, на месте.

Масштаб разлива мазута с танкера "Глобе Асиями", охвативший район, простирающийся на 90 км от места катастрофы, с учетом гидрологических особенностей Балтийского моря, водообмен которого затруднен при весьма большой антропогенной нагрузке, в том числе и нефтью, мог бы обусловить больший экологический ущерб. Низкие температуры воды и воздуха во время разлива препятствовали внутримассовому загрязнению воды. К тому же большая часть выброшенного на берег мазута также ослабила загрязнение морских вод. Немалую роль сыграло в этом довольно быстрое удаление загрязнения с прибрежной зоны.

Однако мазутное загрязнение все же оказало негативное влияние на различные звенья экосистемы. В рамках программы были исследованы фитопланктон, концентрация хлорофилла "а", микрофитобентос, мейобентос, макрозообентос, велись определения биологически активных веществ (АТФ и фосфоэстеразы), липидов. Главное внимание было уделено анализу распределения отдельных форм нефтяного загрязнения в воде, так как загрязнение воды приводит к экологическим изменениям, и его отрицательное воздействие весьма ощутимо на всей трофической цепи гидробионтов. Исследованиями установлены значительные изменения в различных звеньях экосистемы, особенно в Куршском заливе в приурезовой зоне и на берегу. Резко уменьшились численность фитопланктона и его видовое разнообразие, вплоть до преобладания единичных видов, наиболее устойчивых к нефтяным загрязнениям. Наибольшие различия отмечены для видового состава фитофлагеллят, подотряда *Bodoniidae* — индикатора полисапробной зоны. На клетках фитопланктона в районе Клайпеды обнаружено нефтяное загрязнение. Следствием нефтяного загрязнения явилось изменение в составе прежде всего жгутиковых. Эта группа организмов плохо защищена снаружи, плавают они близко к поверхности и наиболее чувствительны к загрязнению. Так, в прибрежных районах резко снизилось количество жгутиковых по сравнению с другими видами, появились виды, развитие которых характерно для загрязненных районов Балтийского моря, произошли морфологические изменения некоторых видов фитопланктона. Пляжевая зона, подвергшаяся большому загрязнению, характеризовалась качественной и количественной бедностью мейобентоса. Заметно различалась мейофауна мелкозернистых и крупнозернистых фракций осадков. Численность мейобентоса в крупнозернистых осадках была на порядок выше численнос-

ти интерстициальной фауны мелкозернистых грунтов, что было обусловлено и находилось в соответствии с их большей загрязненностью. На участках пляжа, сложенных мелкозернистыми грунтами, покрытых нефтяной пленкой, мейобентос полностью отсутствовал. В крупнозернистых осадках мейофауна из поверхностных слоев песка мигрировала в более глубокие слои. Не подвергшиеся загрязнению участки пляжа были более богаты фауной мейобентоса.

Собранная в период работы экспедиции информация о бентосе, фитопланктоне после аварии танкера "Глобе Асиями" дала возможность определить негативное влияние мазутного загрязнения. Однако часть данных нужно еще изучить, расширить и дать более полную оценку влияния разливов нефти на гидробионтов и, естественно, для определения роли загрязнения необходимо сравнение с годовыми контрольными циклами.

Полученные данные позволили достоверно оценить последствия аварийного разлива мазута, обоснованно рассчитать баланс загрязнения региона, составить прогноз дальнейшего влияния мазута и продуктов его трансформации на водоем и береговую полосу. Опыт, полученный при ликвидации последствий разлива мазута с танкера "Глобе Асиями", еще долгое время будет использоваться специалистами при решении самых различных вопросов, в том числе и при разработке методов и средств защиты моря и побережья от нефтяных загрязнений.

## Глава 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

### 2.1. Гидрологические условия акватории и морфолого-литологическая характеристика побережья и дна

При аварийных разливах нефти либо при миграции нефтепродуктов к берегу в результате гидродинамических процессов происходит загрязнение шельфовой зоны и пляжей морских водоемов. Загрязнение же пляжевой зоны в настоящее время настолько актуально, что его изучение включено в программу глобального мониторинга уровней и динамики форм нефти. Масштабы загрязнения пляжей зависят не только от количества разлившейся нефти, но и от интенсивности гидродинамических процессов (ветер, волны, течения). Рассеяние и глубина захоронения нефтяных остатков зачастую определяются силой ветровой энергии, формой и строением берегов, а также типом донных и пляжевых отложений.

#### 2.1.1. Гидрологические особенности исследуемой акватории

Важнейшей чертой гидрологического режима исследуемой акватории Балтийского моря является резкая двухслойность водной толщи, обусловленная взаимодействием пресного стока Куршского залива с солеными морскими водами. Поверхностный слой занят распресненными водами, соленость которых составляет 7...8‰. В приустьевых районах Куршского залива она уменьшается до 3,5...5‰ [68]. По распределению изохалины 7,7‰ прослеживается морская граница распространения выносов Куршского залива, достигающая расстояния до 35...40 км от Клайпедского пролива (рис. 2.1).

Нижний слой имеет несколько большую соленость - 8...9‰, разбавленную в приустьевых областях до 6...7,8‰. Последняя изохалина, распространение которой прослеживается на расстоянии до 40 км от Клайпедского пролива, характеризует внешнюю границу потока пресных вод Куршского залива (рис. 2.2).

Слой скачка солености (галоклин) в исследуемом районе с преобладающими глубинами до 50 м не характерен. Здесь преобладают зона активного волнового воздействия, перемешивание водной толщи и приток пресных вод. Интенсивность вертикального перемешивания ска-

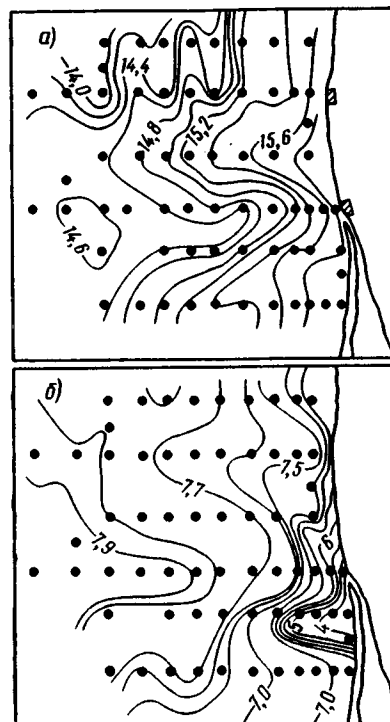


Рис. 2.1. Распределение температуры (а) и солености (б) в поверхностном слое вод исследуемой акватории в июле 1974 г.

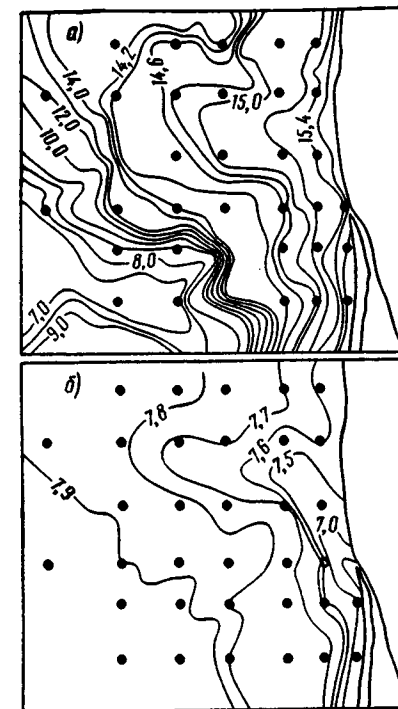


Рис. 2.2. Распределение температуры (а) и солености (б) в придонном слое вод исследуемой акватории в июле 1974 г.

зывается и на формировании температурного режима вод. Так, летом 1974 г. температура в поверхностном слое вод на полигоне близ Клайпеды в морской части района была на 4...7° выше, чем в придонном (соответственно 14...15 против 7...10°C). В прибрежной части моря (до глубин 20...30 м) различия в температуре обоих слоев не превышают 0,2...0,4°C.

В пределах исследуемого полигона поверхностное течение следует с юга вдоль побережья. Из-за резкого поворота береговой линии в районе Самбийского полуострова от северного течения примерно на параллели Клайпеды отделяется западная ветвь. Она вызывает подъем глубинных вод и, как следствие, способствует развитию фитопланктона и повышению концентрации взвеси. В районе Самбийского полуострова формирующийся восточно-балтийский поток наносов расчленяется по морфологическим, литодинамическим и литологическим признакам и колебаниям гидрометеорологического режима во времени на Самбийский, Куршский и Клайпедско-Двепайский потоки более низкого порядка. На участке Самбийского потока его мощность составляет 200...250, на Куршском уменьшается до 200, а севернее Клайпеды вновь резко увеличивается - до 400...450 тыс.м<sup>3</sup>/год. Эти потоки способствуют формированию и дифференциации состава донных отложений исследуемого нами района.

В условиях относительной мелководности района активным динамическим фактором седиментации является волнение, разгон западных румбов которого здесь максимален для всего моря. Даже вблизи берегов в 1954-1960 гг. при юго-западном ветре со скоростью 20...21 м/с отмечались волны высотой до 6,3 м, при максимальной их длине 77 м.

Перемещение осадочного материала в прибрежной зоне производится вдольбереговыми течениями во время штормов. Скорость этих течений над подводными валами достигает 108 см/с /15/.

### 2.1.2. Геоморфологическое районирование берегов и дна

Геоморфологическое районирование береговой зоны моря включает в себя подразделение ее на геоморфологические региональные категории - регионы разного таксономического ранга. Оно позволяет решать проблемы берегоформирующих факторов и процессов в связи с гидро- и литодинамикой береговой зоны. В нашем случае такое районирование позволяет более четко понять закономерности дифференциации продуктов мазутного загрязнения после аварии танкера "Глобе Асами".

Геоморфологически область береговой зоны района исследований подразделяется на районы Куршской косы и коренного берега Литвы и Латвии /17/, сложенного четвертичными отложениями.

В береговом районе Куршской косы выделяются умеренно аккумулятивный участок Нида-Юдкранте и сильноаккумулятивный - Юдкранте-Копгалвис. Ширина пляжей колеблется от 20...55 (на первом) до 50...80 м (на втором). Высота защитного пляжевого дюнного вала (ЗПДВ), расчлененного дефляционными котловинами, колеблется в пре-

делах 2...10, севернее Юдкранте - до 12...14 м. Широкие пляжи сохраняют подножие ЗПДВ от волнового размыва. На подводном склоне этого участка имеются три вала, ширина которых составляет 500...800 м. В районе коренного берега выделяются следующие участки: слабо- и умеренно аккумулятивные (Мелнраге-Гируляй, Нямирсета-Швантояи и севернее пос. Нидасцiems), абразионно-клифовый-сильноразмываемый (Гируляй-Карклинянкай), уступовый умеренно размываемый (Карклинянкай-Нямирсета) и аккумулятивный, но с тенденцией к размыву (Швантояи-Нидасцiems).

Ширина слабо- и умеренно аккумулятивных пляжей колеблется от 25...40 до 50...90 м, причем она уменьшается при увеличении уклона пляжей. ЗПДВ часто расчлененный (на юге) и сплошной (на севере), достигающий высоты от 3...4 до 6...9 м. Севернее Нидасцiems береговые дны понижаются до 1...3, лишь в отдельных случаях возвышаясь до 5...7 м. На подводном склоне рельеф дна неоднороден: если на юге подводные валы либо отсутствуют, либо прослеживается лишь один вал, то на северных участках их количество увеличивается до трех, ширина занимаемой ими зоны составляет 230...340 м. Нередко глубже зоны валов наблюдаются фрагменты размывных моренных гряд.

Ширина пляжа абразионно-клифового участка Гируляй-Карклинянкай не превышает 15...25 м, причем пляж здесь сложен резидуальными отложениями размывных ледниковых пород (моренных суглинков и супесей). Верхняя часть пляжа здесь заканчивается моренным клифом Оландо Кяпуре. На подводном склоне (глубже 5 м) обнажается моренный бенч, представляющий валунно-галечную отмостку, простаравшуюся до глубины 30 м. Подводные валы здесь отсутствуют. Умеренно размываемый участок Карклинянкай-Нямирсета характеризуется крутыми склонами пляжа, его обрамлением моренным уступом высотой 1...2 м и шириной пляжа до 30 м, несколько увеличивающейся в северном направлении. На подводном склоне прослеживаются два вала, ширина которых составляет 100...200 м. Глубже 5 м также прослеживается моренный бенч.

Участок пляжа Швантояи-Нидасцiems имеет ширину от 20 до 40...45 м, местами он двухсклонный. Высота ЗПДВ, как правило, 1...3, лишь в отдельных случаях повышается до 6...7 м. Подводный склон здесь пологий, выровненный. Прослеживается лишь один слабо-развитый подводный вал, ширина зоны которого - до 140 м.

Рельеф дна исследуемой акватории в целом относительно ровный, с незначительным уклоном в сторону открытого моря. В верхней части подводного склона (до глубины 10...15 м) дно осложнено несколькими (до 3) береговыми валами. На валах отложения, как правило, мельче и однороднее, чем в межваловых ложбинах. Здесь во время шторма происходят интенсивный размыв.

Восточное побережье района окаймляется мелководьем (аккумулятивно-абразионной равниной) с глубинами до 50 м, с активным волновым воздействием до глубины 25...30 м. По пологим склонам мелководье переходит к глубоким впадинам моря. В юго-западной части района мелководье и склоны усложнены крупной формой мезорельефа - подводной прадолвиной р. Нямунас. В северо-западной части района рельеф дна усложняется элементами Гданьско-Готландского порога субмеридиального простирания. Этот порог, а также ряд участков мелководья усложнены размытыми останцами ледниковых и водноледниковых холмистых форм, многочисленными конечно-моренными грядами.

Отмеченный рельеф дна, расположение основных источников питания осадочным материалом (Куршский залив, абразионные берега Самбийского полуострова и производственные отходы Янтарного комбината), а также специфика гидродинамического режима юв части Балтийского моря обуславливают особенности современного осадкообразования, а вместе с тем миграцию и дифференциацию загрязнений, в том числе и нефтяных. Здесь четко проявляются особенности прибрежной зоны седиментации, где в основном аккумулируется материал фракций  $> 0,05$  мм.

### 2.1.3. Литологический состав пляжевых и донных отложений

Пляж на участке Нада-Юдкранте сложен среднезернистым песком с примесью мелко- и крупнозернистого, а также гравия. В верхней части пляжа и на некоторых его отрезках, подверженных локальному размыву, встречается и галечник. Подводные валы сложены мелко- и среднезернистым песком, межваловые ложбины - среднезернистым с примесью более грубого материала, а подводный склон глубже зоны валов - мелкозернистым песком и крупным алевритом.

Участок пляжа Юдкранте-Копгалис сложен преимущественно мелкозернистым песком. Такой же состав характерен и для донных отложений подводного склона зоны валов. А несколько севернее, непосредственно за Клайпедским проливом-каналом, состав и пляжевых и донных отложений иной: более грубый материал на пляже - разнозернистый песок, гравий и даже галька, а мелкозернистый песок подводного склона на юге участка сменяется валунно-галечной отмосткой (ВГО) - результатом размыва ледниковых образований (моренный сутлянок, супесь, валуны, гравий, галечные резидуальные отложения). Аналогичный состав пляжевых и донных отложений с выходами ВГО на пляже характерен и сильно размываемому участку Гируляй-Карклининкай и уступовому - Карклининкай-Нямурсета. В северной части последнего наблюдается помельчание пляжевых наносов. Мощность толщи этих отложений в обоих случаях редко превышает 20 см.

На отрезке Нямурсета-Швянтойти толща пляжевых отложений сложена, как правило, мелко- и среднезернистыми песками, нередко с прослойками более крупного, гравийного материала. Мощность отложений иногда достигает 1,5...2, но местами уменьшается до 0,2...0,5 м. В последнем случае под песчаной толщей залегают древнебереговые отложения - торфы. В ряде случаев толща пляжевых отложений здесь подстилается перемытыми, обводненными песками третичного времени.

Пляжевые отложения участка Швянтойти-Нидасциемс представлены разнозернистым песком, нередко с примесью гравия и гальки. Подводный склон сложен отложениями весьма пестрого литологического состава. Так, зона мелкозернистого песка сменяется полосой крупных алевритов, доходящей до глубины 10 м. Здесь же обнажается ВГО. Глубже подводный склон сложен резидуальными отложениями (продукты размыва морен). Участок севернее Нидасциемс характеризуется аналогичным составом, но с некоторым уменьшением грубообломочных фракций.

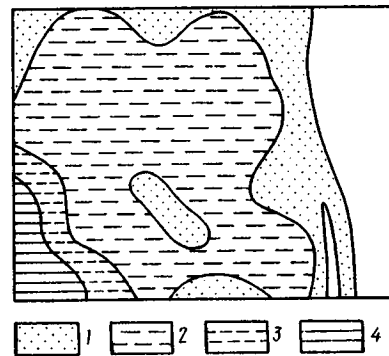


Рис. 2.3. Типы донных осадков (I-4) исследуемой акватории (по Репечка и др., 1980)

Под непосредственным влиянием береговой зоны находятся и донные отложения исследуемой части Балтийского моря. Распределение здесь осадочного материала определяется в основном выносами Куршского залива и абразионно-эрозионными процессами. Перемещение материала придонным слоем осуществляется течениями и волновыми процессами как вдоль берега, так и в открытое море. Естественно, рельеф дна несколько изменяет характер размещения различных типов донных осадков (рис. 2.3). Здесь прослеживается относительно четкая дифференциация материала по крупности. С удалением от берега, как правило, увеличивается количество более тонких фракций. Следовательно, осадки изменяются от песчано-гравийной смеси и песков у берега до алевритово-пелитовых и пелитовых илов в наиболее удаленных участках. Наиболее грубые осадки распространены в пределах зоны активного волнового воздействия (до глубины 25...30 м). Некоторые отклонения от этих закономерностей связаны с участком выносов Куршского залива, в зоне влияния которого части крупные алевриты. Южнее и севернее зоны непосредственного влияния выносов залива примерно в одинаковых условиях накапливаются более грубозернистые от-

ложения (пески и гравийно-галечный материал) прибрежно-морского генезиса. На участках взаимодействия течений и выносов Куршского залива, в местах выхода моренных отложений, развиты валунно-галечная отмостка (ВГО) и песчано-гравийная смесь (ПГС). Весьма интересно с этой связи представляется проследить распространение типов осадков, отражающих направления выносов терригенного материала и его дифференциацию в море. Вынесенный материал частично распределяется западнее Клайпеды - вдоль пологого склона дна входного канала Клайпедского порта, имеющего уклон юго-западного направления /69/. Под воздействием гидродинамических и геохимических процессов в зоне смешения пресных и соленых вод этот материал перераспределяется. Поступившее из залива осадочное вещество накладывает заметный отпечаток на закономерности распределения отдельных фракций современных донных отложений в прибрежной зоне моря. По распределению фракций донных отложений западнее Клайпеды частично можно оценить состав поступающего из Куршского залива материала, направления и масштабы его перемещения, а вместе с тем и его влияние на процессы осадконакопления на прилегающих участках Балтийского моря.

Так, вынесенные песчаные частицы (более 0,1 мм) отлагаются в непосредственной близости от устья Клайпедского пролива. В этой зоне их содержание превышает 40% (в отдельных случаях - до 100%). В западном направлении количество этих частиц постепенно уменьшается и на расстоянии 30...40 км составляет лишь 10%. Севернее и южнее количество песчаных частиц увеличивается, что указывает на прибрежно-морской их генезис.

Крупноалевритовые частицы (0,1...0,05 мм), поступающие в море в больших количествах, как накапливаются в приустьевой зоне, так и выносятся на большие глубины Балтийского моря. Выделяется область, в которой содержание крупного алеврита превышает даже 80%. Гидродинамический режим и рельеф дна благоприятны для концентрации этих частиц. Мелкоалевритовые фракции (0,05...0,01 мм) относительно равномерно распределяются на обширной площади приустьевой зоны, и лишь в западном направлении отмечается некоторое увеличение их содержания. Пелитовые частицы (< 0,01 мм) выносятся в открытое море, поэтому с увеличением расстояния от берега содержание их постепенно увеличивается.

Таким образом, пляжевые отложения береговой зоны и донные отложения акватории исследуемого района характеризуются весьма неоднородным гранулометрическим составом, физико-механическими свойствами, а также способностью воспринимать либо отбрасывать инородные компоненты в зависимости от морфо- и литодинамического строения

пляжей и дна. Именно эти условия и повлияли, как будет показано далее, на различную степень накопления нефтепродуктов в толще пляжных и в поверхностном слое донных отложений.

#### 2.1.4. Фоновое распределение нефтепродуктов на дне

Нефтепродукты, тем или иным способом поступившие в море, прежде чем достичь дна, проходят длительный путь перераспределения, разложения либо ассимиляции живыми организмами, а также органическим детритом и терригенными частицами. Гидрологические условия и особенности гидро- и литодинамики исследуемого района, наличие зоны стабильного накопления нефти, какой является приклайпедский участок исследуемой акватории /56/, вносят свою специфику и в распределение фоновых концентраций нефтепродуктов на дне. Так, среднеквадратичное отклонение в зонах крупномасштабных флуктуаций концентраций нефти, приуроченных к районам постоянных источников нефтяного загрязнения, почти в три раза превышает среднее фоновое значение.

Для поверхностного слоя донных осадков различных районов Балтийского моря приводятся следующие концентрации нефтепродуктов /56/: Рижский залив - 13,8...23,6, Центральная Балтика - 5...9,5, Арконская впадина и Одер-банк - 5,8...9,5, Вислинский залив - 1,9...25,0 мкг/г осадка. Следует отметить, что в цитируемой работе не указывается тип осадков, в которых проводилось определение. Судя по районам, эти отклонения, за исключением Одер-банк, представлены мелкотонкодисперсными осадками (или пелитовые, алевритово-пелитовые и мелкоалевритовые). Следовательно, для более грубых отложений фоновые значения должны быть в несколько раз меньше. Так, в пределах исследуемой акватории концентрация нефтяных углеводородов осенью 1980 г. составляла 35...42, а в 1981 г. - от 10...15 (весной) до 4...6 мкг/г (осенью). Если принять за фоновый разрез Нида во время наших исследований 1982 г., содержание НУ в донных отложениях которого по сравнению с разрезом Клайпеды ниже в 1,5...2 раза, то для разных типов донных осадков фоновые содержания НУ будут следующими (табл. 2.1).

Таким образом, даже на одних и тех же станциях в различные сезоны года отмечаются значительные изменения "фоновых" содержания НУ.

Таблица 2.1  
Фоновое содержание НУ в различных типах донных осадков Клайпедского полигона весной (а) и летом (б) 1982 г.

Тип осадка	Содержание НУ, мкг/г сухого осадка	
	а	б
Песчано-гравийная смесь	72	19
Песок среднезернистый	100	Неопределенное
Песок мелкий	102	37

## 2.2. Физико-химическая характеристика воды

### 2.2.1. Фоновый уровень загрязненности Балтийского моря и его заливов

Особенности водообмена, мощный береговой сток, сложная конфигурация берегов и дна Балтийского моря создают специфику его гидрологического и гидрохимического режима: вертикальное разделение толщ воды на два слоя и принципиальное различие процессов, происходящих в деятельной и глубинных зонах.

В деятельном слое, мощность которого колеблется от 40...50 до 70...80 м, распределение хлорности, растворенных газов и биогенных веществ сравнительно однородно по вертикали, сезонные колебания довольно велики, особенно в заливах и прибрежных областях. Сезонные изменения обладают годовой циклическостью, типичной для морей умеренного пояса.

Годовая и межгодовая изменчивость гидрохимических условий в глубинной зоне связана с интенсивностью глубинного течения, несущего в Балтийское море солёные, хорошо аэрированные и относительно бедные биогенными веществами воды проливов; в периоды ослабления этого подтока в глубинных водах развиваются застойные явления: увеличение количества продуктов распада органических веществ, исчезновение растворенного кислорода и появление сероводорода.

Чередование периодов развития застойных явлений в глубинных областях Балтийского моря и периодов более интенсивного проникновения на глубины свежих вод имеет очень большое значение для биологической продуктивности моря.

В настоящее время напряженный кислородный режим моря обуславливается также антропогенным воздействием, которое оценивается в  $1,1 \cdot 10^6$  т/год и очень опасно из-за небольшого объема моря и слабого водообмена в придонных слоях, в результате чего в последние десятилетия постоянно наблюдается дефицит кислорода. В течение XX столетия, особенно во второй половине, содержание кислорода в глубинных и придонных слоях Балтики заметно уменьшалось, например с 66% в 1970 г. до 5% насыщения в 1981 г. (табл. 2.2).

Таблица 2.2  
Динамика кислорода в открытой части Балтийского моря

Горизонт, слой	1978 г.		1979 г.		1980 г.		1981 г.	
	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
0	12,20	101	12,16	101	11,07	107	11,75	110
10	12,50	103	11,82	101	11,07	106	11,73	107
50	11,25	87	11,69	89	11,16	86	11,42	91
100	2,01	16	1,41	13	1,40	13	1,27	10
Дно	1,26	7	0,89	6	0,54	6	0,54	5
0...дно	10,37	63	10,20	62	8,64	64	10,02	87
Максимум	15,49	128	15,66	136	14,60	141	15,89	142
Минимум	0,48	4	0,00	0	0,00	0	0,00	0

Район бентической пустыни в придонных слоях моря в 1929 г. не наблюдался, в 1959 составил 26, в 1974 - 75, в 1975 г. - 84 тыс. км<sup>2</sup>, а в 1980 и 1981 гг. - около 80% общей площади моря (без заливов). Наличие бескислородных зон при современном повышенном поступлении фосфора по внешним каналам опасно в том, что появляется еще один, внутренний канал поступления фосфатов - утечка их из донных отложений в бескислородных условиях. Так, при обычном содержании фосфатов в придонных слоях до 100 мкг Р/л в период стагнаций их содержание в районах впадин достигает 200...450 /83/ в настоящее время - 140...170 мкг Р/л, причем изоплета 100 мкг/л поднимается до глубины 140...160 м в районе Готландской впадины и 100...245 м - в районе Ландсортской.

