



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

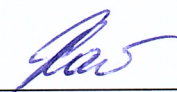
На тему Особенности трансформации нефти в морской среде при различных гидрометеорологических условиях

Исполнитель Силачева Светлана Максимовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«11» мая 2023г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Введение.....	2
Глава 1. Нефтяное загрязнение Мирового океана.....	3
1.1 Современное состояние загрязненности Мирового океана нефтью... 3	
1.2 Виды нефти, состав и физические свойства.....	11
1.3 Деградация нефти в морской среде.....	14
1.4 Поведение нефти в ледовых условиях.....	18
Глава 2. Состояние загрязненности нефтепродуктами Черного и Балтийского морей.....	23
2.1 Физико-географическая характеристика Черного и Балтийского морей	23
2.2 Анализ изменчивости загрязненности вод Черного и Балтийского морей по многолетним данным.....	31
Глава 3. Моделирование изменения свойств нефти в воде в Черном и Балтийском морях.....	41
3.1. Описание модели ADIOS2	41
3.2. Анализ результатов.....	43
Заключение	57
Список использованной литературы	58

Введение

Загрязнение Мирового океана нефтью является важной экологической проблемой современности. Нефть - это опасный загрязнитель, который может иметь серьезные последствия для жизни морской флоры и фауны, а также влиять на способность морских организмов к обмену веществ.

Такая экологическая катастрофа приводит к уменьшению количества рыбных запасов, ухудшению качества воды, повреждению рифов и экосистем.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), на сегодняшний день около 10% нефтепродуктов, потерянных во время транспортировки и хранения, попадает в мировые океаны. Последствия аварий на нефтяных платформах и танкерах наносят огромный ущерб биологическим системам моря.

Данная проблема особенно актуальна для внутренних морей, где сильно развито судоходство, являющееся основным источником нефтяного загрязнения в развитых промышленных прибрежных городах. Именно поэтому необходимость проведения мониторинга и анализа уровня загрязненности для таких акваторий представляет актуальную задачу.

Цель данной работы – исследовать как будет происходить трансформация нефти в морской среде при различных гидрометеорологических условиях. Для этого в работе использовалась модель ADIOS2.

Глава 1. Нефтяное загрязнение Мирового океана

1.1 Современное состояние загрязненности Мирового океана нефтью

Случаи экологических катастроф, связанных с разливом нефти, происходят по всему миру. За последние десятилетия произошло несколько крупных нефтяных утечек, таких как катастрофа танкера Exxon Valdez в 1989 году, а также взрыв платформы Deepwater Horizon в 2010 году, в результате которой в Мексиканском заливе было разлито около 5 миллионов баррелей нефти. Эти события показали, что проблема нефтезагрязнения Мирового океана остается до сих пор актуальной и требует серьезных мер для ее решения.

Одна из главных причин загрязнения Мирового океана нефтью - это несоблюдение правил и норм экологической безопасности на морских объектах. Некоторые компании, занимающиеся добычей нефти и газа, предпочитают экономить на мерах безопасности, несмотря на огромные риски и возможные последствия.

Другой важной проблемой является отсутствие систематического мониторинга и контроля за условиями добычи нефти на море. Это приводит к тому, что многие случаи загрязнения Мирового океана нефтью остаются незамеченными и не докладываются соответствующим образом.

Для решения проблемы нефтяного загрязнения Мирового океана необходимо действовать на нескольких фронтах. Необходимо повысить требования к мерам безопасности на морских объектах и сделать их более жесткими и обязательными для всех. Также требуется создать сильные международные организации для проведения координированных действий и управления проблемой нефтезагрязнения Мирового океана.

Это серьезная экологическая проблема, которая требует серьезных усилий для ее решения. Необходимо принимать меры по улучшению средств безопасности на морских объектах и созданию системы контроля, чтобы избежать возникновения новых утечек нефти в будущем.

Источниками нефтяного загрязнения являются:

- **Выбросы судов:** нефтяные выбросы, вызванные авариями на судах, требующих перевозки нефти и нефтепродуктов.
- **Скрытые выбросы:** нефть, выброшенная с судов в результате несанкционированной разгрузки или переливания нефти в режиме стоянки судна.
- **Сверхмелкие скважины:** это место появления нефтяных загрязнений, связанных с погруженными сверхмелкими нефтяными скважинами (глубина меньше 150 м), которые могут находиться вблизи береговых линий.
- **Аварии на нефтепроводах и буровых платформах:** такие инциденты происходят как во время добычи нефти, так и при ее транспортировке.
- **Буровые отходы:** это отходы, содержащие органические и неорганические материалы, применяемые при бурении нефтяных скважин.
- **Нефтехимические промыслы:** загрязнение происходит в результате производственной деятельности в нефтехимической промышленности, включая производство удобрений, масел, битума и других продуктов.
- **Загрязнение природной стихией:** нефтяные выбросы и загрязнения могут также возникать в результате природных катастроф, таких как циклоны, ураганы, наводнения и землетрясения.