Проблема загрязнения Балтийского моря достигла наибольшей остроты к началу 70-х годов. Общеизвестны факторы, усугубившие неблагоприятные условия для экосистемы Балтийского моря: доля промыш-

Среднегодовая загрязненность поверхности Балтийского моря нефтяными пленками (баллы)

Район	1976 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.	1982 г.
Финский залив	1,18	0,93	1,03	1,07	1,04	0,98	1,00
Собственно море	1,05	1,01	1,00	0,98	0,94	0,88	0,88
Море с заливами	1,11	1,02	1,04	1,04	1,00	0,94	0,94

ленной продукция семи высокоразвитых прибалтийских государств составляет 10% мировой; около 70 тыс. кораблей ежегодно проходят через датские проливы. Общее поступление нефтяных углеводородов в Балтийское море /И12, И28/ оценивается в настоящее время в 50...100 тыс. т/год что составляет 1,4...2,8% общего поступления нефти и нефтепродуктов в Мировой океан. При этом следует отметить, что Балтийское море составляет только 0,1% площади Мирового океана, т.е. нагрузка нефти в этом районе на порядок выше, чем в открытых районах океана. Около 50% нефти и нефтепродуктов поступает в море из постоянных источников (речной, хозяйственно-бытовой и индустриальный сток), 20% - при перегрузке танкеров, 10% - при аварийных разливах и около 20% - из атмосферы и при водообмене с Северным морем.

По расчету Г.Куленберга только 2,85% поступающей в Балтийское море консервативной примеси будет удаляться в Северное море при водообмене, и накопление ее будет превышать это количество в 35 раз. Внутригодовое распределение антропогенной нагрузки (смыв с почвы и вынос реками при весеннем половодье, активизация деятельности торгового и рыболовецкого флота, увеличение хозяйственно-бытовых стоков в рекреационный период) нивелирует самоочищающую способность моря, и в связи с этим именно в наиболее теплый период года чаще всего наблюдается некоторое повышение уровня загрязненности заливов и моря в целом.

О постоянном уровне загрязнения моря пленками нефтепродуктов свидетельствуют материалы авианаблюдений (табл. 2.3). В осредненном годовом ходе загрязненности моря пленкой нефтепродуктов прослеживаются два максимума - весенний и осенний, причем амплитуда загрязненности в годовом ходе составляла 0,21 балла в собственно Балтийском море, 0,18 - в Рижском и 0,20 - в Финском заливах (по данным 1982 г.). Отдельные пятна нефтепродуктов интенсивностью более 3 баллов наблюдались чаще всего на подходах к акваториям портов.

Анализ данных авианаблюдений показал, что одним из основных факторов, обуславливающих распределение и перераспределение нефтяного загрязнения по площади, является ветер. Изменение скорости ветра приводит к изменению пленочного загрязнения: максимум загрязненности наблюдается практически всегда при ослаблении ветра, минимум - в периоды усиления ветра: с увеличением силы ветра на 1 балл наблюдаемая пленочная загрязненность уменьшается примерно на 0,06 балла (табл. 2.4).

Как видно из табл.2.4, для заливов характерно повышение содержания нефтяных углеводородов (НУ) в основном в весенние месяцы, что обусловлено влиянием выноса НУ с речным стоком.

Рост СПАВ и аммонийного азота в заливах в летние месяцы является результатом повышенного сброса хозяйственно-бытовых сточных вод. Исключение составляет внутригодовое распределение азота в Вислинском заливе, где возрастание его содержания в основном наблюдается от весны к осени, что вызвано дефицитом кислорода в заливе в течение всего теплого периода года и, как следствие, замедлением окислительных процессов и накоплением аммония. Для моря четкой сезонной тенденции изменения органических загрязняющих веществ не прослеживается.

#### Загрязненность водной толщи

Загрязненность водной толщи открытой части моря в 1981 г. была незначительной и по сравнению с 1978 г. для всей толщи моря снизилась в 8 раз (табл. 2.5). Как видно из табл.2.5, распределение нефтяных углеводородов по вертикали уже в 1980 г. довольно однородно, хотя в 1978-1979 гг. еще наблюдалось повышенное загрязнение деятельного слоя.

Распределение НУ как в поверхностном слое, так и во всей водной толще в течение года также характеризуется большой однородностью. Так, в 1981 г. на всей акватории моря в поверхностном слое концентрации НУ колебались в пределах 0,00...0,02 и лишь в юго-восточной части моря наблюдались концентрации до 0,04 мг/л. Некоторое превышение фоновых концентраций НУ, особенно в осенний период (до 0,02...0,03 мг/л), наблюдается в поверхностном горизонте на подходе к датским проливам и Финскому заливу и в районах Готландской и Борнхольмской впадин - в придонном горизонте. О некотором накоплении НУ в районах глубоководных впадин свидетельствует

## Динамика уровня загрязненности заливов и собственно Балтийского моря в зависимости от температуры воды

Ингредиент, мкг/л	1978 г.				1979 г.				1980 г.				1981 г.				1982 г.			
	П	У	УШ	Х	П	У	УШ	Х	П	У	УШ	Х	П	У	УШ	Х	П	У	УШ	Х
Финский залив																				
Температура, °С	0	4,5	16,5	5,3	-0,2	7,1	17,7	6,7	-0,2	7,7	17,8	7,6	-0,2	8,8	17,2	7,5	-0,2	8,5	14,0	8,5
Нефтяные углеводороды	-	-	35	40	-	-	40	20	-	-	60	50	-	-	-	-	-	30	-	50
СПАВ	-	40	17	24	-	-	23	24	-	17	13	15	-	11	21	14	-	3	21	9
Аммонийный азот	-	20	20	40	-	31	23	41	-	16	20	15	-	43	3	20	-	24	24	14
Рижский залив																				
Температура, °С	-	4,3	20	7	-	7,7	16,9	6,2	-	7,5	17,0	7,0	-	7,9	17,0	7,0	-	8,0	18	7,5
Нефтяные углеводороды	-	-	-	-	-	40	0	10	-	10	10	20	-	10	10	10	-	30	20	20
Фенолы	2	2	2	2	-	3	2	2	-	3	2	2	-	3	3	3	-	1	1	1
СПАВ	-	40	34	14	-	56	53	34	-	42	30	26	-	37	59	48	-	20	24	41
Аммонийный азот	-	114	69	50	-	36	89	44	-	48	46	43	-	-	-	-	-	-	-	-
Куршский залив																				
Температура, °С	-	12,4	18,8	9,5	0,2	11,9	18,2	9,0	-	10,0	18,7	7,0	-	14,1	20,0	9,3	-	12,3	19,5	9,6
Нефтяные углеводороды	-	-	-	-	-	50	30	-	-	40	-	40	-	-	20	40	-	50	-	10
СПАВ	-	26	41	45	-	58	50	40	-	36	66	54	-	49	62	41	-	58	65	54
Аммонийный азот	-	32	54	57	-	65	345	205	-	66	402	50	-	84	354	115	-	55	-	42
Вислинский залив																				
Температура, °С	-	6	23,8	10,3	-	14,4	19,1	9,3	-	12	17,2	10,5	-	14,6	19,2	10,9	-	14,1	21,1	12
Нефтяные углеводороды	-	-	-	-	-	50	20	20	-	-	-	-	-	-	20	-	-	20	-	20
Фенолы	-	7	10	5	-	3	5	5	-	-	-	-	-	3	3	3	-	3	3	3
СПАВ	-	46	39	81	-	46	91	105	-	-	-	-	-	60	122	66	-	89	51	25
Аммонийный азот	-	155	640	1580	-	1450	1680	945	-	-	-	-	-	918	501	894	-	460	830	370
Собственно море																				
Температура, °С	2	6	17	12	1,0	5	17	11	0,5	3,8	16,5	10,5	2	6	16	9	0,8	4,7	20	11,5
Нефтяные углеводороды	-	7	-	-	-	-	10	10	-	10	50	10	-	10	0	10	50	50	-	20
Фенолы	-	4	-	6	3	4	3	3	-	3	-	-	-	4	3	4	3	3	3	3
СПАВ	-	70	-	134	67	57	37	40	-	29	27	30	-	25	28	27	28	35	30	27
Аммонийный азот	-	12	-	33	6	7	16	10	-	8	16	11	-	12	20	8	19	21	11	41



Таблица 2.5

Вертикальное распределение нефтяных углеводородов в открытой части Балтийского моря (средневзвешенные по площади)

Горизонт, слой	Содержание НУ, мг/л			
	1978 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.
0	0,06	0,07	0,04	0,01
10	0,10	0,07	0,03	0,01
50	0,04	0,04	0,02	0,01
100	0,04	0,04	0,03	0,00
Дно	0,04	0,02	0,03	0,00
0-дно	0,08	0,06	0,02	0,01
Максимум	0,39	0,95	0,20	0,11
Минимум	0,00	0,00	0,00	0,00

повышенное содержание НУ в донных отложениях, особенно в районе Готландской впадины - до 0,15 мг/г сухого грунта (0,04 мг/г сухого грунта в среднем для моря).

Нефтяные агрегаты в Балтийском море не обнаружены.

#### Загрязненность СПАВ

Загрязненность вод открытой Балтики СПАВ уменьшилась по сравнению с 1978 г. в 1981 г. в 2,5 раза (табл. 2.6). Загрязненность моря СПАВ очень однообразна и близка к чувствительности метода

Таблица 2.6

Распределение СПАВ в открытой части Балтийского моря, мкг/л

Горизонт, слой	1978 г.	1979 г.	1980 г.	1981 г.
0	76	72	33	29
10	82	66	29	28
50	68	60	26	26
100	52	50	25	26
Дно	43	40	25	26
0-дно	68	50	29	27
Максимум	190	200	81	62
Минимум	< 25	< 25	< 25	< 25

определения. Изменчивости от сезона к сезону не наблюдается. Несколько более повышенные концентрации СПАВ наблюдались в 1981 г. восточнее о. Готланд (62 мкг/л) и у выходов из Финского, Вислинского и Куршского заливов (до 40 мкг/л).

#### Загрязненность хлорированными углеводородами и другими загрязняющими веществами

Загрязненность открытой части Балтийского моря хлорированными углеводородами на протяжении 1978-1981 гг. невелика, ДДТ и его метаболиты в водном слое не обнаруживаются или в отдельных случаях наблюдаются в следовых количествах. Так, в 1981 г. ДДТ был обнаружен на выходе из Куршского залива и в районе Арконской впадины (10...11 нг/л), ДДЭ - на выходе из Финского залива (4,3 нг/л). ГХЦГ (линдан) обнаруживается практически повсеместно в фоновых количествах (6 нг/л), наиболее высокие концентрации (до 46 нг/л) наблюдались осенью 1981 г. в районе о. Готланд.

Сравнительно высока загрязненность ГХЦГ донных отложений, особенно в глубоководных впадинах, где концентрации ГХЦГ составляют 61...230 нг/г сухого грунта в весенний и осенний периоды, летом их концентрации заметно ниже (8...16 нг/г сухого грунта).

По сравнению с 1978 г. /84/ концентрации ДДТ в донных отложениях снизились с 3 нг/г сухого грунта до полного отсутствия, а концентрации ГХЦГ возросли с 9 до 41 нг/г сухого грунта, что свидетельствует о непрерывном поступлении этого вида хлорированных углеводородов.

Загрязненность фенолами вод Балтийского моря незначительна и сохраняется на уровне 3 мкг/л в течение 1978-1981 гг.

Изучение распределения и концентраций различных загрязняющих веществ в биоте позволило выделить в Балтийском море районы, различающиеся по уровню загрязнения. Так, по содержанию металлов в треске можно судить о более высоком уровне загрязненности медью восточной и центральной частей моря, загрязненность кадмием в основном происходит в прибрежной зоне, ртутью в основном загрязнены районы Зунда (между Швецией и Данией) и локально участки Ботнического залива.

По содержанию загрязняющих веществ в сельди можно судить о повышенной загрязненности цинком прибрежных зон Ботнического залива и района о. Борнхольм; подтверждается повышенная в 5...10 раз по сравнению с открытыми районами моря загрязненность прибрежных вод кадмием, особенно у побережья Швеции в Ботническом заливе, а загрязненность вод ртутью в этом же районе; по содержанию ДДТ можно

Таблица 2.7

Динамика уровня загрязненности отдельных заливов  
в собственно Балтийского моря

Район	Год	Ингредиент, мкг/л			
		нефтяные углеводороды	фенолы	СПАВ	аммонийный азот
Финский залив	1978	50	3	31	20
	1979	30	3	23	32
	1980	-	5	15	17
	1981	-	-	15	22
	1982	50	3	11	19
Рижский залив	1978	-	3	20	78
	1979	-	3	48	57
	1980	10	3	33	42
	1981	10	3	48	-
	1982	20	3	28	-
Куршский залив	1978	-	-	32	64
	1979	-	-	38	125
	1980	-	-	47	132
	1981	40	6	54	198
	1982	50	-	59	52
Виолинский залив	1978	-	-	60	498
	1979	60	4	86	1150
	1980	-	-	-	-
	1981	40	3	65	693
	1982	-	3	50	601
Собственно море	1978	-	3	68	19
	1979	-	3	50	10
	1980	20	-	29	12
	1981	10	3	27	13
	1982	50	3	30	23

выделить наименьшую зону загрязнения у побережья Финляндия и максимальную - у побережья Польши. Изучение литоральных рыб (шук и желтых угрей) показало заметное влияние локального загрязнения, особенно сброса полихлорированных бифенилов (ПХБ) у побережья Швеции.

Хотя на основании этих данных нельзя выделять "горячие районы", но можно косвенно судить о потенциально опасных очагах загрязнения.

Следует отметить, что уровень загрязненности открытых районов моря и его заливов постепенно снижается (табл. 2.7), что является следствием усилий всех прибалтийских стран.

### 2.2.2. Формы нефтяного загрязнения Балтийского моря и пути его предотвращения

Нефть\* является одним из наиболее опасных и широко распространенных загрязнителей Балтийского моря. Она встречается в виде поверхностной пленки, истинного или коллоидного раствора, прямых, обратных и множественных эмульсий, смоляных комков, придонного "нефтяного ракушечника". Она может сорбироваться твердыми взвешенными в воде частицами, входить в состав донных отложений, загрязнять флору и фауну, участки береговой зоны.

Количественное соотношение миграционных форм нефти в море определяется комплексом факторов, важнейшими из которых являются состав и свойства нефти, условия ее поступления в водоем, его гидрологический режим, уровень и характер фоновой загрязненности, концентрация в нефти и воде поверхностно-активных веществ (ПАВ) и т.д.

Каждая из миграционных форм нефти специфично влияет на физические, химические и биологические процессы, протекающие в водной среде и на геохимических барьерах "вода-атмосфера", "вода-дно", "река-море", имеет присущий только ей механизм эволюция, биологического и химического окисления, флуктуационно-релаксационных процессов.

Исследование форм миграции нефти необходимо также для научно обоснованной разработки методов и средств предотвращения загрязнения моря нефтью и борьбы с последствиями нефтяных разливов, которые должны не только обеспечить извлечение из воды основной массы нефти, но и преобразовать неизвлекаемую часть нефти в миграционные формы, наименее вредные для водоема и водных организмов и наиболее подверженные процессам биологического и химического разложения /60/.

\* Здесь и далее под словом нефть подразумеваются сырые нефти, мазуты, дизельное топливо, бензины, смазочные масла, их смеси, продукты видоизменения в процессах хранения, транспортировки и использования, а также продукты взаимодействия всех этих веществ с водной средой.

В связи с этим были проведены систематические исследования уровня, форм и механизма миграции нефти в Балтийское море. Натурные исследования проводились на научно-исследовательских судах Института океанологии им. П.П.Шаршова АН СССР "Академик Курчатов" (1978 г.) и "Шельф" (1979, 1982 гг.).

В ходе экспедиций по трассе следования судов, на полигонах и со шлюпок наряду с химическими, биологическими и геологическими характеристиками Балтики определялись наличие и размеры нефтяных пленок на поверхности моря, содержание нефтяных углеводородов (НУ) в поверхностных, глубинных и придонных водах, на границах раздела "море-атмосфера", "река-море", в слое скачка мутности, на взвеси, в донных осадках различных абсолютных возрастов и глубин залегания, в поверхностном микрослое вод, в фильтрате и ультрафильтрате. Определялось также содержание суммы полярных и неполярных углеводородов метильных, метиленовых и метиновых групп в тех же объектах, суммарное содержание НУ и гетероциклических компонентов нефти с помощью селективных растворителей, структурно-групповой состав нефтяных пленок.

Дистанционное зондирование поверхности моря производилось круглосуточно с помощью флуоресцентного датчика ФД-1. Работа прибора контролировалась определениями наличия и толщины пленки нефти методом контактной сорбции, а в светлое время суток, кроме того, методом фотографирования и визуального наблюдения.

Для определения содержания нефти на границе раздела "море-атмосфера" применялся метод контактной сорбции на фторопластовые и пенополиуретановые пластины. Нефтяные углеводороды в воде, фильтрате и ультрафильтрате определялись методом инфракрасной спектроскопии. Определение производилось сразу же после отбора пробы на спектрофотометре, установленном на борту судна.

Пробы воды из поверхностного микрослоя отбирались с помощью капровой сетки с ячейей диаметром 1 мм, при этом захватывался слой толщиной 0,2...0,3 мм.

Нефть, сорбированную донными отложениями и взвесью, определяли путем экстракции четыреххлористым углеродом с ИКС-окончанием, а также горячим способом Гольде путем экстракции бензолом с весовым окончанием.

Фильтрат получался с помощью стекловолоконных фильтров  $\mu F/C$  с диаметром пор 1 мкм, ультрафильтрат - на нанорных установках с фильтрами UM -2, имеющими средний диаметр пор 0,0012 мкм. Взвесь получали путем непрерывной центробежной сепарации морской воды по ходу следования судна и на стоянках. Пробы донных отложений отбирались дночерпателем и трубкой большого диаметра.

Работы проводились на 156 гидрохимических станциях 8 полигонов Рижского и Вислянского заливов, Клайпедской бухты, Одербанк, Арковской впадины, Центральной Балтики, а также на гидрохимических съемах по трассам следования судов на протяжении около 7400 км.

На полигонах исследована акватория Балтики площадью около 42 тыс. км<sup>2</sup>. При изучении последствий аварийного разлива мазута с танкера "Глобе Асими" в 1982 г. исследована также загрязненная часть береговой зоны в районе Клайпеды протяженностью 65 км /59/.

На основе полученных результатов произведен укрупненный расчет соотношения масс различных форм миграции нефти в Балтийском море. Расчет выполнен отдельно по полигонам в соответствии со среднезвешенными значениями, после чего показатели суммированы (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Миграционные формы нефти в Балтийском море

Форма нефтяного загрязнения	Содержание, весовые %
Нефтяная пленка на водной поверхности	3,6
Нефть, сконцентрированная в поверхностном микрослое воды	0,02
Нефть, сорбированная грубой взвесью	0,1
Нефть в донных осадках	15,0
Нефть, эмульгированная в воде	64,0
Нефть, истинно- и коллоидно-растворенная в воде	Около 17

Таким образом, установлено, что основная масса нефти находится в Балтийском море в эмульгированном, истинно- и коллоиднорастворенном состоянии, а также сорбирована на взвеси.

На акватории Рижского залива было произведено раздельное определение истинно- и коллоиднорастворенной и эмульгированной в объеме вод нефти. Здесь около 80% всей нефти находится в эмульгированном (> 1 мкм) состоянии, 12% - в виде истинного раствора (< 0,001 мкм) и 10% - в коллоиднодиспергированном состоянии (0,001...1,0 мкм) и 0,1% сорбировано грубой взвесью.

Количественное соотношение растворенных, эмульгированных и сорбированных взвесью нефтепродуктов не остается строго постоянным в пространстве и времени. Тем не менее доминирующей формой миграции нефтяных углеводородов в объеме вод является эмульгированная. Исключением из этого правила не являются также районы аварийного

разлива нефти и нефтепродуктов, обследованные через некоторое время после разливов.

Преобладание термодинамически неустойчивой эмульгированной формы нефтяного загрязнения вод обусловлено несколькими причинами. Во-первых, как свидетельствуют результаты анализа источников нефтяного загрязнения, нефтеводные эмульсии являются наиболее массовой формой поступления нефти в водоем (нефтеосодержащие сточные воды промышленных предприятий, балластные, льяльные и промывочные воды нефтеналивных судов, стоки береговых очистных сооружений и т.д.). Во-вторых, основная масса нефтяных загрязнений содержит большое количество нефтяных поверхностно-активных веществ и природных эмульгаторов (смола, асфальтенов, карбенов, карбонидов, высокодисперсных механических примесей), что способствует самоэмульгированию загрязнений в объеме вод. В-третьих, эмульгирование нефти в морской среде обусловлено гидродинамическими процессами.

Последние причины лежат в основе широко распространенной точки зрения о том, что в момент поступления основная масса нефти сосредоточена в пленке и со временем происходит перераспределение между основными формами миграции, направленное в сторону повышения доли растворенной, эмульгированной, сорбированной нефти и соответствующего уменьшения ее содержания в пленке.

Однако не менее вероятным и более распространенным следует признать механизм миграции нефти, при котором первичной формой является нефтеводная эмульсия. Под влиянием ряда факторов, таких, как увеличение объема дисперсионной среды при попадании в море, высаливающее действие морской воды, изменение свойств среды на геохимических барьерах (например, на границе раздела "река-море"), устойчивость эмульсий снижается, вследствие чего на поверхности воды может образовываться вторичная нефтяная пленка.

Этот самопроизвольный процесс сопровождается понижением свободной поверхностной энергии дисперсной системы на величину, пропорциональную уменьшению поверхности. Он весьма характерен для балластных и промывочных вод, образующихся на нефтеналивных судах в тех случаях, когда процессы их очистки от нефтеостатков осуществляются без применения мощных средств на основе поверхностно-активных веществ и нефтеосодержащие воды после гравитационной очистки сбрасываются в моря и океаны.

Экологические последствия образования подобных пленок и концентрирования нефти в поверхностном микрослое могут быть особенно серьезными в связи с приуроченностью к поверхностному слою наиболее чувствительных видов, форм и стадий развития многих гидробионтов, а также в связи с нарушением обмена энергией, влагой и газами между морем и атмосферой.

Нам была исследована устойчивость эмульсий, образовавшихся при очистке танкеров морской водой и водными растворами препарата МЛ-72. Этот препарат на основе поверхностно-активных веществ обеспечивает очистку танков по замкнутому циклу с самопроизвольным разрушением эмульсии на нефть и мощный раствор. Как и следовало ожидать, менее устойчивыми к действию морской воды и более грубодисперсными оказались эмульсии, образованные без применения препарата МЛ-72.

Таким образом, приуроченность нефтяных пленок к основным трассам нефтеперевозок, т.е. к зонам, где с судов сбрасывают балластные и промывочные воды, в которых нефть находится в эмульгированном состоянии, может быть объяснена вторичным образованием пленок при попадании эмульсий в водную среду /61/.

Оценивая экологические последствия рассматриваемого механизма вторичного образования нефтяных пленок и концентрирования нефти в ее компонентах в поверхностном микрослое, следует учитывать тот факт, что для насыщения поверхностного микрослоя вод всего Балтийского моря до обнаруженных нами концентраций (на порядок и более превышающих концентрацию нефти в объеме вод) достаточно всего нескольких десятков тонн нефти.

Об антропогенном характере нефтяного загрязнения Балтийского моря свидетельствует тот факт, что наиболее высокие концентрации загрязнений донных осадков приурочены к осадкам, образованным в последние 45...65 лет, т.е. к периоду резкого увеличения объемов морских нефтеперевозок и потребления нефтепродуктов государствами Балтийского региона.

### 2.3. Биологическая характеристика региона

Характеристике гидробионтов и их жизнедеятельности в Балтийском море посвящена обширная литература. Однако для исследованного района данных, предшествовавших аварии танкера "Глобе Ассиа", недостаточно.

На биологические объекты в Балтийском море влияют главным образом три фактора: изменение гидрологических условий, увеличение сброса биогенных веществ и поступление вредных загрязнителей /10/. В развитии организмов в море наблюдаются традиционные биологические сезоны. Для фитопланктона выявлены весенний и осенний максимумы развития с пиком размножения синезеленых во второй половине лета /24/.

В связи с повышением солености в Балтийском море в последнее время там происходят изменения видового состава биоты в более "морском" направлении /10/.

Для эвтрофированных прибрежных районов характерно обильное развитие бактерий, фито-, зоопланктона и бентоса. Биомасса зообентоса на эвтрофированных участках в 2...5 раз выше, чем в олиготрофных районах, а на гипертрофных — намного ниже, чем на слабо- и средне-эвтрофированных участках /75/.

Для Балтийского моря характерно большое разнообразие экологических условий, определяющих жизнедеятельность организмов. Так, в связи с сильным варьированием метеорологических, физических и химических факторов невозможно дать среднее значение первичной продукции для всего моря /117/. Позднее В.Кайзер с соавторами /118/ разделила акваторию Балтийского моря на 19 зон, первичная продукция в которых колебалась от 10 до 100 и более г·С/м<sup>2</sup> в год. Характерным для экосистем Балтики, согласно указанным авторам, оказалось почти полное исчерпание биогенных элементов в открытой части моря, низкая концентрация водорослей при высокой скорости первичной продукции и значительная биомасса зоопланктона.

Долгосрочные определения первичной продукции в одной точке тоже показали сильное варьирование ее величин (0,00...45 мг С/м<sup>3</sup> в день) во времени /129/.

Общей закономерностью для Балтийского моря является повышенная эвтрофность прибрежной части и ее снижение, вплоть до олиготрофности, в открытой части моря. В связи с этим на большей части акватории Балтийского моря продуктивность фитопланктона уменьшается по направлению от берега к открытым районам моря /32, 91, 117, 118, 129/.

Куршский залив является мелководной опресненной лагуной Балтийского моря. Он отделен от моря песчаной косой, сообщается с морем узким 400-метровым Клайпедским проливом. Средняя глубина залива составляет 3,5 м. Залив отличается большой рыбопродуктивностью. В нем добывается до 7 тыс. т в год ценных видов рыб, таких, как лещ, оудак, угорь, сиг, корюшковые.

Влияние загрязнителей, в том числе и нефтепродуктами, на биоту Балтийского моря также определяется характерными особенностями этого моря. Так, замкнутость Балтийского моря, мелководность датских проливов и отсутствие приливов приводят к малой величине водообмена (средняя продолжительность пребывания воды в море 25...40 лет), резкой стратификации и длительной задержке загрязнителей /114/. Наряду с этим имеются данные о перемежающемся перемешивании вод в некоторых районах Балтийского моря и во время стратификации /28/. Однако установлено, что в пелагической области Балтики происходит прогрессирующее накопление органического вещества аллохтонного происхождения /21/.

Полузамкнутый характер Балтики, длительный период обновления вод, низкая температура воды приводят к тому, что поступающие аллохтонные вещества трансформируются в этом водоеме медленно, и имеется реальная угроза изменения химического режима моря, нарушения биологических процессов и накопления токсикантов в донных отложениях и морской биоте /81/.

В обзоре результатов катастрофы "Амоко Кадис" у северного побережья Бретани специально подчеркивается, что долговременные эффекты катастрофы более тревожны, чем немедленная гибель организмов /127/.

После нефтяного разлива с танкера "Цесис" у берегов Швеции в октябре 1980 г. биомасса фитопланктона возросла за счет снижения выедания фитопланктона зоопланктоном, погибшим из-за токсического влияния нефти, но затем снова достигла исходной величины /116/.

Начальное возрастание первичной продукции в результате нефтяного загрязнения считается закономерным, но впоследствии продукция резко снижается /21/. Отдельные виды фитопланктона способны поглощать углеводороды. Так, обычная в северном море диатомовая *Chaetoceros simplex* поглощала из воды 90...33% растворенных углеводородов /97/. Фитопланктон Куршского залива более адаптирован к загрязнениям, чем фитопланктон Балтийского моря. По данным Крыловой /36/, доминирующими формами фитопланктона в Куршском заливе являются синезеленые и диатомовые водоросли. Синезеленые, как установлено /147/, обладают повышенной выживаемостью в условиях нефтяного загрязнения. Известно в то же время, что пресноводные виды фитопланктона в свою очередь являются более устойчивыми к загрязнению нефтепродуктами /78/ по сравнению с морскими видами. Все это обуславливает большую адаптацию фитопланктона к загрязнению в Куршском заливе, чем в собственно Балтийском море.

Высказано мнение, что в связи с постоянным поступлением в Балтийское море значительного количества загрязнений из года в год увеличивается доля синезеленых водорослей в суммарной продукции фитопланктона и удлиняется период их доминирования /118/.

Увеличение количества жгутиковых водорослей в периодической, некоторые представители которых вызывают "красные приливы", служит также показателем возрастания эвтрофности и загрязнения водоемов /57, 130/.

По материалам III Советско-шведской экспедиции в определенных районах Балтики (ее южная часть, включая регион датских проливов, центральная часть Готландской котловины) в связи с эвтрофированием вод в течение последних лет сохраняются поля высокой биомассы

фитопланктона /21/. Целям биологического мониторинга по отношению к планктону (фито-, зоопланктон и простейшие) должны служить, по заключению авторов, такие характеристики, как количественные показатели развития, размерный состав, соотношения ведущих видов, индекс разнообразия, индикаторные виды. Задача исследователей заключается в том, чтобы из природной изменчивости биологических экосистем, вызываемых изменениями физико-химических характеристик среды, выделить изменчивость систем, обусловленную влиянием загрязнений /21/.

### Глава 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МАЗУТА И МЕРЫ ПО ЕГО ЛИКВИДАЦИИ

#### 3.1. Результаты авиаобследований аварийного загрязнения Балтийского моря, последовавшего в результате гибели танкера "Глобе Асами"

Под воздействием ветра западного направления 21 ноября часть мазута распространялась через Морской канал в Куршский залив, остальную часть прибило к восточному побережью моря на участке от г.Клайпеда до п.Гируляй. Временное изменение направления ветра с западного на южное, происшедшее с 23 на 24 ноября, обусловило распространение разлившегося мазута в северном направлении вдоль восточного побережья. Таким образом, зона распространения мазута значительно увеличилась.

К моменту начала регулярных авиаобследований места аварии сплошная полоса дрейфующего мазута достигла п.Швентой, а отдельные пятна нефтепродуктов распространились вдоль восточного побережья до п.Папесцеямс. Часть вылившегося мазута была выброшена штормовым ветром на берег, наиболее плотный нефтяной слой располагался в Клайпедском проливе, вдоль причальных стенок и в гаванях порта Клайпеда.

#### Организация авиаработ

23 ноября Северо-Западное УГМ получило сообщение об аварии танкера "Глобе Асами". Этим же сообщением предписывалось организовать систематические авиационные обследования места аварии с картированием распространения разлившегося топливного мазута в открытом море. 24 ноября самолет типа ИЛ-14 с бортоблюдателями Северо-Западного УГМ на борту вылетел в Ригу, чтобы после согласования рабочих вопросов на месте продолжить полет и выполнять первое обследование. Однако из-за неблагоприятных погодных условий, наблюдавшихся в районе аварии, выполнение первого обследования было пе-

решено на 25 ноября. К этому времени в Риге, Клайпеде, а в декабре и в Диепае были созданы комиссии по борьбе с особо опасными загрязнениями мазутом водной акватории и прибрежной курортной зоны моря.

Для оповещения Правительственных комиссий и организаций Госкомгидромета СССР, осуществляющих контроль за состоянием Балтийского моря, была отработана система передачи оперативной информации, получаемой во время обследования моря с самолета. Суть ее заключалась в следующем. Бортоблюдатели, выполняя наблюдения за изменениями интенсивности загрязнения в пятне и растеканием его по площади, непосредственно с борта самолета передавали сведения в ближайший авиадиспетчерский пункт с указанием адресов дальнейшей передачи информации наземными каналами связи. После посадки самолета из узла связи УГМ Латвийской ССР всем организациям, осуществляющим контроль за состоянием аварийного разлива мазута, передавалось подробное телеграфное донесение с указанием интенсивности мазута в пятнах и полосах, мест расположения пятен и полос, их размеры, направление и примерная скорость дрейфа. Для организаций, имеющих приемную факсимильную аппаратуру, в день обследования передавались карты, на которых крупным планом показывалось состояние загрязнения в Куршском заливе на бланке в масштабе 1:500000 вдоль восточного побережья моря. Следует отметить, что такая система дублирующей информации полностью себя оправдала. Она позволила сохранить оперативность передачи и полноту информации, что в сложившейся ситуации было чрезвычайно важно.

Авиаобследование места загрязнения проводилось, как правило, двумя способами. Вначале полет проходил по маршрутам, позволяющим уточнить распространение мазута в море и получить картину фонового загрязнения моря в районе аварии. Эти маршруты представлены на схеме маршрутов полета (рис. 3.1). Затем проводилось детальное обследование пятен и полос, при этом уточнялись их размеры, удаленность от побережья, интенсивность (плотность) мазута в них, условия и скорость распространения мазута, скорость дрейфа пятен и полос, выброс мазута на побережье и т.д. По такому плану авиаобследования проводились до 6 декабря с некоторыми перерывами, вызванными организационными трудностями и условиями погоды, которые в это время были чрезвычайно неблагоприятными для проведения авиаобследований.

7 декабря, когда все количество дрейфующих пятен и полос мазута и нефтепродуктов большой интенсивности было в основном волнением и ветром выброшено на берег, а пятна мазута, сохраняющиеся в Морском канале и порту Клайпеды, были изолированы боновыми заграждениями, Правительственная комиссия приняла решение прекратить регулярные авроризуальные обследования района аварии.

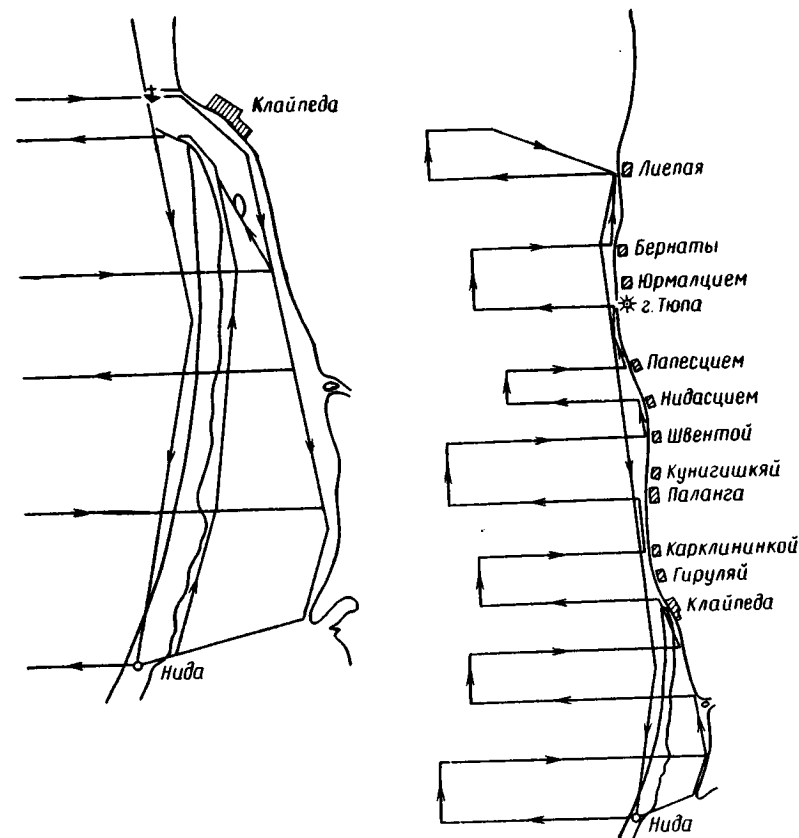


Рис. 3.1. Схема маршрутов полета самолета в юго-восточной части Балтийского моря

#### Результаты наблюдений за дрейфом и растеканием мазута

25 ноября, к моменту начала регулярных авиаобследований, топливный мазут в виде дрейфующих и выброшенных на берег пятен и полос распространился к северу до района, находящегося в 1 км южнее п. Швентой. Наиболее плотный слой мазута черного цвета был зафиксирован в гаванях и у причалов порта Клайпеда. Ширина полосы мазута у причалов достигла 10 м, местами она увеличивалась до 40 м. Южнее

вдоль северо-восточного побережья Куршского залива до п. Древерна ширина полосы нефтепродуктов интенсивностью 3...5 баллов составляла 150...200 м. Максимальная загрязненность пленкой нефтепродуктов (4,0...4,5 балла) наблюдалась в Клайпедском проливе. На остальной акватории Куршского залива, севернее п. Древерна, загрязненность изменялась от 1,9 до 2,7 балла. На участке побережья от г. Клайпеда до п. Швентой наблюдались зоны полос и пятен мазута, выброшенного на берег, шириной 5...15 м. На отлогих участках берега мазутом была залита прибрежная растительность и отдельные строения. Под напором ветра растекшийся мазут проник в устья рек, впадающих в море, и распространился вверх по течению до 100 м. Вдоль берега на участке от п. Карклининкай до п. Швентой была зафиксирована дрейфующая полоса мазута шириной 20...40 м, местами она достигала 80 м. Севернее до п. Папесциемс на мелководье наблюдались отдельные малые пятна нефтепродуктов интенсивностью 3...4 балла. На остальной прибрежной акватории интенсивность пленки нефтепродуктов не превышала 2 балла. Источник загрязнения продолжал функционировать. От него распространялась полоса нефтепродуктов шириной 50, длиной 200 м, интенсивностью 4...5 баллов (отс. 3.2).

26 ноября произошла смена ветра по направлению. Скорость его уменьшилась. В этих погодных условиях произошло растекание нефтепродуктов по площади. Несколько уменьшилась густота пятен нефтепродуктов за счет испарения, растворения, осаждения нефтепродуктов на дно и выброса на берег. Уменьшилась и величина общей загрязненности моря. Особенно наглядно уменьшение общей загрязненности моря можно установить, обратившись к загрязнению побережья, где вследствие ослабления ветрового волнения часть дрейфующего мазута уже не смывалась волнением, а осела на прибрежной пляжной зоне. Больше всего этому был подвержен участок побережья от п. Карклининкай до п. Швентой. Здесь ширина полосы мазута, оставшегося на берегу, увеличилась до 20...30 м, а на пляжах в районе г. Паланга достигала 40...50 м.

Под воздействием северо-западного ветра сплошную дрейфующую полосу мазута, зафиксированную во время съемки 25 ноября, разорвало на отдельные пятна и полосы. Ширина этих полос и пятен была в пределах 15...20 м. В районе г. Паланга ширина полосы дрейфующего мазута сохранялась в пределах 50 м. Здесь же на удалении 1,5 км от берега были зафиксированы пятна нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов. Источник загрязнения продолжал функционировать, но дебит его в загрязнении окружающей среды заметно уменьшился. На западном побережье Куршской косы было зарегистрировано большое количество древесины, которая располагалась в пляжной зоне в виде навалов бревен.

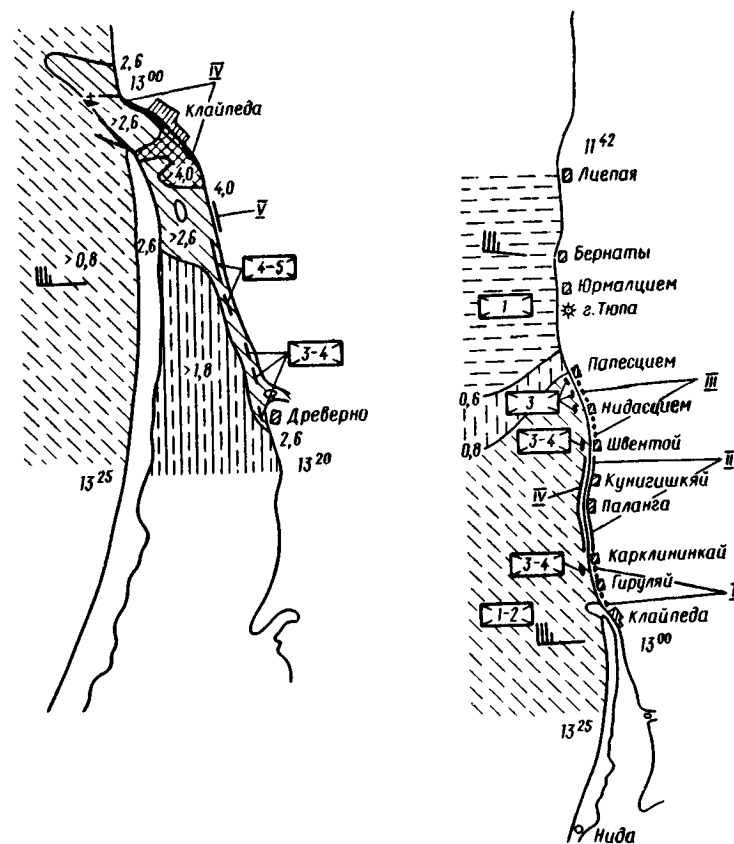


Рис. 3.2. Загрязненность юго-восточной части Балтийского моря по результатам авиационных исследований аварийного загрязнения с танкера "Глобе Асиями", выполненного 25 ноября 1981 г.

27 ноября ветер западного направления, препятствующий дрейфу мазута в открытое море, сохранялся до 12 ч. Затем с 13 ч он изменил направление на южное, в последующем перешел на юго-восточное. Направление ветра 130...150° сохранялось до 13 ч 28 ноября. Скорость юго-восточного ветра изменялась от 5 до 7 м/с. Чтобы правильно построить схему очередного облета, нами был произведен предварительный расчет скорости дрейфа пятен и полос. При этом нами было принято во внимание, что по данным, полученным английскими исследовате-



лями под руководством Берриджа, при скорости ветра свыше 3 узлов компактные участки нефти движутся быстрее, чем растекаются. Основываясь на этом выводе, мы распространили расчет дрейфа наветренного участка полосы нефтепродуктов на всю полосу. Приняв ветровой коэффициент дрейфа пятна нефтепродуктов равным 0,02, в отличие от значенных коэффициентов, полученных зарубежными исследователями 0,025... 0,042, мы произвели такой расчет и получили, что пятно, располагавшееся 26 ноября в районе п.Швентой - г.Паланга, должно было к 13 ч 28 ноября сместиться на 10 км к северо-северо-западу.

Последующие авиасъемки подтвердили большую надежность в точности выполненных расчетов. Выбор столь низкого значения коэффициента ветрового дрейфа пятна нефтепродуктов был обусловлен несколькими причинами. Во-первых, дрейфующая полоса находилась в прибрежной зоне и непосредственно соприкасалась с осевшим на берегу мазутом, поэтому отрыв дрейфующей полосы произошел не сразу после смены ветра на юго-восточное направление. Во-вторых, в начальной стадии действия отжимного ветра дрейфующая полоса находилась некоторое время под воздействием сохраняющей предыдущее направление прибойной волны. В-третьих, расположение полосы мазута вдоль береговой черты указывало на то, что ветер в данном случае не оказывал такого влияния на распространение полосы, как в открытых районах моря. Как и рассчитывалось, полоса нефтепродуктов очень большой интенсивности с включением малых пятен мазута черного цвета длиной 10 км, шириной 200...400 м находилась на удалении 2...3 км от участка побережья п.Папесциемс - п.Швентой. Разность между расчетным расстоянием и реально наблюдавшимся дрейфом пятна не превысила 200 м.

Дрейф второго пятна нефтепродуктов интенсивностью 5 баллов с включениями мазута черного цвета, которое было прослежено в 0,5 км западнее п.Юрмалциемс, перед вылетом предвычислить не представилось возможным, так как на дрейф данного пятна основное влияние оказывало прибрежное течение, образованное стоком из реки Свента и из протоки, соединяющей оз.Папес с морем. Скорость течения была неизвестна. Проведенные после обследования расчеты при известных значениях пути перемещения пятна - 31,5 км, промежутка времени - 12 ч, ветрового коэффициента дрейфа пятна - 0,02 и скорости ветра в районе дрейфа пятна - 5...7 м/с показали, что скорость прибрежного стокового течения оказалась равной 24,5 см/с.

28 ноября после смены направления ветра сменилось и направление дрейфа. К 15 ч указанные полосы и пятно нефтепродуктов дрейфовали в восточно-северо-восточном направлении на незагрязненные участки побережья, что было оперативно передано с борта самолета в адреса заинтересованных организаций.

Вследствие изменявшегося по направлению ветра и уменьшения воздействия прибойной волны на пляж на участке побережья от п.Кунигишкляй до п.Швентой у уреза воды образовалась вторая полоса мазута шириной до 10...15 м. Под воздействием юго-восточного ветра, действовавшего в предшествующий обследованию период, продолжался вынос пятен нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов из Клайпедского пролива в открытое море.

При обследовании, проводившемся 29 ноября, зафиксированные в предшествующие дни дрейфующие полоса и пятно нефтепродуктов оказалась частично выброшенными на пляжи побережья от п.Надасциемс до п.Папесциемс и побережье, прилегающее к п.Юрмалциемс. Оставшаяся в море часть нефтепродуктов была прижата ветром к вышеуказанным участкам побережий. За счет постепенного растекания и распространения пленки нефтепродуктов средней интенсивности в северном направлении вдоль берега впервые местами были зафиксированы выброшенные незначительные пятна нефтепродуктов (диаметром менее 2 м) синевато-стального цвета на пляжах побережья от п.Бернаты до основания южной дамбы г.Лиепая.

Под воздействием ветра юго-восточного направления, начавшего действовать с 0 ч 29 ноября, из Клайпедского пролива был возобновлен вынос пятен нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов с включением малых пятен мазута. Так как обследование в этот день было прервано по техническим причинам и в связи с ограниченной видимостью, северная и западная границы обследования в прибрежном районе повысились фоновая загрязненность (рис.3.3).

С 30 ноября по 2 декабря ветер изменялся от юго-восточного до северо-восточного, но более устойчивый по направлению и скорости был юго-восточный, который способствовал распространению пятен и полосы нефтепродуктов интенсивностью 5 баллов с включением малых пятен мазута до широты г. Лиепая.

2 декабря сплошная полоса нефтепродуктов очень большой интенсивности длиной около 32 км была зафиксирована на расстоянии 4...14 км западнее побережья между широтами, проходящими через п.Кунигишкляй и п.Папесциемс. Западнее горы Тула в 22 км наблюдались два пятна нефтепродуктов. Последнее пятно было прослежено западнее г. Лиепая в 30 км.

Вдоль причалов и в гаванях порта Клайпеды сохранились узкие полосы и пятна мазута. В Клайпедском проливе сохранились пятна нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов, из пролива продолжала распространяться зона пятен нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов. На остальной прибрежной акватории и на обследуемом участ-

ке побережья существенных изменений не произошло. Свежевывавший снег частично покрыл полосы мазута, ранее выброшенные на берег.

3 декабря под воздействием западного ветра полоса и пятна нефтепродуктов, дрейфуя на восток, начали постепенно растекаться и разрываться на отдельные полосы. Ширина полосы с пятнами нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов с незначительными включениями пятен мазута корячечного цвета прослеживалась вдоль побережья на участке п. Кунягшкяй - п. Папесциемс местами до 6 км. Соответственно густота пятен нефтепродуктов в полосе уменьшилась до 8...9 баллов. Западнее п. Юрмалциемс в 18...21 км была прослежена зона пятен нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов, густотой 7...8 баллов, образо-

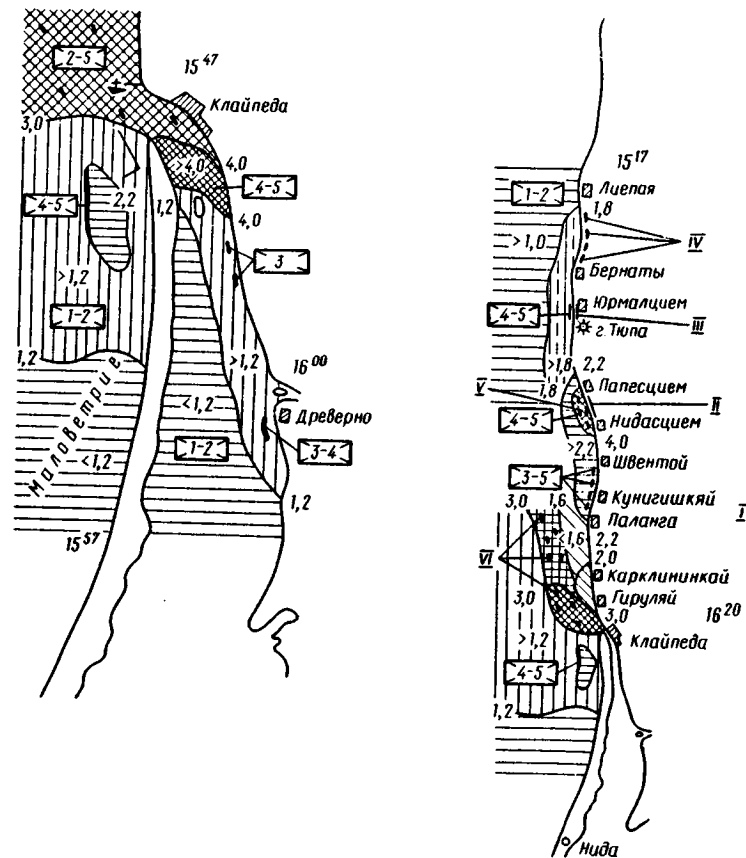


Рис. 3.3. Загрязненность юго-восточной части Балтийского моря по результатам авиабследований аварийного загрязнения с танкера "Глобе Асима", выполненного 29 ноября 1981 г.

вавшаяся из двух сплошных пятен нефтепродуктов очень большой интенсивности, наблюдавшихся в предшествующие дни. Диаметр этой зоны составлял около 3 км. Так как севернее широты г. Лиепая в предшествующий период и в момент обследования западно-юго-западный ветер усилился до 15...17 м/с, то пятно нефтепродуктов, прослеженное в предыдущий день, оказалось разорванным на отдельные узкие полосы интенсивностью 4...5 баллов. Размеры полос составляли в длину 150...200 м, в ширину 40...60 м, и находились они в 24 км северо-западнее г. Лиепая. Шлейф нефтепродуктов с включением малых пятен мазута, распространявшийся из Клайпедского пролива, прибывало и выбрасывало на двухкилометровый участок северо-западного побережья Куршской косы и на участок берега от г. Клайпеда до п. Гируляй. Ширина загрязненного участка пляжа Куршской косы не превышала 2 м (рис. 3.4).

В порту Клайпеда местами сохранялись пятна и полосы мазута. В Куршском заливе и на остальной обследованной акватории моря распределение пленки нефтепродуктов наглядно представлено на схеме (см. рис. 3.4).

С 3 по 5 декабря под воздействием западных и северо-западных ветров (скорость их изменялась от 5 до 17 м/с) полосы и пятна нефтепродуктов, дрейфуя к берегу, постепенно разрывались и растекались, сливаясь с окружающей фоновой загрязненностью и незначительно повысив последнюю. 5 декабря свежие выбросы мазута на пляжи были прослежены на побережье от оз. Папес до г. Паланга и от п. Гируляй до г. Клайпеда. С севера к молу п. Швентой и пирсу г. Паланга были прибиты дрейфующие пятна нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов с включением мазута. На участке побережья г. Паланга - вышеперечисленные пятна и полосы являлись остатками 30-километровой дрейфующей полосы. Пятна нефтепродуктов большой интенсивности течением продолжало выносить из Клайпедского пролива и северо-западным ветром прибывало к северо-западному побережью Куршской косы. Полосу мазута, отмеченную на пляже косы 3 декабря, размыло прибойной волной.

6 декабря вследствие уменьшения скорости северо-западного ветра, а следовательно, уменьшения тормозящего влияния ветра на вынос вод из Клайпедского пролива, увеличилась зона пятен нефтепродуктов большой интенсивности, распространявшаяся из пролива в открытое море. Пятна нефтепродуктов выносило в море не далее 10 км от береговой черты. В дальнейшем под воздействием северо-западного ветра, при ослабевающем действии выносного течения их прибывало к северо-западному побережью Куршской косы. С севера к молу п. Швентой и пирсу г. Паланга были прибиты растекавшиеся пятна

нефтепродуктов интенсивностью 4 балла. На пляжи побережья от п.Швен-  
той до г. Паланга местами выбрасывало пленку нефтепродуктов интен-  
сивностью 4 балла. В устье р.Свента были зафиксированы два пятна

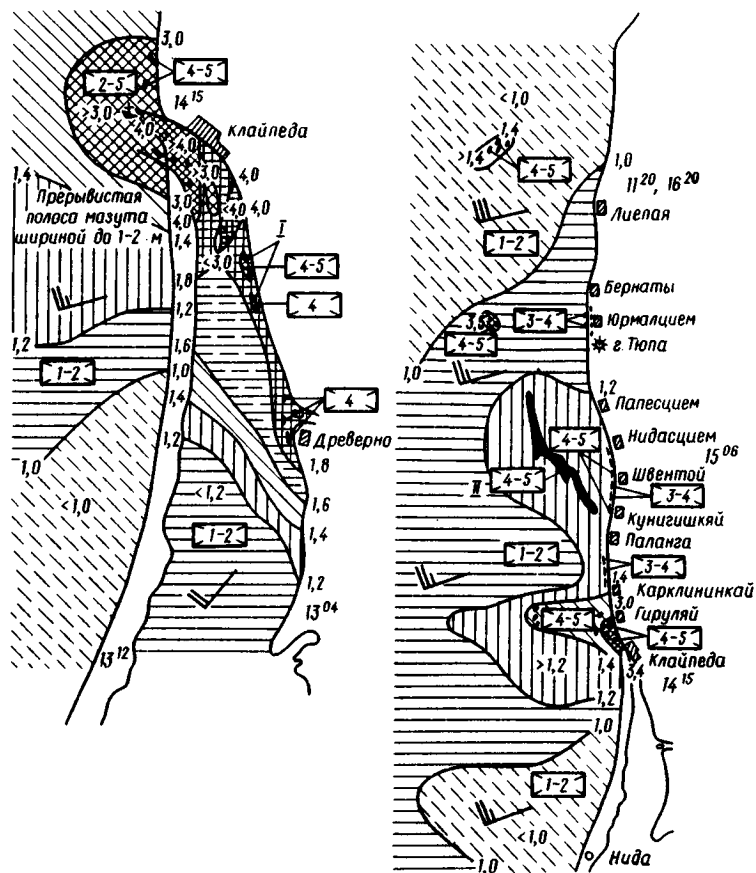


Рис. 3.4. Загрязненность вго-восточной части Балтийского моря по результатам авиаобследования аварийного загрязнения с танкера "Глобе Асима", выполненного 3 декабря 1981 г.

мазута размерами 20 на 50 и 5 на 20 м. На побережье в местах веде-  
ния очистных работ количество мазута уменьшалось. Особенно это бы-  
ло заметно на участке г. Клайпеда - п. Гируляй и на пляже, прилега-  
ющем к п. Палесцием. На побережье в районе п. Юрмалцием мазут  
был убран полностью. На остальных участках загрязненного берега ра-

боты по уборке мазута велись менее интенсивно, поэтому на период  
съемки эти участки оставались в сильно загрязненном состоянии.

7 декабря с одобрения Правительственной комиссии по борьбе с  
аварийным загрязнением регулярное авиаобследование района аварии бы-  
ло прекращено. Попутное авиаобследование загрязнения нефтепродукта-  
ми вго-восточной части Балтийского моря было проведено 28 декабря  
при выполнении ледотермической авиасъемки моря. В гаванях порта  
г. Клайпеда наблюдался плавучий мелкобитый светлый налс, тертый  
лед сплоченностью 6...8 баллов. Загрязненность льда нефтепродуктами  
была 3 балла. В районе аванпорта г. Клайпеда фоновая загрязненность  
не превышала обычной для данного района.

Из затонувшего судна вытекала и дрейфовала с курсом 340° поло-  
са нефтепродуктов интенсивностью 4...5 баллов с включением малых  
пятен мазута бурого цвета. Ширина полосы вблизи источника изменя-  
лась от 200 до 300 м, к северу она постепенно уменьшалась до 50...  
20 м. Протяженность полосы была около 9 км.

Участок пляжа от г. Паланга до г. Клайпеда был заснежен, что  
затрудняло наблюдения над осевшим на берегу мазутом. На этом же  
участке велись очистные работы, наиболее интенсивные в районе п. Ги-  
руляй. В прибойной зоне на участке от г. Паланга до п. Гируляй мес-  
тами водоросли и песок на мелководье были покрыты мазутом. На ос-  
тальной прибрежной акватории наблюдалась обычная фоновая загрязнен-  
ность.

В заключение необходимо отметить эффективность проводимых за-  
щитных мероприятий. Во-первых, боновые заграждения, установленные  
в порту г. Клайпеда и в Клайпедском проливе, препятствовали распро-  
странению монолитного слоя мазута в открытое море. Во-вторых, боно-  
вые заграждения, установленные в устье протоки, соединяющей оз. Па-  
лес с морем, играли ту же роль в предотвращении проникновения пленки  
нефтепродуктов на акваторию озера. В-третьих, защитный вал, со-  
оруженный на пляже, прилегающем к черте г. Лиелая, препятствовал  
выбросу пленки нефтепродуктов синевато-стального цвета на участок  
пляжа, расположенный восточнее вала.

В 1982 г., начиная с марта, при выполнении плановых ледотерми-  
ческих авиасъемок и съемок загрязненности Балтийского моря два ра-  
за в месяц проводились визуальные авианаблюдения над загрязнен-  
ностью поверхности вод. Результаты наблюдений показали, что загряз-  
ненность к августу 1982 г. не превышала фоновой, обычной для  
указанного района.

### 3.2. Количественная оценка концентрации нефтепродуктов на поверхности и глубинных горизонтах в зоне разлива 1-3 декабря 1981 г.

Район работ количественной оценки концентрации нефтепродуктов охватывал акваторию порта Клайпеда, Куршский залив и прибрежную зону Балтийского моря, примыкающую к территории Литовской ССР.

Отбор проб производился как с берега в зоне прибоя в различных точках (группа перемещалась на автомашине), так и в открытой части Балтийского моря с судна морской инспекции "Балтрыбвод" СРТР-0014. Всего было отобрано в открытой части 112 проб и в Куршском заливе 6 проб. Общая схема разрезов, разработанная с учетом данных авианаблюдений, представлена на рис.3.5.

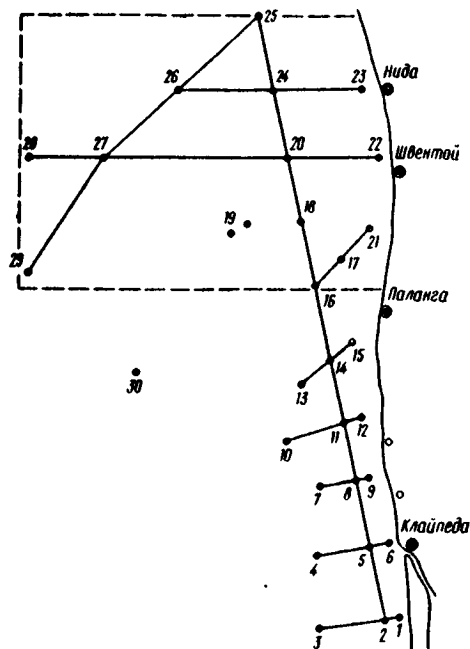


Рис.3.5. Схема расположения пунктов отбора проб в прибрежной зоне

#### 3.2.1. Методика исследований

При исследовании аварийного разлива нефтепродуктов в Клайпедском порту был уточнен опыт работ по исследованию подобного случая, происшедшего в районе порта Вентспилс в 1979 г. Тогда, помимо нефтяной пленки, было обнаружено значительное внутримассовое загрязнение в виде растворенной и эмульгированной нефти до глубины 10 м. Используя данные авианаблюдений над нефтяным пятном, с момента аварийного разлива был выделен район прохождения пятен нефтепродуктов (мазута) и намечена сеть станций из 30 пунктов, на которых отбирались пробы специальным пробоотборником на пяти горизонтах: 0,5;

2; 5; 10 и 15 м. Пробоотборник, представлявший собой специальную стеклянную однолтровую бутылку, опускался на заданный горизонт наблюдений в закрытом состоянии и открывался по сигналу с борта судна. Кроме того, при отборе проб воды соблюдались определенные меры предосторожности, чтобы исключить влияние поверхностной пленки нефти. Для этого отбор проб производился в "окнах" чистой воды, свободной от сплошной нефтяной пленки. Последняя отбиралась специальным сеточным пробоотборником, смоченным перед отбором в растворителе ( $CCl_4$ ). Сложность исследования аварийного разлива нефтепродуктов была обусловлена также и тем, что нефтяная пленка не представляла собой сплошного покрова, а была разбита под действием ветра в волн на целый ряд отдельных пятен, которые мигрировали каждый по своим траекториям. Большая часть проб воды была подготовлена для анализа непосредственно в экспедиционных условиях путем экстракции с четыреххлористым углеродом ( $CCl_4$ ), а оставшаяся часть была доставлена на берег и обрабатывалась в гидрохимической лаборатории Клайпедской ГМО. Обработка и анализ экстрагированных проб воды на нефтепродукты велись стандартным ИК-методом в соответствии с /47/. Растворитель и химическая посуда, используемые при работе, предварительно проверялись спектрофотометрически на чистоту. Для исключения влияния естественного фона загрязненными углеводородами при работе на спектрофотометре в канале сравнения использовалась фоновая проба № 2 станция I, находящейся вне зоны аварийного разлива. Расчет концентраций углеводородов производился по калибровке Клайпедской ГМО.

#### 3.2.2. Анализ полученных результатов

В результате проведенных исследований в районе, подвергшемся воздействию нефтяного загрязнения вследствие аварии танкера "Глобе Асими", были получены значения концентрации нефтепродуктов на отдельных станциях. Эти данные приведены в табл. 3.1 и 3.2.

Для удобства проведения дальнейших расчетов напомним некоторые цифры из предыдущего раздела. Они будут необходимы при расчете количества нефтепродуктов в открытой части моря. Наибольшее по площади пятно нефтепродуктов располагалось в прибрежной зоне от широты г. Клайпеда до траверза Кунигишяй. Протяженность загрязненной поверхности моря от береговой черты в сторону открытого моря составляла в среднем около 8 км, а вдоль берега — около 22 км. Площадь загрязненной поверхности составляла 152 км<sup>2</sup>. На рис.3.5 представлен фрагмент рис.3.4, на котором нанесены дополнительные данные по концентрации нефтепродуктов на поверхности, а стрелками указано направление перемещения пятен под воздействием ветрового поля.

Таблица 3.1

Концентрация нефтепродуктов (мг/л) в зоне аварийного разлива в прибрежной части Балтийского моря

Координаты		Дата	Горизонт, м	С <sub>мг</sub>	ПДК
широта	долгота				
1	2	3	4	5	6
55°40' 0"	21°05' 0"	I XII	0	<0,05	1,0
			2	<0,05	
			10	0,05	
55°40' 0"	21°03' 5"	I XII	0	<0,05	25,4
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	1,270	
			15	0,856	
55°39' 5"	20°58' 0"	I XII	0	<0,05	17,2
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°43' 3"	20°59' 0"	I XII	0	<0,05	2,2
			2	0,110	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°43' 5"	21°02' 5"	I XII	0	<0,05	
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°44' 0"	21°04' 0"	I XII	0	0,074	1,5
			5	<0,05	
			10	<0,05	
55°46' 5"	20°58' 3"	I XII	0	<0,05	
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	

Продолжение табл.3.1

1	2	3	4	5	6
55°46' 8"	21°00' 5"	2 XII	0	<0,05	
55°46' 8"	21°02' 0"	2 XII	0	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
55°48' 6"	20°55' 2"	2 XII	0	0,164	3,3
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°49' 6"	21°00' 0"	2 XII	0	<0,05	
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°50' 0"	21°01' 7"	2 XII	0	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
55°51' 6"	20°56' 6"	2 XII	0	<0,05	
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°52' 6"	20°59' 0"	2 XII	0	<0,05	
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	
55°53' 5"	21°00' 8"	2 XII	0	<0,05	
			5	<0,05	
			10	1,772	
55°56' 2"	20°57' 2"	2 XII	0	<0,05	35,4
			2	<0,05	
			5	<0,05	
			10	<0,05	
			15	<0,05	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
55°57' 2"	21°00' 0"	2 XII	0	< 0,05	
			2	< 0,05	
			5	< 0,05	
			10	< 0,05	
			15	< 0,05	
55°58' 6"	20°57' 0"	2 XII	0	< 0,05	
			2	< 0,05	
			5	< 0,05	
			10	< 0,05	
			15	< 0,05	
55°59' 2"	20°52' 0"	2 XII	0	< 0,05	
			2	< 0,05	
			5	< 0,05	
			10	< 0,05	
			15	< 0,05	
56°03' 0"	20°59' 0"	2 XII	0	< 0,05	
			2	0,069	1,4
			5	< 0,05	
			10	< 0,05	
			15	< 0,05	
55°59' 0"	21°02' 2"	3 XII	0	0,187	3,7
			5	0,435	8,7
56°02' 7"	21°03' 0"	3 XII			
56°05' 9"	21°01' 3"	3 XII			
56°05' 8"	20°53' 5"	3 XII	0	1,405	28,1
			2	< 0,05	
			10	2,314	46,3
			15	< 0,05	
			0	< 0,05	
56°09' 5"	20°52' 5"	3 XII	2	2,565	51,3
			5	< 0,05	
			10	< 0,05	
			15	0,058	1,2
			0	1,622	32,4
56°05' 8"	20°46' 0"	3 XII	2	0,085	1,7

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
			5	0,074	1,4
			10	0,054	1,1
			15	0,058	1,2
56°02' 0"	20°39' 5"	3 XII	0	0,647	12,9
			5	0,275	5,5
			10	1,850	37,0
56°02' 1"	20°24' 1"	3 XII	15	1,640	32,9
			0	2,490	49,8
			5	0,766	15,3
			15	< 0,05	
55°56' 2"	20°23' 3"	3 XII	0	0,601	12,1
			5	1,979	39,6
55°51' 7"	20°40' 7"	3 XII			

Как следует из этого рисунка, 3 декабря 1981 г. зона загрязнения под воздействием сильных западных и юго-западных ветров и ветрового волнения была разбита на отдельные пятна протяженностью около 10 км в ширину 1...3 км. Площадь отдельных пятен составляла: северное - 24, центральное - 19 и южное - 13,6 км<sup>2</sup> соответственно.

В последующие дни (4 и 5 декабря 1981 г.) обследование зоны загрязнения показало, что интенсивное загрязнение морской поверхности отмечалось лишь в узкой вдольбереговой полосе, протянувшейся на 65 км. Ширина этой полосы изменялась от 0,1 до 0,6 км, за исключением локальных участков, где она достигала 1 км. В открытой части моря поверхностного загрязнения морской воды обнаружено не было. Таким образом, трансформация зоны загрязнения нефтепродуктами за рассматриваемый период, прошедший со времени аварии танкера "Глобе Асния", можно представить следующим образом. После одновременного разлива нефтепродуктов, который можно сравнить с мгновенным точечным источником загрязнения, пятно нефтепродуктов под действием сильных западных и юго-западных ветров (10...15 м/с) дрейфовало вдоль литовского побережья со средней скоростью 4...5, а пленка - 7...10 км/сут. В сторону открытого моря перенос составлял около 0,5...1,3 км/сут (табл. 3.3). Определяющим фактором в направлении движения зоны загрязнения нефтепродуктами и, в конечном итоге, в выбро-

Таблица 3.2  
Концентрация нефтепродуктов (мг/л) в зоне аварийного разлива в Куршском заливе 30 ноября 1981 г.

Горизонт, м	$C_{ny}$	ЦДК	Горизонт, м	C	ЦДК
0	0,145	2,9	6	0,340	6,8
10	0,228	4,6	0	0,146	2,9
0	0,105	2,1	5,5	0,362	7,2

Таблица 3.3  
Оценка скорости распространения зоны загрязнения

Район	Период времени, сут	Удаление от береговой черты, км	Протяженность зоны загрязнения, км	Скорость распространения, км/сут	
				в открытое море	вдоль берега
Клайпеда - Кунягшная	6	8	22	1,3	3,7
Вдоль Куршской косы	6	1...2	28	0,2...0,3	4,7

се его на литовское побережье на участке от Клайпеды до Перколе протяженностью 65 км, естественно, является ветровой дрейф. Но здесь следует отметить одну важную особенность. На рис. 3.6 схематично жирными стрелками показано направление перемещения пятна нефтепродуктов с момента аварии до момента, когда визуальными авианаблюдениями пятна уже не обнаруживались. Направление движения пятна не совсем совпадало с действующим ветром, что связано с преобладающей системой циркуляции вод в данном районе (рис. 3.7) и наличием противоположно направленных потоков /76/.

Возвращаясь к анализу количественных характеристик загрязнения нефтепродуктами, следует сказать, что в результате аварийного разлива на поверхности моря оказались, по-видимому, только легкие фракции нефтепродуктов в результате физического разделения, в то время как в толще вод сконцентрировалась основная его масса. Об этом говорят многочисленные опыты по исследованию диффузии пятен

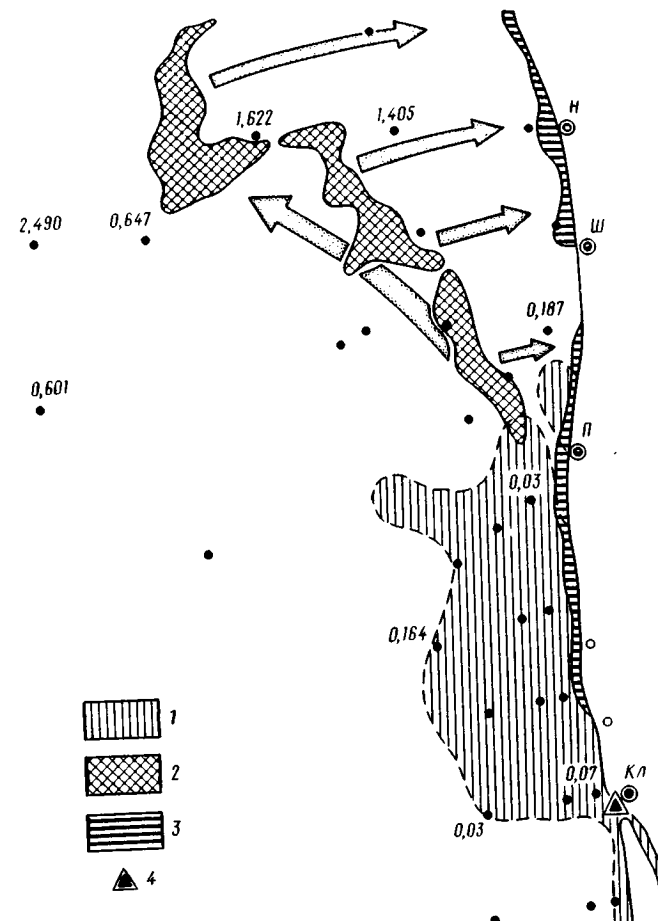


Рис. 3.6. Трансформация пятна нефтепродуктов по данным авианаблюдения в концентрации (мг/л) в поверхностном слое по данным судовых наблюдений: 1 - 27 ноября 1981 г., 2 - 3 декабря 1981 г., 3 - 4 декабря 1981 г., 4 - место аварии

красителя в море, а также результаты обследования последствий катастроф с супертанкерами /54/, поэтому результаты авианаблюдений поверхностного загрязнения не могут дать полную характеристику зоны загрязнения, а позволяют только качественно оценить масштабы катастрофы.

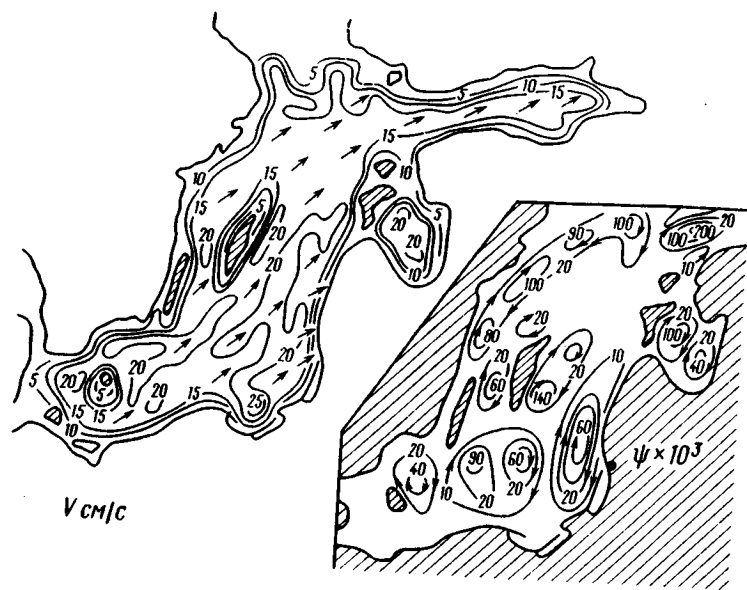


Рис. 3.7. Схема распределения скоростей течений (см/с) и полных потоков (м<sup>3</sup>/с) в верхнем квазиоднородном слое при юго-западных ветрах 10...15 м/с

В результате проведенных экспериментальных работ в открытом море (рис. 3.6) было обнаружено значительное внутримассовое загрязнение, достигающее значений 10...50 ПДК. Причем следует отметить, что этот вид загрязнения достигал глубины 10...15 м. Максимальное внутримассовое загрязнение отмечалось в районе станций 2, 15, 24, 27, 28, 29 (табл. 3.4). Сравнивая данные авианаблюдений с количественными определениями концентрации нефтепродуктов (рис. 3.5 и 3.7), можно заметить их соответствие между собой. Привлекая к этому представления о характере движения вод в этом районе (рис. 3.6), можно прийти к выводу, что внутримассовое загрязнение переносилось течением практически поперек ветрового дрейфа пленки и имело пятнистую структуру. По мнению некоторых исследователей /135/, растекание нефтепродуктов по поверхности играет меньшую роль в загрязнении берега, чем их механический перенос под совместным действием ветра, течений и других факторов. Кроме того, согласно многочисленным экспериментальным данным, нефтепродукты наиболее эффективно погружаются в пресной воде, в то же время соленая вода, изменяя ионный состав взвешенных частиц, вызывает их коагуляцию и осажде-

ние с более высокой скоростью, чем в пресной воде. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что авария с танкером "Глобе Асами" произошла в осенне-зимний период, когда в Балтийском море в прибрежной зоне отмечается холодная однородная водная масса. А в истории таких аварий отмечаются случаи, когда нефтепродукты вновь всплывали с наступлением теплого сезона /135/.

Таблица 3.4

Максимальные концентрации нефтепродуктов, мг/л

Горизонт, м	Станция					
	2	15	24	27	28	29
0	0,05	0,05	1,405	0,647	2,490	0,601
2	0,05	-	0,05	-	-	-
5	0,05	0,05	-	0,275	0,766	1,979
10	1,270	1,772	2,314	1,850	-	-
15	0,856	-	0,05	1,640	0,05	-

Согласно официальным данным /6,27/, из 16493 т мазута, разлившегося в результате аварии танкера "Глобе Асами", с акватории Клайпедского порта и прилегающих районов к 5 декабря 1981 г. собрано свыше 8 тыс. т мазута. Остальная часть нефтепродуктов оказалась в море и частично была выброшена на берег волнением и течениями. Для оценки возможного вторичного загрязнения акватории Балтийского моря, подвергшейся влиянию разлива, необходимо оценить объем внутримассового загрязнения вод, чтобы иметь представление о количестве нефтепродуктов, оказавшихся в грунтах и просочившихся в песок пляжной зоны.

Если из всей исследуемой акватории, подверженной загрязнению, выделить полигон 20x40 км (рис. 3.5), где было обнаружено значительное внутримассовое загрязнение (по состоянию на 3 декабря 1981 г.), и принять в среднем слой загрязнения равным 10 м (минимальный слой 5 м, максимальный - более 15 м), а концентрацию нефтепродуктов в среднем принять равной 10...15 ПДК, то получим следующие данные (табл. 3.5, рис. 3.6) по внутримассовому загрязнению. Концентрации нефтепродуктов значительно выше 1 ПДК были обнаружены в глубинных слоях не только к северу, но и к югу от Клайпеды (ст.2). Если принять во внимание, что концентрация порядка нескольких ПДК наблюдалась и в районах, не охваченных зоной исследований, получаем, что 4000 т является нижней оценкой количества нефтепродук-



Таблица 3.5

## Оценка внутримассового загрязнения нефтепродуктами

Концентрация, ЦДК	Площадь, м <sup>2</sup>	Минимальный слой, м	Максимальный слой, м	Средний слой, м	Объем минимальный, м <sup>3</sup>	Объем максимальный, м <sup>3</sup>	Объем средний, м <sup>3</sup>	Количество во нефти минимальное, т	Количество нефти максимальное, т	Количество нефти среднее, т
1 ( $5 \cdot 10^{-8}$ т/м <sup>3</sup> )	$8 \cdot 10^8$	5	15	10	$4 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	200	600	400
5	$8 \cdot 10^8$	5	15	10	$4 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	1000	3000	2000
10	$8 \cdot 10^8$	5	15	10	$4 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	2000	6000	4000
15	$8 \cdot 10^8$	5	15	10	$4 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	3000	9000	6000

тов, эмульгированных и растворенных в водной толще до глубин 15 м. Таким образом, из 16 493 т нефтепродуктов, разлитых в районе Клайпеды, удалось собрать 8334 т, остальная часть оказалась в море и частично была выброшена на берег, где соединялась с песком в вязкую массу. Оценить количество мазута, выброшенного на берег, не представляется возможным, но следует ожидать, что не все количество

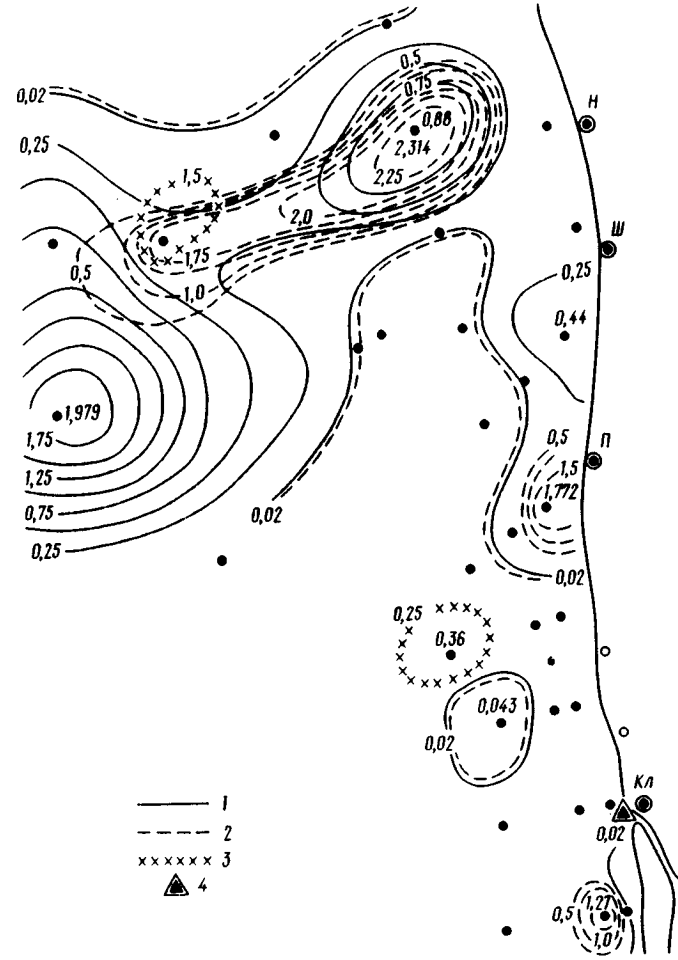


Рис. 3.8. Схема распределения внутримассового загрязнения:  
1, 2, 3 - горизонт 5, 10, 15 м соответственно; 4 - место аварии

мазута, находившегося в воде внутримассового загрязнения, попало на береговые пляжи. Можно ожидать, что часть нефтепродуктов вследствие мелководности района (глубины порядка 10...25 м) достигла дна и соединилась с донными осадками, поэтому следует ожидать в дальнейшем вторичного загрязнения, вызванного выносом к берегу этих дискретных масс нефтепродуктов.

### 3.3. Оперативное прогнозирование распространения мазута

При планировании работ по борьбе с аварийными нефтяными разливами в море и при проведении таких работ возникает необходимость в прогнозировании распространения нефти в море. В этой связи перед авторами стояла задача отобрать из литературы надежно установленную информацию о распространении нефти в море и на этой основе разработать методику составления прогноза размеров и положения нефтяного пятна в море, в том числе и в прибрежной зоне, где такой прогноз наиболее актуален. Такие прогнозы позволяют, в частности, передавать предупреждения о возможности загрязнения нефтью береговой зоны, о пересечении нефтяным пятном районов интенсивной хозяйственной деятельности, курсов судов и т.д.

Основными факторами, определяющими размеры слика, являются растекание нефти по поверхности под действием сил поверхностного натяжения, гравитации и вязкого трения, а также горизонтальная турбулентная диффузия. Перемещение нефтяного пятна определяется локальным ветровым дрейфом и существующей в районе разлива системой течений.

На основе упрощенного описания основных механизмов перемещения и растекания нефти была разработана методика определения траектории движения центра нефтяного пятна и изменения его размеров, которая и была использована на первом этапе расчетов и прогнозов распространения нефти в результате аварии танкера "Глобе Асими".

Перемещение центра нефтяного пятна  $\vec{\Delta}(x, y)$  в этом случае может быть записано в виде

$$\vec{\Delta}(x, y) = \sum_n \vec{V}_n \Delta t, \quad (1)$$

где  $\sum_n \vec{V}_n \Delta t$  - сумма векторов средней скорости за время  $\Delta t$ ;

$$\sum_n \vec{V}_n = \vec{V}_{др} + \vec{V}_{пр} + \vec{V}_t + \vec{V}_d, \quad (2)$$

$\vec{V}_{др} = \vec{V}_{др,т} + \vec{V}_{др,пл}$  - скорость дрейфового течения плюс скорость "скольжения" поверхностно-активной пленки. Первая рассчитывается в соответствии с "Руководством по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и устьев рек", скорость "скольжения" пленки -

$$\vec{V}_{др,пл} = \kappa \vec{W}, \quad (3)$$

где  $\vec{W}$  - средняя за рассматриваемый период скорость ветра,  $\kappa$  - ветровой коэффициент для пленки, равный в случае нефтяной пленки в среднем  $0,04 / \sqrt{13L}$ .

Далее в (2)  $\vec{V}_{пр}$  - скорость приливного течения, которая определяется по методу Раттри или предвычисляется по известным гармоникам. Методика этих расчетов изложена в /72/. В случае, когда скорость приливного течения не предвычислена заранее, она может быть учтена через двумерную функцию распределения как случайная компонента в виде

$$f(x, y, t) = \frac{1}{4lV\pi Kl} \exp\left(-\frac{x^2}{4Kl}\right) \left[ \Phi\left(\frac{l+2y}{2\sqrt{2Kl}}\right) + \Phi\left(\frac{l-2y}{2\sqrt{2Kl}}\right) \right], \quad (4)$$

где  $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{\alpha^2}{2}} d\alpha$  - интеграл ошибок;  $l$  - большая ось приливного эллипса (совпадает с направлением  $y$ );  $K$  - коэффициент турбулентного переноса, вызванного действием приливных течений,  $K \sim 10^2 \text{ см}^2/\text{с}$ . В случае аварии танкера "Глобе Асими" приливная составляющая перемещения не учитывалась.  $\vec{V}$  - составляющая средней скорости, не зависящая от ветра в данный момент и не приливно-бароградиентная. Примером могут служить стоковые, бароградиентные, термохалинные составляющие скорости. Учесть их в оперативной практике вряд ли возможно, исключая те немногие случаи, когда они либо известны из наблюдений, либо рассчитаны известными методами под конкретную барическую ситуацию. Так, поле стоковых скоростей в приустьевых участках в зависимости от величины стока обычно известно.

Все перечисленные составляющие средней скорости могут изменяться в пространстве (от точки к точке в процессе расчета). Например,  $\vec{V}_{др}$  меняется в прибрежной области глубокого моря в зависимости от скорости ветра и от расстояния от берега, а в прибрежной зоне мелкого моря - в зависимости от глубины места и от скорости ветра.  $\vec{V}_{пр}$  меняется в зависимости от расстояния от берега, как это и учитывается методом Раттри.  $\vec{V}$  имеет, как правило, сложное распределение в пространстве. Однако точность нашего знания поля средней скорости течения едва ли выше 10 см/с, поэтому нет смысла рассматривать задачи оптимальной пространственной дискретности. Если уловиться считать  $\Delta t = 3 \text{ ч}$ , то определение суммарного дрейфа пятна под действием средней скорости течения за время  $\Delta t$  определяется по условиям в точке, где находился центр пятна в предыдущий момент. Через 3 ч ведется перерасчет средних значений компонентов средней скорости на три последующих часа по условиям в

той точке, где находится центр пятна в настоящий момент.

$\bar{V}'$  - случайная составляющая средней скорости. Она может быть учтена двояко. В первом случае она задается в виде двумерной функции распределения скорости течений, определяемой по данным наблюдений. При этом всегда можно считать, что основной вклад в функцию распределения дают энергонесущие участки спектра скорости, первый из которых соответствует масштабам в диапазоне десятков километров, поэтому мы всегда вправе учитывать естественный случайный разброс адвекции. В мелком море эти флуктуация чаще всего подавлены трением о дно. В условиях приливных морей все определяется в основном эффектом приливного потока, поэтому  $\bar{V}'$  в условиях приливного моря учитывается только тогда, когда нет возможности предвычислить  $\bar{V}_{пр}$ . Этот способ определяет вторую возможность учета  $\bar{V}'$ , когда мы пользуемся чисто теоретической схемой учета влияя  $\bar{V}'$ , но не имеем экспериментальной информации для построения самой двумерной функции распределения скорости. С этой целью в условиях глубокого моря, в прибрежной части которого образуются видимые вихри диаметром  $R \approx 20$  км (Черное море) или  $R \approx 15$  км (Балтика), расчет функции  $f(x, y, t)$  ведется по формуле

$$f(x, y, t) = \frac{4}{\pi R^2} \left[ \Phi\left(\frac{2x+R}{2\sqrt{2Kt}}\right) - \Phi\left(\frac{2x-R}{2\sqrt{2Kt}}\right) \right] \left[ \Phi\left(\frac{2y+R}{2\sqrt{2Kt}}\right) - \Phi\left(\frac{2y-R}{2\sqrt{2Kt}}\right) \right]. \quad (5)$$

где  $R$  - диаметр вихря, или основной масштаб энергонесущего пика в спектре скорости.

При расчете растекания нефти по поверхности, определяющего зависимость характерного радиуса slicka от времени, можно выделить три фазы: инерционную, гравитационно-вязкую и фазу поверхностного натяжения. В течение действия разных фаз преобладают разные физические механизмы и зависимость радиуса от времени определяется разными формулами.

Инерционная фаза

$$R = K_1 (\Delta g V t^3)^{1/4}. \quad (6)$$

Гравитационная вязкая фаза

$$R = K_2 (\Delta g V^2 t^3 / \nu^2)^{1/6}. \quad (7)$$

Фаза поверхностного натяжения

$$R = K_3 (\sigma^2 t^3 / \rho^2 \nu)^{1/4}. \quad (8)$$

Здесь  $R$  - радиус slicka;  $t$  - время;  $\Delta = (\rho_\omega - \rho_0) / \rho_\omega$ , где  $\rho_\omega$  - плотность воды,  $\rho_0$  - плотность нефти;

$\sigma = \sigma_\omega - \sigma_0 - \sigma_{\omega\omega}$ , где  $\sigma_\omega$ ,  $\sigma_0$ ,  $\sigma_{\omega\omega}$  - поверхностное натяжение на границах раздела вода-воздух, воздух-нефть, вода-нефть соответственно;  $g$  - ускорение свободного падения;  $\nu_\omega$  - кинематическая вязкость воды;  $V$  - объем разлитой нефти, безразмерные константы  $K$  имеют значения  $K_1 = 1,14$ ;  $K_2 = 1,45$ ;  $K_3 = 2,30$ .

Длительность действия различных фаз в зависимости от объема разлитой нефти иллюстрируется рис. 3.9, взятом из работы Хоулта. В частности, при объеме разлитой нефти  $V = 10^4$  т, что соответствует аварии танкера "Глобе Ассиа" в 1981 г., зависимость радиуса slicka

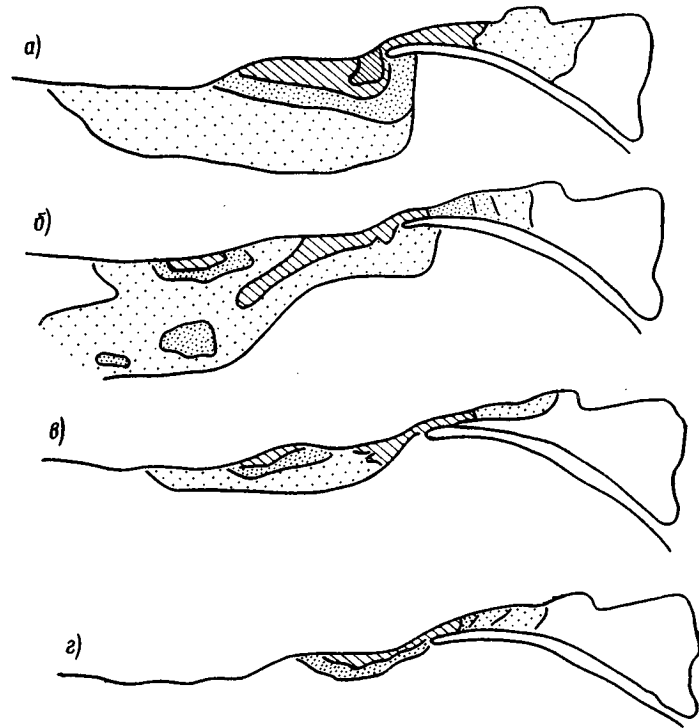


Рис. 3.9. Схема распространения мазута в результате аварии танкера "Глобе Ассиа", восстановленная по данным наблюдений:

а - 6 декабря, б - 2 декабря, в - 29 ноября, г - 26 ноября

на от времени в случае мгновенного точечного источника иллюстрируется рисунком 3.10.

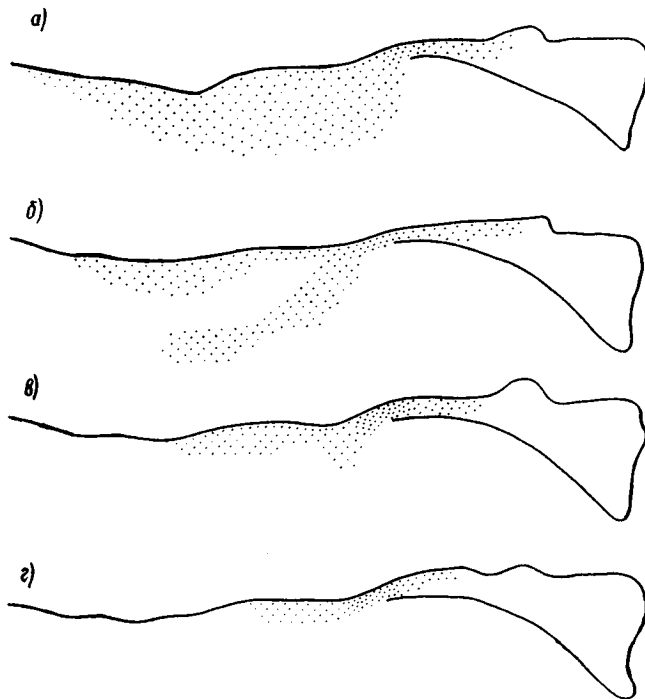


Рис. 3.10. Схема распространения мазута, рассчитанная с помощью численной модели:

а, б, в, г - см. рис. 3.9

Из рис. 3.9 ясно следует, что при достижении некоторого критического времени, зависящего от объема разлитой нефти, и соответствующих размеров пятна его растекание прекращается и дальнейшее распространение нефти на поверхности моря определяется горизонтальной турбулентной диффузией.

Для учета турбулентного рассеяния нефти можно воспользоваться моделью

$$S = \pi \left( \ln \frac{M}{2\pi(Pt)h} - \ln C_0 \right)^2 (Pt)^2 \quad (9)$$

где  $S$  - площадь пятна нефти;  $P$  - скорость диффузии ( $\sim 1,16$  см/с);  $C_0$  - концентрация, мг/см<sup>3</sup>;  $h$  - толщина верхнего слоя, в котором растворена или концентрируется нефть;  $M$  - мощность выброса.

Значение  $C_0$  задается исходя из того, каким значением концентрации мы хотим ограничиться при рассмотрении степени загрязнения. Этим значением могут быть, скажем, ПДК или фоновая величина загрязнения.

В тех случаях, когда сбрасываемое вещество не образует пленок или тонких слоев на поверхности, требуется учитывать естественную утечку вещества в более глубокие слои. Точно рассчитать вертикальный турбулентный перенос вещества в общем случае пока не удастся, поэтому вполне разумно воспользоваться соответствующими оценками. Будем считать, что примесь распределена равномерно по вертикали в слое толщиной  $h$ . Если примесь нейтральна, то

$$h \sim \sqrt{K_z t}, \quad h < H. \quad (10)$$

где  $K_z$  - коэффициент вертикальной турбулентной диффузии;  $t$  - время с момента выброса;  $H$  - глубина залегания слоя скачка плотности.

Коэффициент  $K_z$  оценивается по формуле

$$K_z \approx 3 \cdot 10^{-5} \frac{W^2}{g} \quad (11)$$

где  $W$  - скорость ветра.

Если известны параметры ветровых волн на момент расчета, то

$$K_z \approx 10^{-2} \frac{a^2}{T} \quad (12)$$

Эта формула близка к известному соотношению А.Н. Колмогорова  $K_z = \ell \sqrt{b}$ , где  $\sqrt{b}$  - средняя величина модуля вектора пульсирующей скорости;  $\ell$  - характерный пространственный масштаб турбулентности.

Если известен перепад плотности  $\Delta \rho$  в слое  $0 \dots H$ , то расчеты ведутся по формуле

$$K_z \approx 10^{-7} \frac{W^2 \rho V}{g \Delta \rho} \quad (13)$$

где  $U$  - скорость течения на поверхности моря (оценивается по ветровому коэффициенту).

Формула (9) выведена с учетом толщины слоя  $h$ . Однако  $K_z$  имеет предельное значение  $K_{z \max}$ , равное

$$K_z \sim \epsilon^{1/3} H^{1/3}, \quad \epsilon \sim 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-3} \quad (14)$$

выше которого  $K_z$  не может быть, поэтому если по формулам (11) - (13) получается  $K_z > K_{z \max}$  то следует брать значение  $K_z = K_{z \max}$ .

Можно рассмотреть более общий случай, когда примесь не обязательно нейтрально взвешена (растворена), а имеет плотность  $\rho \leq \rho$  воды. В этом случае за счет турбулентности тоже создается поток примеси в более глубокие слои, который приводит к добавочной потенциальной энергии  $g \Delta \rho h$ , где  $\Delta \rho = \rho \text{ воды} - \rho$ . Эта

добавка должна балансироваться кинетической энергией турбулентных пульсаций, т.е.

$$g \Delta \rho h \sim \rho b.$$

откуда

$$h \sim \frac{\rho b}{g \Delta \rho} = \frac{\rho \bar{U}^2}{2g \Delta \rho}$$

или

$$h \approx K_r^{2/3} \left( \frac{\rho}{2g \Delta \rho} \right)^{1/3}. \quad (15)$$

Как показала практика, предлагаемая методика может быть использована в оперативном режиме. Так, в первые дни после разлива танкера "Глобе Асами" в ноябре 1981 г. в порту Клайпеда было установлено, что имеется возможность быстро (в течение 1...2 ч) составлять по данной методике прогноз распространения нефти с заблаговременностью 1...3 сут.

Оправдываемость прогнозов определяется оправдываемостью прогнозов ветра, достоверностью информации о неветровых течениях в рассматриваемом районе, а также достоверностью таких параметров, как объем аварийного сброса и физические свойства нефти (поверхностное натяжение, удельный вес).

В случае Клайпедского разлива оправдываемость прогнозов составляла 80...90%.

Точность прогнозов определяется точностью численных параметров, входящих в расчетные формулы, таких, как коэффициент ветрового дрейфа, угол Кориолиса, длительности различных фаз растекания в зависимости от объема разлитой нефти, физические параметры нефти и воды. Как показал опыт работы с предлагаемой методикой, реальная ошибка прогноза в этом случае составляет 20...30%. Предлагаемая методика рассчитана для применения без использования ЭВМ, она чрезвычайно проста, но имеет ряд существенных недостатков. К ним следует отнести упрощенную трактовку основных механизмов растекания,

турбулентной диффузии и т.д. Не затруднительно применять вблизи берегов и для непрерывных выпусков нефти. В связи с этим для дальнейших расчетов в ГОИНе была разработана численная модель распространения нефти в море при аварийных ситуациях.

Полное математическое описание физических механизмов, определяющих перемещение и растекание нефти, достаточно сложно и вряд ли может быть реализовано в рамках модели, пригодной для практического использования, поэтому целесообразно выделить достаточно простую модель, включающую основные механизмы. Для этого наиболее подходящими являются осредненные по толщине пленки уравнения. Следует, однако, заметить, что это приближение имеет ряд ограничений: малые толщины пленки, большое отношение вязкости нефти к вязкости воды и т.д.

Основные уравнения в этом случае имеют вид

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \Delta \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_x^s}{\rho h} + \frac{\tau_x^b}{\rho h}.$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \Delta \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\tau_y^s}{\rho h} + \frac{\tau_y^b}{\rho h}. \quad (16)$$

$$\Omega: \frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial \rho h U}{\partial x} + \frac{\partial \rho h V}{\partial y} = K \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) \right].$$

$$H = \frac{1}{h} \int_{h_b}^{h_s} U dz; \quad V = \frac{1}{h} \int_{h_b}^{h_s} V dz.$$

где  $H, V$  - осредненные по толщине скорости;  $\Delta = (\rho_{\omega} - \rho) / \rho$ ;  $\rho_{\omega}$  - плотность воды;  $\rho$  - плотность нефти;  $h = h_s - h_b$  - толщина slicka;  $h_s$  - вертикальная координата верхней границы slicka;  $h_b$  - вертикальная координата нижней границы slicka;  $\tau_x^s, \tau_y^s$  - касательное напряжение ветра на поверхности slicka;  $\tau_x^b, \tau_y^b$  - касательное напряжение на нижней границе slicka;  $\Omega$  - двумерная область нефтяного slicka.

На боковой границе slicka  $\Gamma_1$  существует баланс сил поверхностного натяжения

$$\Gamma_1: \sigma = \sigma_{\omega} - \sigma_0 - \sigma_{\omega 0}. \quad (17)$$

где  $\sigma$  - поверхностное натяжение на единицу длины границы slicka;  $\sigma_{\omega}$  - поверхностное натяжение на границе раздела вода-воздух;  $\sigma_0$  - поверхностное натяжение на границе нефть-воздух;  $\sigma_{\omega 0}$  - на границе раздела нефть-вода.

Кроме того, на свободной границе нефтяного slicka  $\Gamma_1$  должно быть задано кинематическое условие. Если уравнение границы нефтяного slicka  $R(t, x, y) = 0$ , то кинематическое условие имеет вид

$$\Gamma_1: \frac{\partial R}{\partial t} + U \frac{\partial R}{\partial x} + V \frac{\partial R}{\partial y} = 0. \quad (18)$$

На части границы нефтяного slicka соприкасающейся с берегом

$$\Gamma_2: U_n = 0. \quad (19)$$

здесь задается поток массы, связанный с выбрасыванием нефти на берег. Начальные условия для записанной системы уравнений имеют вид

$$U(0, x, y) = V(0, x, y) = 0; \quad h(0, x, y) = h_0(x, y); \quad (20)$$

$$\Omega(0, x, y) = \Omega_0(x, y); \quad x, y \in \Omega_0$$

Неизвестными являются  $U, V, h$  в самой области  $\Omega(t, x, y)$  с границами  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , в которой ищется решение. Численное решение приведенной системы достаточно сложно в силу ее нелинейности и наличия свободных границ, однако возможно, например, методом частиц в ячейках.

В предлагаемой здесь версии модели все основные физические механизмы описываются в рамках динамико-стохастического подхода, учитывающего как основные статистические характеристики процессов турбулентной диффузии, так и процессов растекания нефти под действием сил тяжести, поверхностного натяжения и вязкости.

Нефтяное пятно моделируется набором частиц-маркеров. Каждая частица ( $i$ ) характеризуется координатами  $X_i(t), Y_i(t)$  и массой  $M_i(t)$ . Плотность распределения частиц на плоскости  $(x, y)$  соответствует толщине слоя нефти. Взаимное расположение частиц определяет конфигурацию и положение области  $\Omega(t, x, y)$ . Скорость частицы  $V^{(i)}$  состоит из детерминированной части  $\bar{V}^{(i)}$ , определяемой метеорологическими условиями, и набора стохастических добавок  $V_k^{(i)}$ :

$$V^{(i)} = \bar{V}^{(i)} + V_k^{(i)}, \quad k=1, 2, 3, 4.$$

$V_k^{(i)}$ ,  $k = 1, 2, 3$  подбираются таким образом, чтобы имитировать основные режимы растекания нефти: инерционный (1), гравитационно-вязкий (2), поверхностного натяжения ( $k = 3$ ).

Следует отметить, что условия перехода от одного режима растекания к другому зависят от количества разлитой нефти (для мгновенного источника), однако для широкого диапазона разливов границы режимов могут быть определены по толщине слоя нефти.

Предложенный метод позволяет описать процессы турбулентной диффузии с использованием данных наблюдений о пульсациях скорости, полученных, например, с помощью дрейфующих буев.

## ГЛАВА 4.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ АВАРИИ ТАНКЕРА И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ

#### 4.1. Влияние мазутного разлива на берега и дно исследуемого района

Для получения картины пространственного распределения нефтяного загрязнения в пределах исследуемого района необходимо знать его определяющие гидрологические факторы. Эти факторы по сравнению с отмеченными ранее (см. раздел 2.1.1) весной 1982 г. были несколько иными. Иным был и масштаб исследований, что позволило более детально характеризовать строение водной толщи и донных осадков как источник возможного вторичного загрязнения водоема, а также толщу пляжевых отложений и участки складирования песчано-мазутной смеси (ПМС).

##### 4.1.1. Краткая гидрологическая характеристика

Весной (апрель) 1982 г. проведены исследования прозрачности, температуры и солености (рис. 4.1-4.3). Как видно из представленных данных, язык пресных вод Куршского залива на поверхности моря прослеживается на удалении до 25...30 км на север и лишь до 3...5 км на юг от Клайпедского пролива. Максимальное распространение пресных вод на северо-запад прослеживается до глубины 35...40 м. Лишь на наиболее мористых станциях прослеживаются показатели, характерные для вод Центральной Балтики (соленость - 7,5...8‰, температура - более 3°C, прозрачность - более 3 м). В целом ход изменений температуры и солености однотипен.

У дна распространение пресных вод несколько иное. Зона максимального их проникновения имеет меридиональное простирание, распространяясь на запад до глубины 25...30 м, где соленость превышает 7,5‰, а температура воды - менее 2°C.

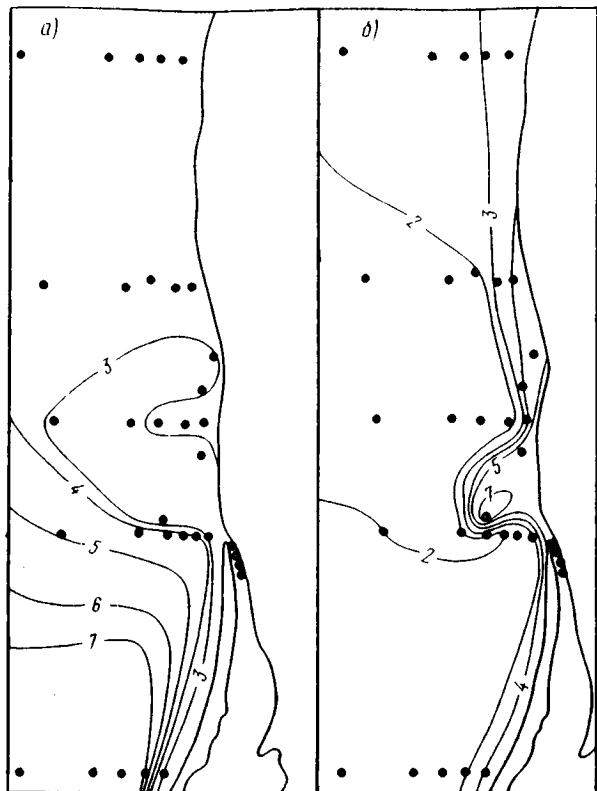


Рис. 4.1. Распределение температуры в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в апреле 1982 г.

В целом характер и дальность распространения пресных вод Куршского залива в исследуемый период однотипен отмеченному нами ранее летом /68/. Это указывает на постоянный сезонный и среднегодовой характер распределения пресных выносов (в том числе и загрязняющих) Куршского залива в пределах Клайпедского пологона.

#### 4.1.2. Типы донных отложений и литолого-морфологическая характеристика пляжевых наносов

Визуальные наблюдения и анализ гранулометрического состава донных отложений, а также изучение пространственного распределения пресного стока Куршского залива, привлечение данных предыду-

щих исследований /69/ позволило составить схему гранулометрических типов (рис. 4.4). Особым разнообразием типов осадков исследуемый регион не отличается. Гидродинамическая обстановка и характер строения четвертичной толща определяет характер дисперсности отложений. Нами встречены четыре типа: валунно-галечные и моренные отложения, песчано-гравийная смесь, песок средний - мелкий и песок мелкий-крупный алеврит.

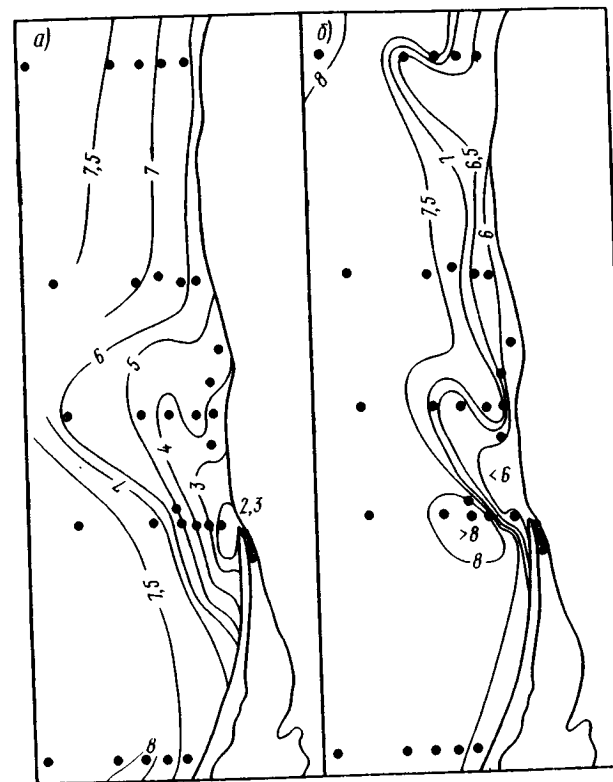


Рис. 4.2. Распределение солености (‰), в поверхностном (а) и придонном (б) слоях в апреле 1982 г.

Валунно-галечные и моренные отложения представляют собой размытую поверхность четвертичных гляцигенных образований (морен) или так называемую валунно-галечную отмостку (ВГО). Они распространены на глубинах 3...25 м от Клайпеды (Гируляй) до Лиешая. Современные осадки здесь не отлагаются. Наоборот, под действием вдольбереговых

и компенсационных течений и выносов Куршского залива происходит размыв дна. Как следствие, здесь образуется ВГО, представленная на поверхности маломощным слоем остаточных песков и гравийно-галечно-

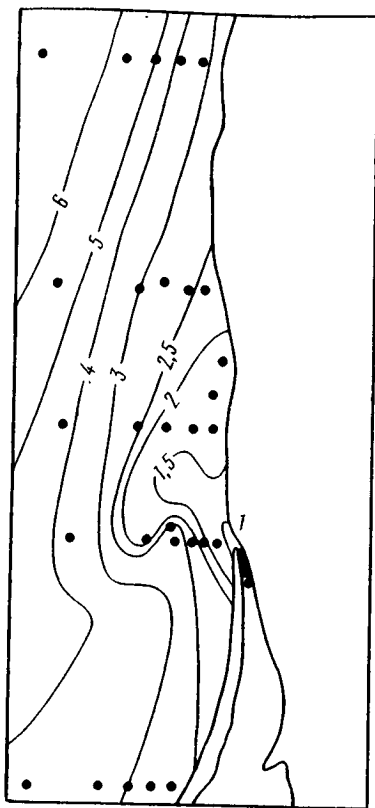


Рис. 4.3. Распределение прозрачности (м) в апреле 1982 г.

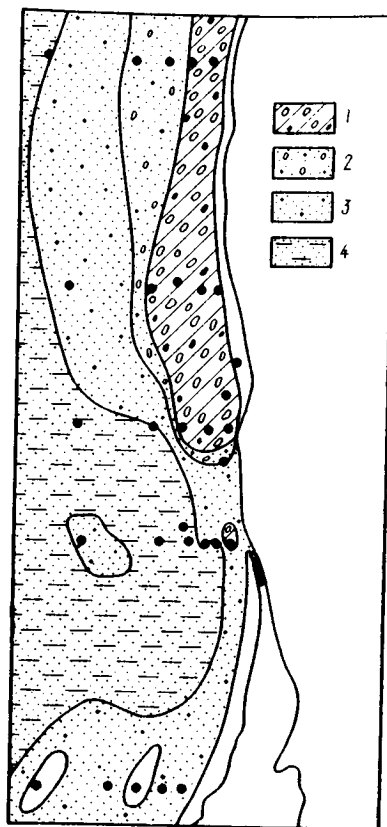


Рис. 4.4. Типы донных осадков:

1 - валунно-галечные и моренные отложения (ВГО); 2 - песчано-гравийная смесь (ПГС); 3 - песок мелкий и средний (ПМ-ПС); 4 - песок мелкий и алеврит крупный (ПМ-АК)

го материала, а также крупными валунами. Здесь широко развиты биоценозы двустворчатых моллюсков. Периферийную область (со стороны моря) этих отложений слагает песчано-гравийная смесь (ПГС), в пределах распространения которой развиты течения, выносящие более мелкий

материал вглубь. Зона распространения ПГС заметно расширяется в северном направлении. Здесь, как правило, преобладают фракции гравия (2...1 мм; 18,4...54,6%) и крупного песка (1...0,5 мм; 19,6...68,4%). Иногда содержание гравийно-галечных фракций (> 1 мм) превышает 75%. Алевритовые, средне- и мелкопесчаные фракции составляют лишь 0,8...20,1%.

Пески средние и мелкие окаймляют с морской стороны описанные ранее зоны распространения ВГО и ПГС. Ширина зоны этих песков достигает 10...15 км, простираясь до глубины 35...40 м (местами до 50). Эта зона у устья Клайпедского пролива, расширяясь, простирается в СЗ и ЮЗ направлениях до границ полигона, охватывая практически всю южную его часть. Здесь встречаются отдельные пятна грубозернистых отложений (ПГС), представляющих материал размыва выступающего субстрата морен, пятна которых наблюдается и севернее Клайпеды. Содержание преобладающих фракций (0,5...0,25 и 0,25...0,1 мм) в этом типе осадков достигает 61,9...95,7%. Количество фракций менее 0,1 мм здесь невелико - 1,1...6,8%.

Наиболее мористее распространяются мелкие пески и крупные алевриты, на траверзе Клайпеды охватывающие зону шириной более 30 км. Они представляют собой результат начала завершающей фазы дифференциации осадочного материала Куршского залива. Содержание мелкопесчаной фракции (0,25...0,1 мм) здесь составляет 43,9...90,3%, алевритовых и пелитовых (менее 0,1 мм, как правило, на 90% состоящих из фракций 0,1...0,05 мм) - 33,5...52,9%. Именно здесь начинается седиментационное накопление нефтепродуктов.

Содержание  $C_{орг}$  в отложениях исследованного нами полигона, как правило, не превышает 1%. Лишь в зоне распространения мелких песков и крупных алевритов в отдельных понижениях дна и на склонах водного канала оно увеличивается до 1...3%. Наоборот, количество  $CaCO_3$  здесь достигает 3...10%. Максимальные его содержания приурочены к прибрежным районам, где широкое распространение получают представители донной фауны - двустворчатые моллюски, истирание которых после отмирания и приводит к увеличению концентраций  $CaCO_3$  в донных осадках.

Увеличение фракций менее 0,1 мм в донных осадках и обогащение их органическим веществом, уменьшение роли гидродинамики глубже 25...30 м способствуют аккумуляции осадочного материала, в том числе и взвеси, на которой накапливаются и сорбированные нефтяные соединения.

Пляжевые отложения в результате штормовых размывов осени 1981 г. и зимы 1982 г. и последовавшего затем мазутного загрязнения были изменены морфологически. Литологический же состав в целом



Гранулометрический состав пляжевых отложений  
коренного побережья Литвы в апреле-июле 1982 г.

Разрез	Фракция, мм								Тип наносов**
	5	5...3	3...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	0,1	
I-I	-	-	-	1,4	12,6	67,5	18,2	0,3	ПС
I-3б	13,4	11,6	10,3	26,3	27,8	9,0	1,5	-	ПГС
I-3а	-	-	-	1,5	24,4	70,1	4,0	-	ПС
У-I	-	-	-	-	0,3	4,2	94,7	0,8	ПМ
У-4б	-	-	-	3,7	27,5	29,7	39,0	0,3	ПР
УШ-I	-	-	-	2,9	18,1	44,8	33,5	0,6	ПС
УШ-3*	-	-	-	84,9	6,6	8,1	0,5	-	Гравий
УШ-5	-	-	-	0,2	3,8	46,0	49,9	0,2	ПС-ПМ
УШ-В-I*	-	-	-	20,0	9,6	43,2	27,2	-	ПС
УШ-В-5	16,5	1,2	0,7	11,0	31,1	23,3	15,8	0,4	ПГС
УШ-В-7	-	-	-	-	0,7	29,9	63,1	0,3	ПМ
УШ-Г-Iа	-	-	-	-	13,0	63,5	23,5	-	ПС
УШ-Г-Iб	-	-	-	-	4,7	45,2	49,5	0,4	ПМ-ПС
УШ-Г-2а	-	-	-	3,5	17,9	47,7	30,7	0,2	ПС
УШ-Г-2б	-	-	-	22,0	22,7	40,4	14,8	-	ПГС
УШ-Г-4	-	-	-	-	6,2	48,4	45,2	0,3	ПС-ПМ
Х-I*	-	-	-	0,5	0,6	11,9	86,3	0,7	ПМ
Х-3	-	-	-	-	1,6	24,1	73,9	0,4	ПМ
ХП-3	-	-	-	-	2,1	23,8	72,8	1,4	ПМ
ХIV-3	-	-	-	-	-	13,3	86,1	0,6	ПМ
ХVI-I	-	-	-	1,1	14,4	29,0	54,7	0,8	ПМ-ПС
ХVI-3	-	-	-	-	1,7	19,2	78,6	0,4	ПМ
ХУШ-2	8,2	6,3	7,0	15,7	21,9	25,5	15,4	-	ПГС
ХУШ-3	23,3	4,5	3,6	8,1	27,3	27,0	6,2	-	ПГС
ХIX-2	-	1,1	1,4	5,8	60,3	27,4	3,4	0,7	ПК
ХIX-3	30,7	9,9	7,2	14,6	23,5	9,4	4,3	0,4	ПГС
ХХШ-I	-	-	-	-	-	28,4	70,6	0,9	ПМ
ХХМ-2	-	0,2	0,6	9,5	39,0	32,2	18,1	0,4	ПГС
ХХIV-3	-	-	-	9,8	45,3	31,6	13,1	0,2	ПГС
ХХIV-4	-	-	0,2	16,2	69,7	11,2	2,3	0,3	ПК

\* Пробы с комками мазута.

\*\* Тип наносов: ПГС - песчано-гравийная смесь, ПР - песок разноразмерный, ПК - песок крупный, ПС - песок средний, ПМ - песок мелкий.

остался неизменным (табл. 4.1). Произошло лишь незначительное перераспределение фракций, как правило, в сторону увеличения более грубых. Разлившаяся мазут в результате штормов зачастую захоронялся в толще пляжевых отложений. Следствием этого являлось образование на многих участках слоеных толщ чистого песка и песчано-мазутной смеси общей мощностью до 0,8...1 м (так называемые слоеные пироги). Визуально установить количественное распределение пляжевого мазута уже в самом начале процесса было невозможно. Предпринятые меры позволяли уже к весне 1982 г. с городских пляжей Клайпеды и Паланги убрать часть мазута и поверхностной песчано-мазутной смеси. Однако основная масса загрязненного песка оставалась на побережье - на поверхности в толще пляжевых отложений.

Исходя из необходимости количественного расчета загрязнений, было проведено пространственно-объемное исследование пляжей и подводного склона. Для этого в течение трех прибрежных экспедиций на протяженности почти 40-километрового берега от Клайпеды (Мельраге) до границы с Латвийской ССР на пляжах было выполнено 24 литолого-морфологических разреза с фиксацией основных параметров пространственно-объемного загрязнения пляжей. Для анализа этих же показателей на подводном склоне с помощью водолазов исследовались участки Палангского и Швянтойского мостов-променад (глубина до 5 м), а также трасса водозаборника плавательного бассейна до глубины 15 м. Кроме того, в зоне заплеска прибрежной полосы пляжа проводилось наблюдение за выбросами свежих комочков-лепешек мазута с моря.

Ширина загрязненной зоны во время апрельской и частично майской экспедиций составляла 7...60 м при ширине пляжа 25...115 м. Наиболее широкая полоса загрязнений отмечена на пляже пос. Швянтойи (60 м), однако степень загрязненности здесь минимальна (лишь на поверхности встречаются комки и песчано-мазутные пленки). Севернее Швянтойи и на участке Кунигашкес-Монцашкес отмечалась максимальная степень загрязнения пляжей, где выполнялись детальные полигонные исследования распределения и разложения мазута с апреля по август 1982 г. На этих участках мощность загрязненной толщи достигала 40...50 см, мощность мазутных прослоек - до 20 см. К сожалению, на некоторых участках (Кунигашкес-Ошупис) в результате бульдозерных работ обнажен торф. В ряде мест здесь торф находится под слоем песка мощностью лишь 10...20 см. В устьях речек и ручьев была масса замаслированных сучьев и веток, вода, трава и бровки этих речек покрыты мазутной пленкой. Такой же пленкой (до 1 см) покрыты и бровки дн. Устье р. Ашареле находилось в весьма плачевном состоянии - ее русло на 70...100 м от моря загрязнено, мазутные прослойки встречались даже ниже уровня морской воды. Русло речки было раздвоено - одно истинное, другое образовалось за счет вывоза песчано-мазутной смеси.

К югу от г. Паланга загрязнение мазутом отмечено лишь на поверхности пляжа вблизи дна. Длязовидные прослойки мощностью до 5 см отмечались практически на 60% исследованных разрезов. К югу от г. Паланга вплоть до Карклинской в зоне заплеска части свежие выбросы мазута (комки величиной до 2...3 см), достигавшие иногда 60...150 шт. на погонный метр. Водолазными работами мазута в верхней части подводного склона (до глубины 15 м) не обнаружено, как не найден он и на дне моря по данным дночерпательных опробований.

Весь комплекс отмеченных исследований позволял объективно оценить количество мазута, находившегося в толще донных пляжевых отложений на определенный этап экспедиции. Анализ химического его состава позволял судить о процессах разложения и изменения мазута за исследуемый период.

#### 4.1.3. Особенности условий захоронения песчано-мазутной смеси

Говоря об условиях захоронения продуктов мазутного разлива, мы имеем в виду два фактора: захоронение под влиянием естественных прибрежно-морских факторов (накопление и переслаивание в толще пляжевых отложений либо аккумуляция на дне) и захоронение (складирование) вывозимой песчано-мазутной смеси в карьерах. Захоронение мазутной массы в пляжевой зоне зависит, во-первых, от гидрометеорологических условий и, во-вторых, от морфологического строения самих пляжей.

Как отмечалось ранее, основной чертой гидродинамики исследуемой зоны побережья является вдольбереговое перемещение водных масс (вдольбереговой поток наносов). Именно этот фактор обусловил движение массы разлившегося мазута в северном направлении. Штормовые волны и ветры западных румбов способствовали ее выбросу на пляжи, строение которых весьма неоднородно. Наиболее мазутоемкими оказались участки аккумулятивного характера, сложенные, как правило, более мелкими песчаными наносами, мощностью до 1...2 м и более. Участки, склонные к размыву, либо истинно размываемые, выбрасываемые массы мазута принимали как бы временно с последующим их перемещением на аккумулятивные отрезки побережья. Именно здесь происходило отложение мазутной массы и переслаивание ее с толщей песчаных отложений. Едкая поверхностная толща мазута в штормовых условиях расслаивалась, перемещаемым песком захватывая нижнюю ее часть. Образовались прослойки песчано-мазутной смеси. Многократными повторными волновыми движениями в зоне заплеска образовалась слоистая толща пляжевых отложений (так называемый слоистый пирог) с микро-

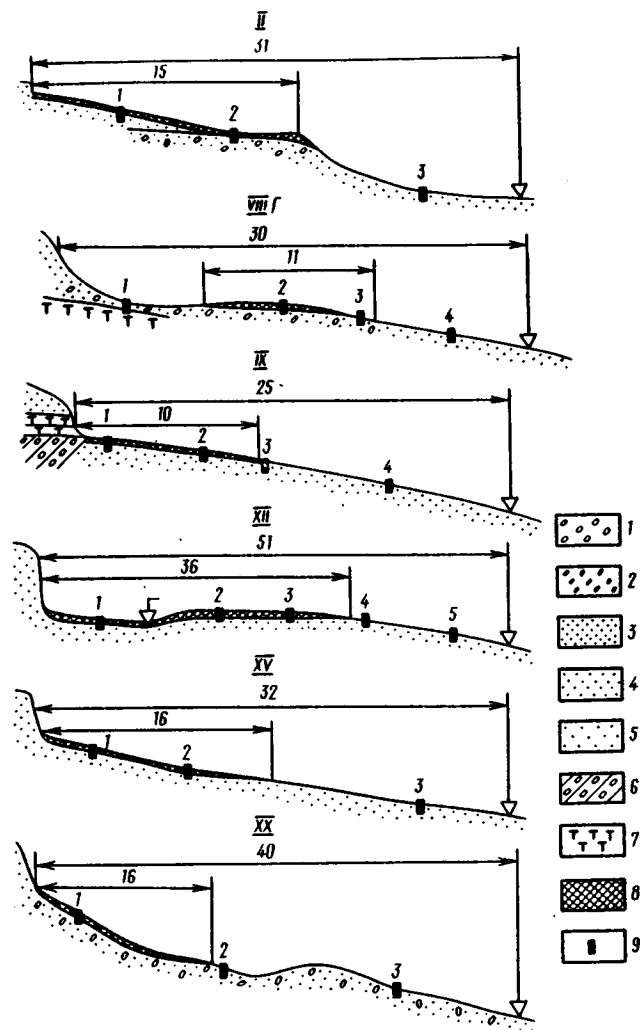


Рис. 4.5. Схема строения пляжей коренного берега Литовской ССР, подверженных мазутному загрязнению:

римские цифры - № разреза, верхние цифры - ширина пляжа (м), нижние - ширина загрязненной зоны (м), литология отложений:  
 I - галька; 2 - гравий; 3-5 - песок: крупный (3), средний (4), мелкий (5); 6 - суглинок; 7 - торф; 8 - песчано-мазутная смесь (ПМС); 9 - закрушка в ее номер

в макропрослойках мазута мощностью от I...2 мм до IO...20 см (рис. 4.5, 4.6). Общая мощность такой загрязненной толши составляла до 0,8...I м (чаще всего 0,4...0,6 м). Волновыми заплесками мазут выбрасывало на дны и на крутые склоны клифа Оландо Кяпуре. Основная масса выброшенного мазута скопилась в придюнной полосе (5...30 м и более) пляжей. В зоне заплеска (до IO...30 м от уровня воды) мазутный слой, как правило, отсутствовал (рис. 4.6). Мазут, оставшийся

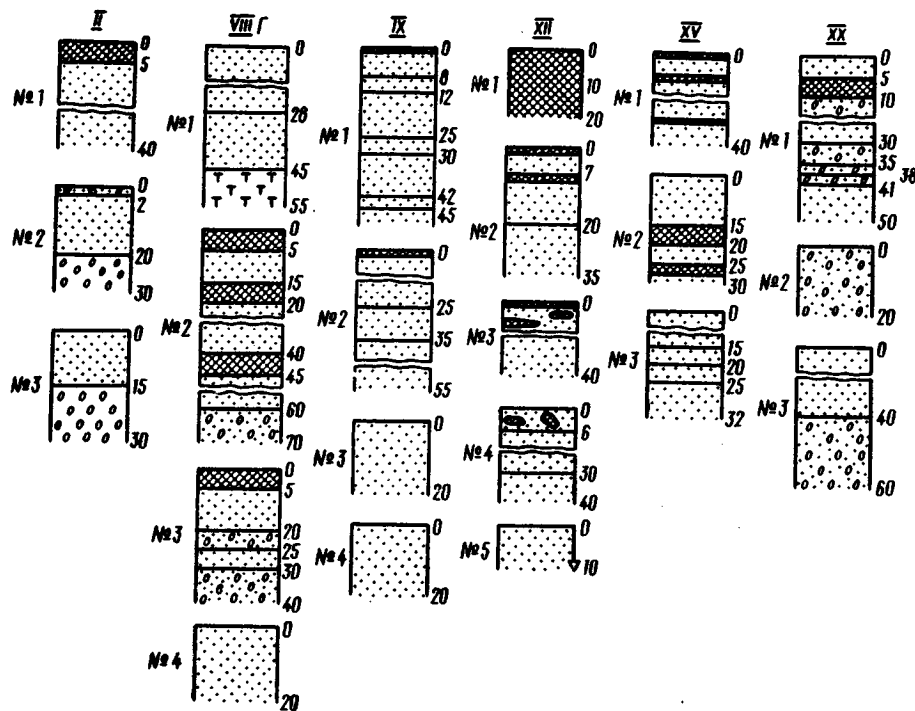


Рис. 4.6. Колонки пляжевых отложений (положение колонок см. рис. 4.5; цифры слева - № закопушки, справа - горизонт, см)

на поверхности пляжа, дин, валунов и других, при повышении температуры воздуха более  $10...15^{\circ}$  стал растекаться по песку, увеличивая площадь, необходимую для уборки загрязнений. Затем он проникал в глубь пляжевых наносов и в результате золового перемещения песка образовывал мини-прослойки песчано-мазутной смеси.

Слоистая толща песка и песчано-мазутной смеси создавала невыносимые условия для отдыхающих, поэтому ее в срочном порядке вывозили в специально отведенные места-карьеры захоронения (складирования) песчано-мазутной смеси. Карьеры захоронения песчано-мазутной смеси были подобраны после тщательного изучения условий залегания приморских континентальных отложений и гидрогеологических условий с целью исключения попадания мазута в море, в более глубокие слои и особенно в водоносные горизонты толши четвертичных отложений. Среди других такими стали лесной карьер и карьер на территории колхоза им. Черняховского.

Лесной карьер от моря расположен в 3 км и представляет собой отработанное до гляциальных пород понижение, некогда заполненное древнебереговым песчано-гравийным материалом. Площадь карьера около 2 га. Стены карьера и моренное его дно являются своеобразной преградой проникновению нефтепродуктов в грунтовые и межпластовые воды.

Карьер колхоза им. Черняховского расположен в пределах Приморской равнины, мелiorированной, заболоченной местности, в 5 км на юго-восток от г. Паланга. Преградой для проникновения нефтепродуктов в водопримные каналы являются насыпи песка, окружающие карьер со всех сторон. Аналогичная насыпь сделана (и уплотнена) на дне карьера.

Таким образом, для утилизации мазутного загрязнения пляжей были приняты действенные меры.

#### 4.1.4. Нефтепродукты и их деградация на дне, пляже и в карьерах

Проведенная типизация донных отложений, морфологическое строение пляжей и карьеров позволили с большей детальностью провести исследование по загрязнению дна и пляжей как потенциальных источников вторичного загрязнения водоема.

Визуально нефтяные соединения (НС) в пробах донных отложений встречены лишь на станциях в акватории порта Клайпеда и в море напротив порта Лиепая. Она представлены твердыми, хорошо сформированными комками диаметром 2...4 мм. Результаты анализа НС донных отложений представлены в табл. 4.2 и рис. 4.7. Весной общее содержание НС (среднее) изменялось от 55 до 4837 мкг/г сухого веса. Максимальная концентрация установлена в районе Лиепая, где в пробе обнаружен смоляной комок. Следует отметить, что с продвижением в сторону тонкодисперсных осадков содержание НС увеличивается в 3...5 раз. Высокие концентрации нефтяных соединений приурочены к разрезу Лиепая-море и к Алайпедскому порту, проливу и близлежащей акватории моря.

Таблица 4.2

Содержание в состав нефтяных соединений (НС) в различных типах донных осадков весной (числитель) и летом (знаменатель). 1962 г.

Тип осадков	Количество проб	Содержание НС, мкг/г сухого веса	Групповой состав, % от общего НС		
			УВ	бензолы-ные смо-лы	спирто-бензолы-ные смо-лы
Валуно-галечная отмостка	1	55	18,2	19,7	62,1
Песчано-гравийная смесь	3	124	17,0	17,4	65,6
	4	26	40,2	12,4	47,4
Песок среднезернистый	1	100	16,0	36,0	48,0
Песок мелкозернистый	3	110	19,7	13,1	67,2
	4	91	25,6	15,1	59,3
Алевроит крупный	5	344	21,8	9,2	69,0
	2	179	9,6	15,3	75,1
Ил мелкоалевритовый	1	407	18,2	8,9	72,9
	1	206	15,8	15,3	68,9
Суглинок	2	146	15,7	12,0	72,3
	2	51	62,0	14,3	23,7
Супесь	1	825	41,8	16,0	42,2
Суглинок с мазутом	1	4837	58,3	35,3	6,9

Летом содержание НС значительно (в 1,5...2 раза) снижается. Концентрации, превышающие 100 мкг/г, отмечены лишь на четырех станциях, в основном расположенных в прибрежной зоне. Повышенные их количества тяготеют к Клайпедскому проливу и прилегающей к нему акватории порта. Обращает внимание особенно низкие концентрации органических соединений (ОС) в ПГС - 10...47 (в среднем 26), в моренных суглинках - 30...72 (в среднем 51) мкг/г. В мелких песках их содержание несколько выше - 37...104 (в среднем 91) мкг/г. Наиболее высокие концентрации ОС остаются в крупных алевроитах - 125...232 (в среднем 179) и в мелкоалевритовых илах - 206 мкг/г.

В групповом составе выделенных соединений преобладают смоляные фракции. Особенно это характерно для апрельской съемки, где преобладающая часть органических веществ (ОВ) представлена углеводородными компонентами. Лишь на станциях, где встречены смоляные образования, доля углеводородов увеличивается до 42...58%.

В иле соотношение этих фракций несколько меняется. Спирто-бензолыные смолы преобладают в тонкодисперсных осадках, их количество уменьшается в более грубых и в глинах отложениях (суглинок) до 8%. В этих случаях в составе органического вещества повышается доля углеводородов (УВ).

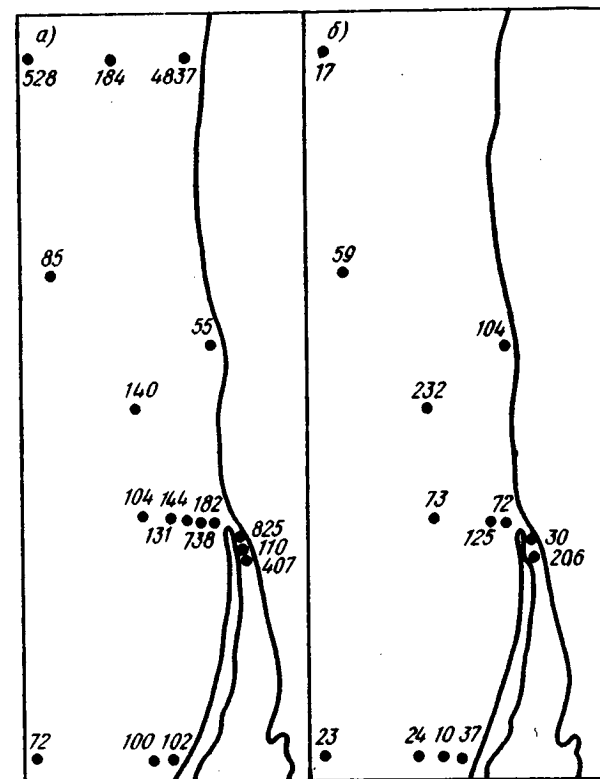


Рис. 4.7. Распределение органического вещества в донных осадках:

а - апрель, б - май

В составе алканов (спектр) донных осадков по данным ГХ выделены УВ от  $C_{13}$  до  $C_{37}$ . В большинстве преобладают n-алканы в области  $C_{23}$ - $C_{31}$ . Спектр алканов донных осадков отличается от спектра насыщенных УВ воды прежде всего соотношением низко- и высококипящих компонентов. В осадках возрастает доля низкокипящих алканов.

Более высокие значения индекса преобладания нечетных алканов над четными (CPI) в исследованных пробах осадков, малая величина "горба" неразделенных соединений свидетельствует о смешанном (био-генном и антропогенном) генезисе алканов. Этот факт, наряду с уменьшением суммарного содержания ОС от апреля к июлю, позволяет предположить, что потенциал самоочищения Балтийского моря достаточно высок. Проведенные исследования трансформации мазута на пляже и в карьерах указывают на изменение состава HC в пространственно-временном масштабе в зависимости от гранулометрического состава загрязненных отложений и от глубины захоронения мазутных прослоек.

Структурно-групповой состав смоляных комков, песчано-мазутной смеси и водно-мазутной эмульсии показывает, что наиболее значительные изменения обнаружены для мазутного загрязнения в целом. Так, в одной и той же пробе МПС пляжа г. Паланга в апреле 1982 г. содержание органической фракции изменялось в 5, 6 раз: от 7 до 38,3%. Это связано с неодинаковым содержанием песчаного материала в разных частях пробы. Однако соотношение масляно-смолистой и асфальтеновой фракции практически не меняется, и в январе 1983 г., так же как и в декабре 1981 г., масляно-смолистая фракция составляет более 90%. Причем и в пляжевой зоне, и в районе карьеров не наблюдается осмоление мазутных остатков. По-видимому, для разлившегося мазута М-2, продукта прямой перегонки, в условиях умеренного климата смолообразование - процесс в достаточной степени длительный, поэтому даже через 13 мес после аварии заметных изменений в структурно-групповом составе мазута не произошло.

Наиболее значительно за этот промежуток времени изменился состав алканов (рис. 4.8). Так, если сразу после разлива были обнаружены алканы  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ , то 6 мес спустя (июль 1982 г.) исчезли гомологи до  $C_{14}$ , а к январю 1983 г. - до  $C_{15}$ , хотя конфигурация спектра сохранилась. При этом увеличилось количество высококипящих углеводородов ( $> C_{25}$ ) и максимум в спектре алканов с  $C_{15}$ - $C_{17}$  сдвинулся к  $C_{22}$ ,  $C_{24}$ . Причем в первые 7 мес после разлива деградация нефтеостатков практически в одинаковой степени происходила в пляжевой зоне и в карьерах, так как отношение легких к высококипящим гомологам (0,3...0,4) и *n*- к изо-алканам (соответственно 2,0 и 1,5) остается почти неизменным. Исключение составляет комок из полигона, отобранный в апреле 1982 г. По-видимому, этот смоляной комок образован из другого нефтепродукта, так как основные параметры для алканов в этой пробе отличаются от алканов мазута.

Состав алканов мазута к январю 1983 г. изменился значительно больше. Увеличилось отношение высокомолекулярных к низкомолекулярным соединениям, а в нефтеостатках пляжевой зоны высокомолекулярные

гомологи становятся доминирующими компонентами. Более высокая степень деградации мазута в пляжевой зоне вызвана, с одной стороны, ветро-волновыми процессами, усиливающими интенсивность испарения на открытых участках. С другой стороны, во время штормов ИМС обмывает морская вода, а приток биогенов стимулирует биохимическое разложение.

Исследование устойчивости различных классов углеводородов показало, что наиболее легко деградируют *n*-алканы, затем изо-алканы и ароматические соединения, поэтому отношение *n*-алканов к изо-алканам служит показателем биохимической трансформации нефти /94, 150/. Отношение гептадекана к пристану и октадекана к фитану с декабря

1981 г. по июль 1982 г. в наших пробах остается практически неизменным, т.е. в первые 5 мес деградация мазута осуществлялась за счет выветривания легких компонентов. Лишь в летние месяцы возросли проценты микробиологического окисления и отношения  $n-C_{17}$  ( $i-C_{19}$  и  $n-C_{18}$ )  $i-C_{20}$  уменьшилось, причем через 12 мес после аварии в спектре алканов изо-соединения стали занимать доминирующее положение. Изменя-

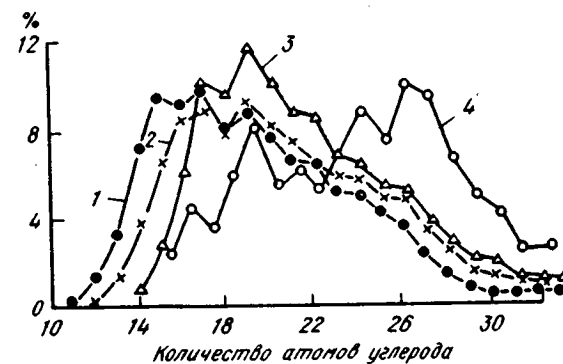


Рис. 4.8. Изменение состава алканов мазута в пляжевой зоне. Время исследований:

1 - декабрь 1981 г.; 2 - апрель 1982 г.; 3 - июль 1982 г.; 4 - январь 1983 г.

ющая к этому времени были весьма велика, что привело к несоответствию состава алканов исследуемых проб к алканам разлившегося мазута. Некоторое увеличение значений индекса нечетности CPI за время исследования может свидетельствовать о том, что испарение четных алканов происходит в большей степени по сравнению с нечетными.

Таким образом, трансформация мазута происходит в основном за счет медленного валового исчезновения классов соединений, а не отдельных компонентов, и процесс этот в натуральных условиях умеренного климата достаточно длительный. Поэтому очистка пляжа от песчано-мазутной смеси была совершенно необходима.

#### 4.1.5. Последствия разлива на берега и дно

Экстремальные гидрометеорологические условия (ураганный ветер со скоростью 30 м/с) привели к аварии танкера "Глобе Асами". Ветер, неоднократно менявший направление, и волны гнали разлившиеся массы мазута (16 493 т) вначале в глубь Куршского залива, затем вдоль морского побережья в северном направлении.

Попытки локализации аварийного разлива не привели к ожидаемым результатам. Технические средства, в том числе и нефтемусоросборщики, в условиях мазутного разлива оказались беспомощными из-за высокой вязкости, обводненности и твердообразности мазута на поверхности воды, поэтому огромными усилиями тысяч добровольцев - жителей Клайпеды и многих других городов Литвы - значительная часть мазута была собрана ручными средствами, портовыми кранами, автоцистернами. Всего таким образом с поверхности моря собрано около 9 тыс. т мазута. Одновременно считалось, что 2,5 тыс. т разлившейся массы растворилось в воде и аккумулировалось на дне. На пляжи выброшено около 5,5 тыс. т мазута /41/.

Эта первоначальная оценка баланса, однако, не отражала действительного хода процесса нефтяного загрязнения. Комплексной экспедицией, проведенной совместно Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР и Отделом географии АН ЛитССР, на весенний (апрель 1984 г.) этап установлено, что в толще вод находилось 12,5% всей разлившейся нефти с учетом ее поступления и с других источников (морфлот, береговые стоки и пр.). На дно поступило лишь 190 т, или 1,1% мазута, а 6550 т, или 37,8%, было выброшено на пляжи. Кстати, уже в апреле 1982 г. 300 т, или 17,3%, этой массы было вывезено в карьеры. Таким образом, значительное количество разлившегося мазута, не собранного с акватории Клайпедского порта и поступившего в Балтийское море, было выброшено на пляжи литовского и, частично, латвийского побережий.

Наибольший ущерб был нанесен рекреационной зоне (городским пляжам) Клайпеды (Мелнраге и Гяруляй) и Паланги (от Паланги до Швянтойи). Городские и республиканские организации, привлекая добровольцев из всей Литвы, в течение декабря 1981 - августа 1982 гг. (с некоторым перерывом на зимний, мерзлый период) проводили уборку побережья. Из-за отсутствия достаточного опыта был допущен ряд ошибок, что привело к чрезмерно большим количествам вывезенного песка. Все-го, по данным предварительных расчетов, со всего побережья коренного берега Литвы (от Клайпеды до Швянтойи) было вывезено около 600 тыс. т песка и песчано-мазутной смеси. Местами слой песка был полностью снят, обнажены залегающие под ним торфы. В ряде мест были

незаслуженно снесены и выровнены дюны, особенно вблизи устьев речек Раже и Ашарелж. В начале курортного сезона пляжи были подготовлены к приему отдыхающих.

Вывоз с пляжей такого огромного количества песка, толщ которого и профиль пляжей прибрежно-морские процессы формировали столетиями, косвенным образом отрицательно отразился позже.

В январе 1983 г., 15 мес спустя после аварии, после прохождения серии ураганных штормов стабильность пляжей и дна была нарушена. Штормовыми волнами с участка побережья Клайпеды-Швянтойи было смыто в море более 900 тыс. т отложений пляжей, дна и моренных кляфов. При этом длина максимально размывших участков здесь составила лишь 25 км. (Для сравнения: на размываемом участке Куршской косы длиной в 38 км в это же время было вымыто около 250 тыс. т пляжевых отложений, т.е. на 1 км побережья почти в 6 раз меньше размыва). Следует отметить, что максимальный ущерб нанесен участкам побережья, где наиболее узкий пляж, где максимально была снята песчаная толща и где явный дефицит песчаных отложений по рекомендациям ученых не был восстановлен.

Таким образом, ликвидация последствий аварии на побережье в итоге нанесла большой экономический ущерб народному хозяйству.

А каковы же последствия разлива мазута на дно? Исследования, проведенные в пределах глубин от 3...4 до 40...50 м с помощью дночерпателя и драги, слоев мазута не обнаружили. Захоронения мазута не выявлены и водолазными работами на подводном склоне до глубины 15 м.

В пределах исследуемого района не обнаружено наличия разлившегося мазута либо его переслаивания с донными отложениями, а также новых выбросов мазутных комков в зоне заплеска и во время работ в 1983-1984 гг. Не показали признаков загрязнения и исследования пространственно-временного распределения бентосных организмов в 1982-1984 гг. Видимо, совокупность гидрометеорологических условий (отрицательная температура, направление и сила ветров и течений и другие факторы) и физико-химические свойства разлившегося мазута привели к локализации основных его масс именно на побережье коренного берега Литвы и частично Латвии.

#### 4.2. Влияние нефтяного загрязнения на водную толщу в районе аварийного разлива мазута

##### 4.2.1. Влияние разлива мазута на физико-химические свойства воды

В период 23 ноября - 9 декабря комплексной лабораторией проводились специальные наблюдения в связи с разливом мазута вследствие

аварии танкера по следующей программе: 23, 26, 30 ноября, 3, 9 декабря по полной программе выполнены наблюдения в Клайпедском проливе на трех станциях, с 23 ноября по 9 декабря проводились определения нефтяных углеводородов в прибрежных частях Куршского залива и моря, начиная с 4 декабря наблюдения по сокращенной программе проводились на ст. 2. Помимо инструментальных наблюдений, ежедневно проводились визуальные наблюдения над распространением нефтяного загрязнения в прибрежных районах залива и моря. На юго-восточном побережье моря наблюдения проводились НИС "Океанограф" 3-9 и 20-21 декабря.

Особенности гидрометеорологического режима по району в это время накладывают свой отпечаток и на его гидрологический режим. Изменение солености в указанное время в Клайпедском проливе составляло от 0,02‰ (хлорность) до 7,33‰ (соленость). В прибрежной части моря соленость достигала 7,53‰ (Нида), как обычно здесь бывает при северо-западных, западных ветрах (пробы отбирались вручную). Неправильная соленость отмечена в районе Юдкранте в Куршском заливе - 23 ноября она достигала 7,39‰. По солености в этом районе можно судить, насколько распространились морские воды через пролив во время нагона, когда ветер достигал ураганной силы. 26 ноября в связи с перемешиванием пресных и морских вод в заливе на расстоянии 22 км от Клайпеды соленость была 5,82‰. В районе о. Свяной горб соленость отмечена 5,85‰. 28 ноября соленость пролива уменьшается до 1,99‰ (ст. 1) и до 5 декабря при преобладании выходных течений хлорность снижается до 0,02...0,23‰. 5, 6 декабря при смене направлений ветра в районе ст. 2 соленость повысилась до 1,30...3,63‰, но с 7 по 9 декабря в проливе вода пресная - 0,02‰ по хлорности, что подтверждает данные о течениях в сторону моря.

Благодаря интенсивной динамике вод, низким температурам воды в северной части залива кислородный режим в описываемый период был в пределах нормы, пределы колебания 10,59...16,70 мг/л (86...138% насыщения). Некоторое понижение растворенного кислорода (до 86%) отмечалось 26 ноября и связано с сильным нагоном морских вод, температура которых была выше пресных в это время и соленость была наибольшей за время наблюдений (пределы колебания 6,03...7,33‰). Значения pH менялись в пределах 7,68...10,27. Наибольшие значения pH отмечались в период, когда в проливе были пресные воды залива. Бактериальный режим имел ход, соответствующий этому сезону года.

Загрязнение нефтяными углеводородами (НУ) вод залива и прибрежной части моря во время наблюдений изменялось в широких пределах - от нулевых концентраций до 0,95 мг/л (0...19 ПДК). Максимальная концентрация отмечалась 23 ноября в поверхностном слое ст. 2. В тот день содержание НУ в проливе менялось в пределах 0,44...

0,95 мг/л (8,8...10 ПДК). Концентрация достигла 0,64 мг/л (13 ПДК) 2 декабря в придонном горизонте ст. 1. Содержание НУ 7 декабря в поверхностном слое ст. 2 (ЦКЗ) достигало 0,83 мг/л (17 ПДК). Из 116 случаев наблюдений над содержанием нефтяных углеводородов в 66 случаях концентрация превышала предельно допустимую. Максимальная концентрация НУ в прибрежной части моря во время наблюдений отмечена у Смильтине 27 ноября - 0,43 мг/л (8,6 ПДК). 29 ноября в прибрежной части моря (Прейла-Пярвалка-Нида) концентрация НУ изменялась в пределах 0,04...0,06 мг/л. Отбор проб с берега моря ручным способом без попадания пленки затруднен из-за штормового прилива.

Исследования разрезов на расстоянии 2,8...46,3 км от берега в зоне Нида-Лиеная проводились на НИС "Океанограф" 3-9 декабря 1981 г. и повторно в зоне Нида-Швянтойи 20-21 декабря 1981 г. на расстоянии 2,8...9,3 км от берега. Разрезы обследования располагались следующим образом: разрезы Нида, Юдкранте, Смильтине, Паланга, Швянтойи, Папе - на расстоянии 2,8...9,3 км от берега (по 3 станции в каждом), разрезы Гирулай, Бернаты - 2,8...46,3 км от берега (по 5 станций в каждом, расположенных через 9,3 км). Исследовался гидрохимический режим с одновременным отбором проб воды и донных отложений на нефтяные углеводороды и другие загрязняющие вещества. Температура воды на первом этапе наблюдений (3-9 декабря) в поверхностном слое менялась в пределах 3,20...7,38°C. Наиболее выхоложенные воды отмечались на прибрежных станциях, особенно напротив Клайпеды, а 5 декабря на разрезе Гирулай температура воды была максимальной по всей толще воды (до 40 м) - 7,04...7,42°C (глубина 20 м). Ввиду хорошего перемешивания в шельфовой зоне в это время в придонном горизонте температура воды менялась от 4,58 до 7,40°C. На разрезах Гирулай, Клайпеда поверхностный слой у берега был наименее соленый - 5,26...5,65‰, наибольшая соленость (7,66‰) была на севере (разрез Бернаты). В придонном горизонте пределы изменения солености уже - 6,59...7,80‰, максимальная соленость на глубине 25...40 м на разрезе Бернаты. Гидрохимический режим во время обследования показал отсутствие каких-либо существенных изменений под влиянием нефтяного загрязнения. Концентрация растворенного кислорода как во всей толще воды, так и в поверхностном слое колебались в пределах 9,60...14,05 мг/л (81...114%).

Загрязнение фенолами и детергентами побережья моря во время наблюдений не превышало предельно допустимых концентраций, и их содержание в основном было на уровне чувствительности метода - 0,003 и 0,025 мг/л соответственно. Концентрация нефтяных углеводородов 3-9 декабря во всей обследованной зоне колебалась в пределах 0,11...0,06 мг/л (2,2...1,2 ПДК). В зоне Нида-Смильтине концентрация НУ повсеместно во всей толще вод не превышала ПДК, колебалась в пределах 0,00...0,04 мг/л, в зоне Клайпеда-Швянтойи кон-

центрация НУ была несколько выше: 0,01...0,06 мг/л. При этом повышенным уровнем выделялся разрез Паланга (ст. I пл) - 0,03...0,06 мг/л и разрез Гируляй (ст. 5г) - 0,01...0,03 мг/л. Концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях 3-9 декабря составила в разрезах:

Нада (ст. 3Н) - 10 мкг/г сухого веса;  
Юдкранте (ст. 3Ю) - 0,0 мкг/г сухого веса;  
Смилтыне (ст. 3С) - 32 мкг/г сухого веса;  
Швянтойи (ст. 3Ш) - 36 мкг/г сухого веса;  
Клайпеда (ст. 1К) - 13 мкг/г сухого веса.

Во время наблюдений на втором этапе (20-21 декабря) температура воды на исследуемых станциях прибрежной части моря снизилась, поверхностный слой характеризовался изменениями температуры от 0,60 до 3,75°C (разрезы Швянтойи, Смилтыне соответственно). У дна температура воды несколько выше, пределы изменения 1,78...4,03°C (разрезы Паланга, Смилтыне). Распределение солености более равномерное, чем в начале месяца, пределы колебания в поверхностном слое 5,84...8,56‰ (разрез Швянтойи). У дна диапазон изменения солености - 6,38...7,91‰, наибольшая на глубине 10 м (разрез Смилтыне).

Кислородный режим и в это время был в пределах нормы, изменялся от 84 до 105% насыщения по всей толще воды, по абсолютным величинам содержание растворенного кислорода в основном больше 10 мг/л. Распределение кислорода по вертикали более равномерное по сравнению с началом декабря, сказывалось хорошее продолжительное перемешивание. Значения pH менялись от 7,5 до 8 в соответствии с изменением кислородного режима.

При повторном обследовании 20-21 декабря концентрация НУ была заметно выше: в 17 из 32 отобранных проб (53%) концентрация НУ превышала ПДК (0,05...0,52 мг/л, или 1...10 ПДК). Наибольшая концентрация (0,52 мг/л) обнаружена на разрезе Швянтойи (ст. 3ш, горизонт 10 м), повышенным уровнем загрязнения (0,05...0,20 мг/л, или 1...4 ПДК) выделялась также зона Гируляй-Нада.

Необходимо отметить, что до аварийного разлива мазута в восточной части Балтийского моря (7-13 ноября, НИС "Океанограф") концентрация нефтяных углеводородов во всей толще не превышала 0,02 мг/л, в донных отложениях - 6,8...28 мкг/г сухого веса.

26 ноября были проведены микробиологические исследования в северной части Куршского залива. Определялась общая численность микроорганизмов и численность индикаторных микроорганизмов.

Общая численность микроорганизмов менялась от  $2,0 \cdot 10^5$  до  $4,0 \cdot 10^5$  кл/мл, нефтеокисляющая и ксилоокисляющая микрофлора не была выявлена. 9 декабря были исследованы пробы воды со ст. I в прибрежной части моря района г. Клайпеды. Общая численность микроорганизмов составила по горизонтам:

0...0,02 м -  $1,7 \cdot 10^5$  кл/мл;  
0,5 м -  $1,1 \cdot 10^5$  кл/мл;  
10 м -  $2,6 \cdot 10^4$  кл/мл.

Вертикальное распределение численности нефтеокисляющей и ксилоокисляющей микрофлоры было равномерным и соответствовало наблюдениям, заметных изменений в связи с разливом нефти не обнаружено и требуется дальнейший микробиологический контроль вод.

Из анализа химического состояния вод залива и прибрежной части моря видно, что загрязнение мазутом после аварии танкера "Глобе Асиями" не оказало существенного влияния на изменение и распределение гидрохимических показателей вод. Мазут - самая тяжелая фракция нефтепродуктов, плохо растворимая в воде, особенно при низких температурах, которые наблюдались после разлива. Гидрометеорологические условия во время разлива и после способствовали хорошему перемешиванию во всей толще вод, и поэтому создававшаяся пленка мазута не покрывала всю акваторию и не препятствовала поступлению и растворению кислорода.

Уровень загрязнения нефтяными углеводородами северной части залива в прибрежном районе все же значительный по сравнению с этим же периодом времени прошлого года и с другими сезонами этого года - до 19 ПДК в Клайпедском проливе, до 10 ПДК в прибрежной части моря в зоне распространения вод залива.

Для изучения последствий разлива мазута с танкера "Глобе Асиями" ИО АН СССР были проведены детальные исследования загрязненности водной толщи и донных осадков в районе аварии до 10-метровой изобаты в апреле, июле и октябре 1982 г.

Отбор, подготовку и лабораторный анализ проб проводили по стандартным методикам, опубликованным в /72/. Нефтепродукты после экстракции из двух литров морской воды четыреххлористым углеродом выделяли с помощью колоночной хроматографии на окиси алюминия, их концентрацию определяли ИК-методом.

Кроме того, для определения состава растворимых органических соединений (ОС) параллельно на отдельных станциях их экстрагировали из 20 л морской воды /55/.

Донные осадки отбирали дночерпателем "Океан". ОС из влажных проб экстрагировали последовательно ацетоном и хлороформом /46/. Отдельные фракции ОС выделяли с помощью колоночной хроматографии на силикагеле, элюируя алифатические углеводороды гексаном, а смолы - бензолом и спиртобензолом (1:1). Более подробный состав ОС определяли с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках "Силуфол" в системе гексан: диэтиловый эфир: уксусная кислота с денситометрическим окончанием.



Данные настоящей работы основаны на анализе 311 проб воды, отобранных с разных горизонтов и поверхностного микрослоя (ПМС) и 36 проб верхнего слоя донных осадков. Схема станций приведена на рис. 4.9.

Нефтяные пленки были обнаружены лишь в апреле в Куршском заливе на территории Клайпедского порта и в районе Лиепай. Происхождение этих пленок связано скорее всего не с аварийным разливом мазута, а с последующей эксплуатацией судов и прочими промышленными выбросами. Так, нефтяной сляк на ст. 79Г диаметром 2,8 км, по-видимому, свежее загрязнение, о чем свидетельствует радужный цвет пятна и к тому же концентрация нефтепродуктов в подповерхностном слое воды на этой станции (0,16 мг/л) ниже, чем на соседних станциях (0,23 и 0,24 мг/л).

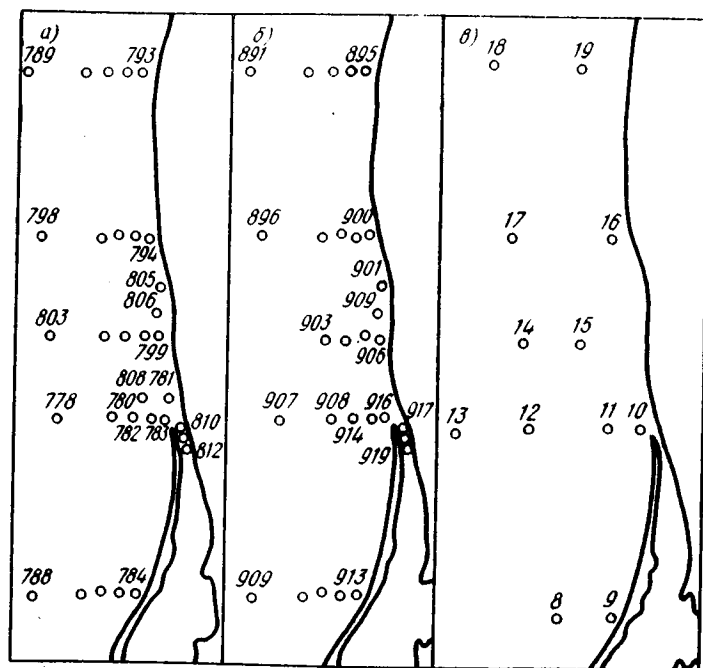


Рис. 4.9. Схема станций Клайпедского полигона: а - апрель, б - июль, в - октябрь 1982 г.

Траление смоляных образований по всей площади полигона не привело к положительным результатам, т.е. этот вид загрязнения в данном районе отсутствовал. В апреле содержание нефтепродуктов в толще

воды - в среднем 0,25 мг/л (табл. 4.3) - по сравнению с послеаварийным периодом несколько снизилось, но превышало еще фоновое значение в 5...12 раз. По-видимому, это связано с тем, что в зимне-весенний период при низких температурах разложение нефтепродуктов происходит медленно и они накапливаются в толще воды. Кроме того, весенние паводки могли вызвать повторное загрязнение исследованной акватории мазутом, оставшимся на побережье и причальных сооружениях Клайпедского порта.

Распространение загрязнения на полигоне находилось в соответствии с гидрологическим режимом района и определялось стоком пресных вод из Куршского залива и береговыми течениями, поэтому зона наиболее высоких концентраций (0,2 мг/л) распространялась вдоль побережья и в центральную часть исследуемой акватории (рис. 4.10).

Таблица 4.3

Содержание растворенных малополярных соединений в водах Клайпедского полигона до изобаты 10 м

Время наблюдений	Глубина, м	Количество проб	Концентрация, мг/л	
			средняя	квадратичное отклонение
Апрель	ПМС	29	2,61	7,05
	I	36	0,26	0,25
	IO	25	0,21	0,17
Июль	Придонный слой	31	0,21	0,18
	I	26	0,17	0,14
	IO	20	0,15	0,18
Октябрь	Придонный слой	26	0,16	0,18
	ПМС	6	0,36	0,22
	I	7	0,09	0,06
	Придонный слой	6	0,15	0,04

С увеличением глубины содержание нефтепродуктов практически не снижалось. В придонных водах более четко прослеживалась приуроченность зоны загрязнения к берегу, что находится в соответствии с процессами современной седиментации в зоне геохимического барьера река - залив - море.

К июлю распределение загрязнения в воде стало более равномерным, а зоны повышенных концентраций заметно сократились. Сравнение результатов апрельской и июльской съемки показало, что на десять процентов возросло число проб с концентрациями, не превышающими ПДК, и на 25% сократилось число проб с содержанием нефтепродуктов

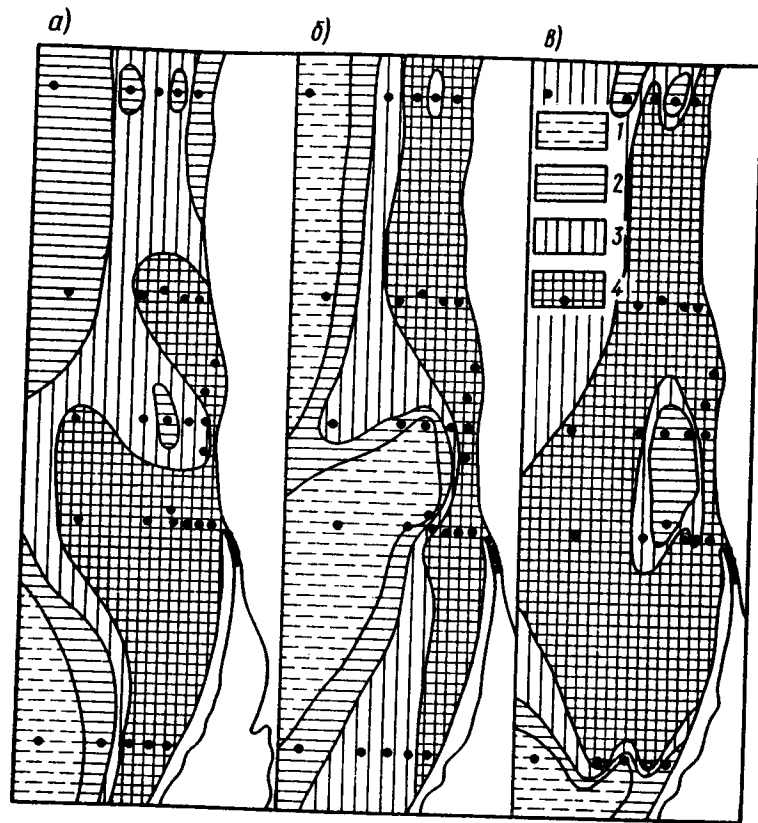


Рис. 4.10. Распространение нефтепродуктов в воде в апреле 1982 г. Горизонты:

а - 1 м, б - 10 м, в - придонный слой; концентрации, мг/л: 1 - 0,05; 2 - 0,05...0,10; 3 - 0,10...0,20; 4 - 0,20

более 0,2 мг/л (рис. 4.11). Наибольшему очищению подвергся придонный слой, что может быть результатом фильтрующей деятельности бентосных организмов. Если в апреле концентрации выше 0,05 мг/л были отмечены лишь на самых морских станциях разреза Нада, то летом они уже встречаются вблизи Клайпедской бухты.

Таким образом, к осени произошло дальнейшее снижение загрязнения, концентрации нефтепродуктов в воде почти приблизились к доаварийному фоновому уровню. Наиболее высокое содержание нефтепродуктов отмечено в районах, связанных с эксплуатацией судов, т.е. происходит хроническое загрязнение водной толщи этого района.

В июне и августе-сентябре ГОИН и Клайпедская ГМО провели детальное обследование побережья от Ниды до Лиепая в зоне глубже 10-метровой изобаты и протяженностью в море на 30 км, а также северной части Куршского залива по схеме станций, представленных на рис. 4.12, 4.13. В программу работ входили стандартные гидрологические и гидрохимические наблюдения, НУ определялись в воде, ПМС и в донных отложениях.

Анализ наблюдений в июне по стандартной гидрохимии показал удовлетворительное сезонное распределение кислорода и биогенных веществ в толще воды и в ПМС, причем в открытых районах моря фактор концентрирования в ПМС биогенных веществ составил для фосфатов 6, для общего фосфора - 2,2, для силикатов - 1,3, для нитритов - 3,7, для нитратов - 2,1, для аммонийного азота - 4 и для общего азота - 2.

Содержание НУ в толще воды в районе обследования было незначительным (0...50 мкг/л), за исключением ст. 42, где концентрация НУ в однометровом слое воды составляла 488 и 296 мкг/л в придонном (10 и 6 ПДК соответственно). Содержание НУ в ПМС изменялось в пределах 46...1152 мкг/л, причем наибольшее содержание НУ в ПМС соответствовало прохождению судоводных трасс на Клайпеду и Лиепая.

По нефтяному загрязнению в июне выделялся разрез от Папесцямса, где повышенный уровень НУ наблюдался не только на ст. 42, но и по всему разрезу. Кроме того, на ст. 42 обнаружен самый высокий уровень загрязнения донных отложений (1 мг/г) и наблюдалась некоторая аномалия в распределении органических форм азота и фосфора (увеличение их концентраций с глубиной) и уменьшение фосфатов до аналитического нуля в придонных горизонтах (станции 29, 30, 42 и 43), что может свидетельствовать о снижении окислительных процессов при 100%-ном насыщении воды кислородом.

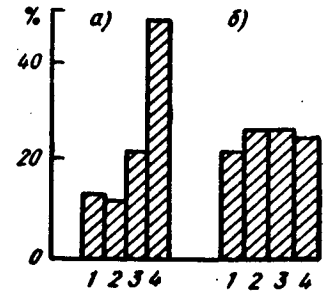


Рис. 4.11. Гистограмма распределения концентраций нефтяных углеводородов в воде:

а - апрель, б - июль 1982 г.

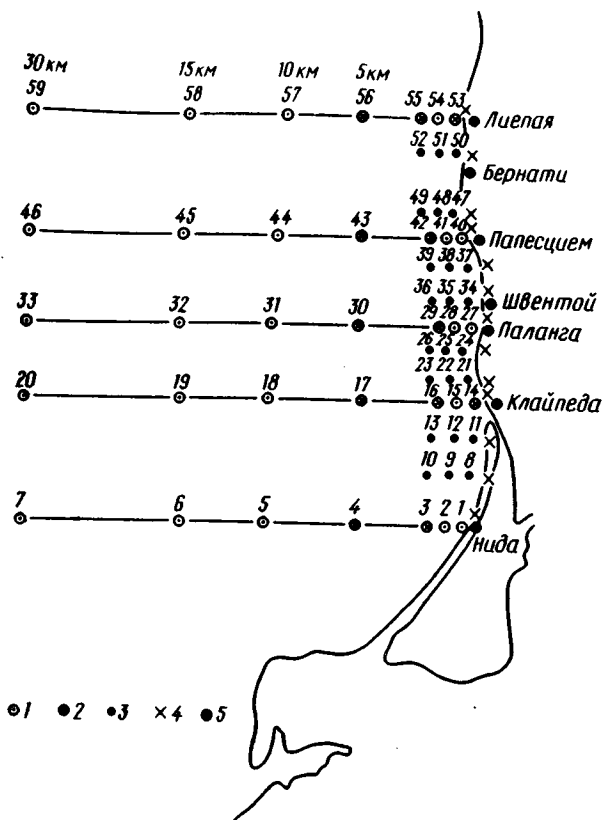


Рис. 4.12. Карта-схема расположения станций отбора проб в Балтийском море:

1 - станция отбора проб воды и донных отложений; 2 - станция отбора гидробиологических проб; 3 - станция отбора донных отложений; 4 - станция отбора грунта с пляжа; 5 - населенные пункты

В северной части Куршского залива содержание НУ в водном слое изменялось в пределах 25...75 и 200...213 мкг/л в устьевой области р. Неман, причем пространственное распределение НУ и их концентрации в воде были идентичны аналогичному периоду 1981 г. Содержание НУ в ПМС изменялось в пределах 250...2752 мкг/л, более высокие концентрации (1200...1500 мкг/л) наблюдалась в районе продвижения пресных вод (станции 12а, 3 и 5). Максимальная концентрация 2752 мкг/л отмечена в районе порта и может быть объяснена постоянным поступлением нефти и нефтепродуктов с судов.

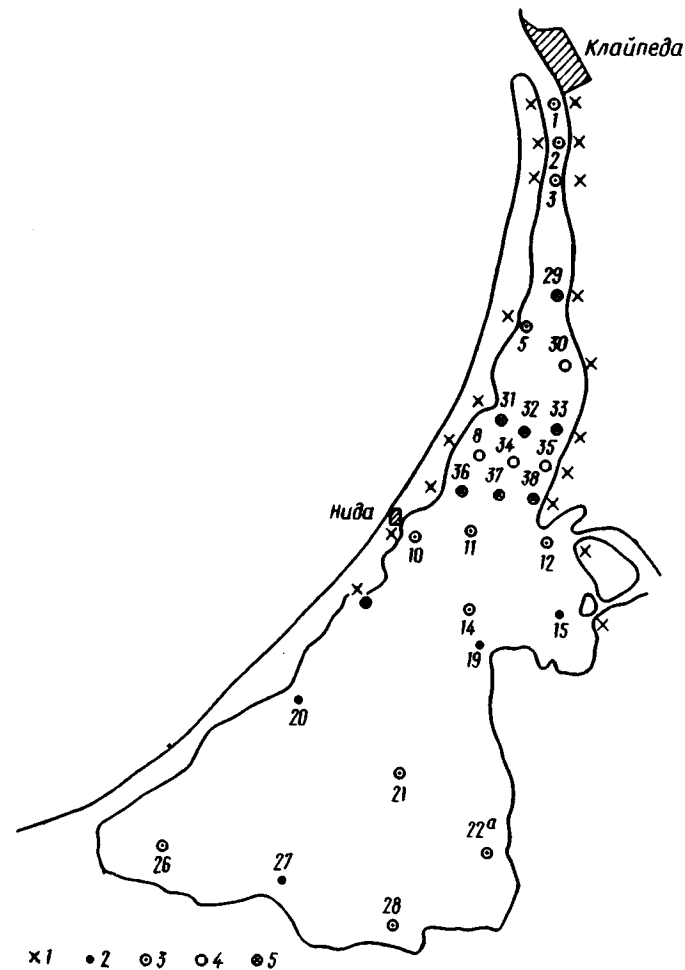


Рис. 4.13. Карта-схема расположения станций отбора проб в Куршском заливе:

1 - станции отбора грунта с пляжа; 2 - станция ОГСНК (полная программа); 3 - станция ОГСНК (сокращенная программа); 4 - станция отбора проб воды и донных отложений; 5 - станция отбора гидробиологических проб

Содержание нефтепродуктов в донных отложениях в Балтийском море изменялось в пределах < 10...15 мкг/л, в Куршском заливе - < 10...500 мкг/л. Исключение составляли станции 42 (1000 мкг/л) и

30 (500 мкг/л) на побережье Балтийского моря и ст. I (1000 мкг/л) - в Куршском заливе.

В августе содержание НУ в ИМС в районе Нида - Лиепая снизилось до 0...350, в Куршском заливе до 75...425 мкг/л, т.е. снизилось в три и пять раз соответственно по сравнению с июнем 1982 г. Содержание НУ в водном слое снизилось до пределов обнаружения и лишь на двух станциях (у Ниды и Лиепая) составляло 50 мкг/л.

Динамика уровня загрязненности НУ в районе обследованная за весь период наблюдения представлена в табл. 4.4, причем в ней отдельно рассмотрены отмельные и приглубые районы.

Таблица 4.4

Динамика уровня загрязненности НУ в районе разлива

Дата наблюдения	Средняя концентрация НУ, мкг/л		Температура воды, °С
	в районе в целом	в районе Папесциемса и отмельных районах	
3 XII 1981	220	810	0
18 II 1982	30	-	1
26 III 1982	40	-	2,5
IУ 1982	-	250	-
VI 1982	70	200	16
VII 1982	-	160	-
VIII 1982	50	50	18
	(10)	(10)	

Таким образом, через 12 дней после разлива в районе в целом уровень загрязненности возрос в 22 раза и в 81 раз в районе наибольшего внутримассового загрязнения. Затем, по наблюдениям Клайпедской ГМО, в течение зимних месяцев уровень загрязненности толщ вод НУ снизился в 7...5 раз, однако превышал фоновый уровень загрязнения в 3...4 раза. В июне, с повышением температуры воды, наблюдался естественный рост концентраций НУ за счет вторичного загрязнения, с одновременным усилением окислительных процессов, что привело в августе 1982 г. к снижению загрязненности водной толщи до уровня, наблюдавшегося до разлива.

В наиболее загрязненных отмельных районах процессы самоочищения преобладали и, как видно из табл. 4.4, в них наблюдалось монотонное уменьшение концентраций НУ.

В Куршском заливе в сентябре в водном слое содержание НУ изменялось в пределах 13...175 мкг/л (максимум отмечен в поверхностном слое на ст. I - в районе порта), снижение уровня загрязненности до фонового произошло только в ноябре 1982 г. Содержание бенз(а)пирена соответствовало фоновому.

Органические соединения, выделенные из морской воды, не соответствовали составу мазута, собранного на побережье. Доля углеводов в большинстве проб меньше 50% (диапазон колебаний 5,2...53,7%). Основу органических соединений составляют смолы, а среди них - полярные спиртобензолные компоненты (табл. 4.5).

Более подробный анализ состава ОС, проведенный методом тонко-слойной хроматография в сочетании с денситометрией, позволил выделить шесть классов веществ: полярные соединения (П), углеводороды (УВ), жирные кислоты (ЖК), триглицериды (ТГ), стераны (СТ), спирты (СП). В прибрежных, наиболее загрязненных районах (станция 900 и 901) доля полярных соединений составила 67...68%, при меньшем загрязнении (станции 907 и 913) повышается доля углеводородов.

Нефтепродукты, попадая в море, включаются в ряд сложных физико-химических и биохимических процессов, приводящих к распределению их по различным формам миграции и сопровождающихся изменением их первоначального состава. Под действием химических и биохимических факторов все формы изменяются во времени как по количеству содержащихся в них нефтепродуктов, так и по соотношению между отдельными классами соединений (УВ, окисленные компоненты). Интенсивность и характер изменений определяется главным образом протекающими в морской среде биохимическими процессами /73/. Исследование устойчивости различных классов УВ показало, что наиболее легко подвергаются окислению насыщенные прямоцепочечные соединения, затем насыщенные с разветвленной цепью и ароматические. В процессе химического окисления в результате уплотнения структур и окислительной конденсации происходит образование смол и асфальтенов. С другой стороны, при биохимической трансформации биогенного органического вещества в морской среде стабильность соединений возрастает в ряду углеводороды > аминокислоты > каротиноиды > порфирины > углеводороды /26/. В качестве исходных продуктов при образовании углеводородов рассматриваются жирные кислоты и спирты. Суммирование этих двух процессов, по-видимому, приводит к тому, что в более загрязненных прибрежных районах возрастает доля неуглеводородных компонентов, а с удалением от берега и уменьшением загрязненности УВ увеличивается.

Исследование состава алканов методом ГХ (табл. 4.6) показало, что в большинстве проб доминируют высококипящие компоненты (C<sub>25</sub>-C<sub>31</sub>), но в прибрежных водах на отдельных станциях резко

Содержание и состав растворенных органических соединений

Таблица 4.5

№ стан- ция	Горь- зонт, м	Концентрация, мг/л	Групповой состав, %				Групповой состав, %					всего в фицро- вые со- единения	
			суммар- ная	мало- поляр- ные соедя- нения	УВ	бен- зол- ные смоли	спирто- бен- зольные смоли	поляр- ные соедя- нения	угле- водо- роды	жирные кисло- ты	тригли- цериды		стерины спирты
Апрель													
788	I	0,10	0,04	24,7	17,0	58,3							
789	I	0,17	0,07	46,2	7,6	46,2							
790	ПМС	2,52	0,42	5,2	8,8	86,0							
793	I	0,29	0,08	31,2	31,2	37,6							
794	I	0,33	0,24	19,3	12,4	68,2							
798	I	0,43	0,13	39,5	14,0	46,5							
810	ПМС	4,64	1,04	30,8	28,2	41,0							
Июль													
895	I	0,53	0,13	6,0	26,4	67,6							
899	I	0,31	0,29	24,0	19,3	56,6							
Апрель													
900	I	0,42	0,30				33,6	28,9	16,0	12,1	2,8	7,1	0,5
901	I	0,30	0,24				66,6	7,8	4,3	16,2	2,0	2,4	0,6
Июль													
902	I	0,26	0,10	35,6	15,6	48,9							
905	I	0,32	0,18	39,2	23,5	37,2							
906	I	0,22	0,08	20,0	10,0	70,0							
907	I	0,11	0,06				30,0	24,2	24,5	17,4	3,1	0,8	-
913	I	0,10	0,05				67,7	4,4	9,2	4,8	8,3	5,6	-

№ стан- ция	Горизонт, м	Тип осадка	Соотношение алканов					Основные пикс
			СР1 (C <sub>13</sub> -C <sub>37</sub> )	СР1 C <sub>25</sub> -C <sub>30</sub>	$\frac{\sum(C_{19}-C_{24})}{\sum(C_{25}-C_{35})}$	$\frac{\sum(C_{21}-C_{22})}{\sum(C_{28}-C_{29})}$	$\frac{i-C_{19}}{i-C_{20}}$	

Алканы воды

Апрель

789	I		1,06	1,10	0,24	0,17	-	C <sub>26</sub> -C <sub>29</sub>
790	ПМС		1,12	1,15	0,88	1,38	0,50	C <sub>23</sub> -C <sub>24</sub>
793	I		1,12	1,04	0,47	0,38	0,67	C <sub>24</sub> -C <sub>28</sub>
794	I		1,03	0,96	0,40	0,69	-	C <sub>29</sub> -C <sub>32</sub>
798	I		1,02	1,04	0,37	0,42	2,25	C <sub>24</sub> -C <sub>28</sub>
810	ПМС		0,98	1,04	0,37	0,42	2,25	C <sub>26</sub> -C <sub>29</sub>

Алканы донных осадков

Апрель

782	0...5	Алеврит	0,80	0,93	0,42	0,29	-	C <sub>24</sub> , C <sub>26</sub> , C <sub>28</sub>
784	0...5	Песок	1,07	1,03	0,89	1,18	0,45	C <sub>23</sub> -C <sub>25</sub>
785	0...5	"	1,12	1,22	0,29	0,47	0,31	C <sub>27</sub> , C <sub>29</sub>
786	0...5	Песчано- гравийная смесь	1,12	1,22	1,11	1,72	2,48	C <sub>22</sub> , C <sub>23</sub>
790	0...2	То же	1,10	1,30	0,85	1,07	0,89	C <sub>22</sub> , C <sub>25</sub> , C <sub>27</sub>
793	-	Суглинок с мазутом	0,93	0,95	0,58	0,86	0,73	C <sub>29</sub> -C <sub>31</sub>
810	0...3	Супесь	1,38	1,65	6,12	4,44	0,99	C <sub>17</sub> , C <sub>18</sub> , C <sub>21</sub> , i-C <sub>19</sub> , i-C <sub>20</sub>
812	0...5	Ил	1,18	1,22	0,32	0,64	1,00	C <sub>23</sub> , C <sub>29</sub> , C <sub>31</sub>
891	0...3	Песчано- гравийная смесь	0,98	0,92	1,33	1,67	0,88	C <sub>21</sub> , C <sub>25</sub> , C <sub>26</sub>
896	0...5	Песок-	1,28	1,38	1,25	0,66	-	C <sub>17</sub> , C <sub>18</sub> , C <sub>25</sub> , C <sub>27</sub>
909	0...2	Песчано- гравийная смесь	1,12	1,23	0,58	0,35	0,66	C <sub>20</sub> , C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub>
915	0...3	Алеврит	1,07	1,37	0,79	0,54	0,57	C <sub>18</sub> , C <sub>25</sub> , C <sub>29</sub>
919	0...5	Ил	1,08	1,12	0,56	0,42	0,83	C <sub>23</sub> , C <sub>27</sub> , C <sub>29</sub>

возрастает доля низкомолекулярных гомологов, в основном за счет гептадекана, имеющего биогенное происхождение /26, IOI/. В то же время низкие значения индекса нечетности (0,80...I,28), наличие фатана и неразделенных ГЖ соединений могут указывать на присутствие нефтяных углеводородов.

В донных осадках нефтяные комки были обнаружены в апреле на двух станциях: в Клайпедском порту - ст. 810 и в районе порта Лиешая - ст. 793. Скорее всего наличие этих нефтеостатков связано не с аварией, а с хроническим загрязнением портовых акваторий нефтепродуктами, так как комки представляли собой твердые выветренные сгустки, покрытые бактериальной пленкой.

Содержание ОС в донных отложениях изменялось в большом диапазоне. Так, в апреле диапазон концентраций составил 55...4837 мкг/г сухого веса (табл. 4.7). Наиболее высокие концентрации приурочены к портовым районам, что, несомненно, свидетельствует о влиянии нефтяных загрязнений на распределение органических веществ в верхнем слое донных осадков. В этих районах флуктуация концентраций достигают больших величин, например, в восемь раз изменялось содержание

Таблица 4.7

Содержание и состав органических соединений в донных осадках

№ стан-ция	Горизонт, см	Тип осадка	Содержание ОС, мкг/г сухого веса	Групповой состав, % от содержания ОС		
				УВ	бензолы-ные смо-лы	спиртобен-зольные смолы
1	2	3	4	5	6	7

## I. Апрель

779	0...5	АК	184,2	18,4	20,4	61,2
781	0...5	ПМ	144	16,7	16,7	66,6
782	0...5	АК	738	39,7	3,4	56,9
783	0...3	Суглинок	182	14,8	14,8	70,4
784	0...5	ПМ	102	20,0	20,0	60,0
785	0...5	ПС	100	16,0	36,0	48,0
786	0...5	ПГС	115	21,2	34,0	44,6
788	0...2	ПГС	71,7	5,1	5,1	89,8
789	0...3	ПМ -АК	528	7,9	4,6	87,5
790	0...2	ПГС	184	24,6	13,1	62,3
793	-	Суглинок с мазутом	4837	58,3	35,3	6,9

1	2	3	4	5	6	7
798	0...5	ПМ	85	22,5	2,5	75,0
802	0...2	ПМ-АК	140	28,6	12,8	58,6
804	0...5	ПМ-АК	131	14,2	5,2	80,6
806	0...2	ВГО	55	18,2	19,7	62,1
810	0...3	Супесь с мазутом	825	41,8	16,0	42,2
811	0...3	Суглинок	110	16,7	9,2	74,1
812	0...5	ИМА	407	18,2	8,9	72,9
2. Июль						
891	0...3	ПГС	47	38,8	8,2	53,0
896	0...5	ПМ	59	20,3	0	79,7
901	0...5	ПМ	104	25,0	18,8	56,2
903	0...2	ПМ-АК	232	6,2	7,0	86,8
908	0...5	ПМ	73	20,6	11,1	68,3
909	0...2	ПГС	23	41,7	16,6	41,7
911	0...3	ПГС	24	Не определялось		
912	0...3	ПГС	16	То же		
913	0...5	ПМ	37	36,4	30,3	33,3
915	0...3	АК	125	13,0	23,6	63,4
916	0...2	Суглинок	72	40,7	20,2	39,0
918	0...2	"	30	83,3	8,3	8,3
919	0...5	ИМА	206	15,8	15,2	68,9

Примечание. АК - алевроит крупный, ПМ - песок мелкий, ПС - песок средний, ПГС - песчано-гравийная смесь, ВГО - валунно-галечная отмостка, ИМА - ил мелкоалевритовый.

ОС на трех близлежащих станциях в пределах акватории Клайпедского порта (110...825 мкг/г). Столь большая дисперсия данных связана с неравномерным поступлением загрязнения в осадки разного типа. Наиболее высокие концентрации ОС наблюдались в тонкодисперсных осадках - мелкоалевритовых илах, моренной супеси и крупных алевроитах (407...825 мкг/г). Их количество понижалось в песках и в песчано-гравийной смеси (71...182 мкг/г). Довольно низкое содержание ОС приурочено к выходам плейстоценовых пород - морским суглинкам и моренным отложениям (55...182 мкг/г).