Вид операции/объем	Причины и число разливов			Всего
	Менее 7 тонн	7-700 тонн	Более 700 тонн	
Выгрузки				
Погрузка/разгрузка	2817	327	30	3174
Бункеровка	548	26	0	574
Другие операции	1177	55	1	1233
Аварийные ситуации				
Столкновение	167	283	95	545
Посадка на мель	232	214	117	563
Повреждение корпуса	573	88	43	704
Пожары и взрывы	85	14	30	129
Другие/неизвестные	2176	144	24	2344
Всего	7775	1151	340	9266

Рисунок 1. Основные причины разливов нефти и их количество [1]

Само распределение нефтяного загрязнения в Мировом океане зависит от многих факторов, ниже приведены примеры:

1. Расположение нефтяных месторождений и зон добычи нефти.
2. Количественные параметры (объемы и скорость выбросов) нефтяных загрязнений.
3. Течения Мирового океана и их интенсивность.
4. Волнение и соответствующее перемещение загрязнений.
5. Среднегодовая температура воды.
6. Концентрация солей в воде.
7. Состав подводной флоры и фауны.

Таким образом, распределение нефтяного загрязнения в Мировом океане может быть неравномерным и зависеть от очень многих переменных. Кроме того, наложение нескольких факторов может привести к ухудшению экологической ситуации в определенной зоне Мирового океана.

На рисунке 2 показана карта распределения нефтяных пятен в Мировом океане.

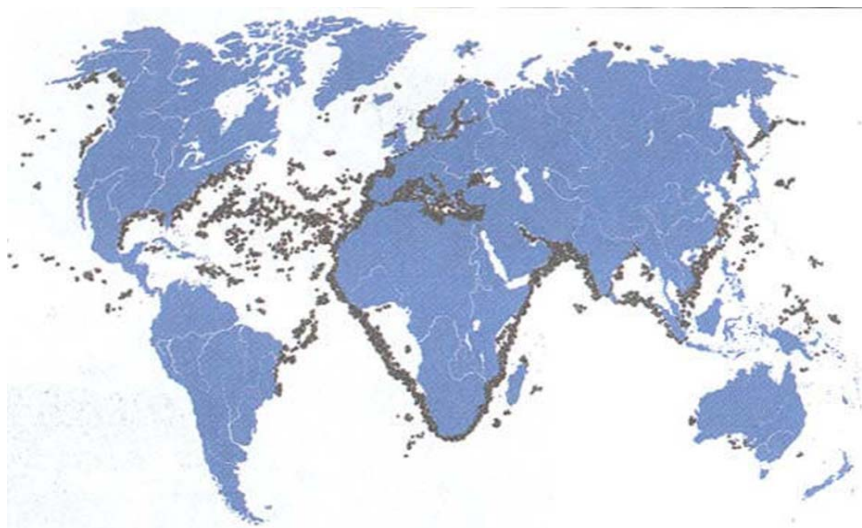


Рисунок 2. Распределение нефтяного загрязнения в Мировом океане [2]

Особенно крупное единовременное поступление нефтепродуктов

происходит в прибрежных районах, где по статистике случается большинство аварий (рисунок 3).

Район	Количество аварий
Мексиканский залив	267
Прибрежные районы США	140
Средиземное море	127
Персидский залив	108
Прибрежные районы Японии	60
Балтийское море	52
Прибрежные районы Англии и Ла-Манш	49
Малайзия и Сингапур	39
Западное и северное побережья Франции	30

Рисунок 3. Таблица количества аварий в наиболее судоходных районах [3]

“Рисунок 4 же представляет количество аварийных разливов нефти и объемы разливов в период с 2002 по 2016 годы на основе данных, предоставленных Береговой охраной США. Данные о разливах включают в себя аварии на судах, предприятиях и трубопроводах. Крупнейший разлив нефти Deepwater Horizon 2010 года не показан на рисунке, поскольку огромная величина его разлива (более 100 млн. галлонов) затрудняет сравнение с объемами разливов других лет” [4].

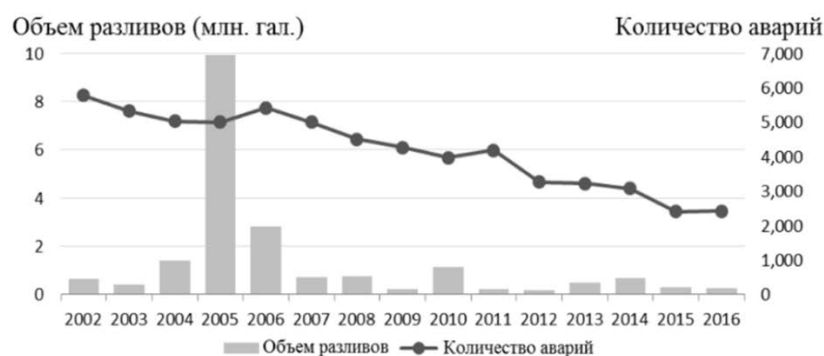


Рисунок 4. Количество и объемы разливов за период с 2002 по 2016 год (данные береговой охраны США)

“На рисунке 5, в свою очередь, сравниваются объемы разливов за более длительный период времени на основе тех же выбранных источников, которые были использованы для создания рисунка 4.

Рисунок 5 позволяет сделать вывод о том, что годовые объемы разливов нефти из всех источников в 1990-е годы значительно сократились по сравнению с предыдущими десятилетиями. Это историческое снижение может связано с Законом о загрязнении нефтью 1990 года (Oil Pollution Act – OPA), принятым после масштабного разлива нефти в результате аварии танкера Exxon Valdez в 1989 году. Данный закон от 1990 года внес всеобъемлющие изменения в законодательство США о нефтяных загрязнениях путем расширения федерального органа реагирования и увеличения ответственности за разлив нефти. Высокие затраты компании Exxon, связанные с разливом Exxon Valdez, и угроза широкой ответственности, налагаемой OPA (в некоторых случаях – неограниченная ответственность) являлись существенными факторами снижения объемов нефтяных разливов в 1990-е годы” [4].

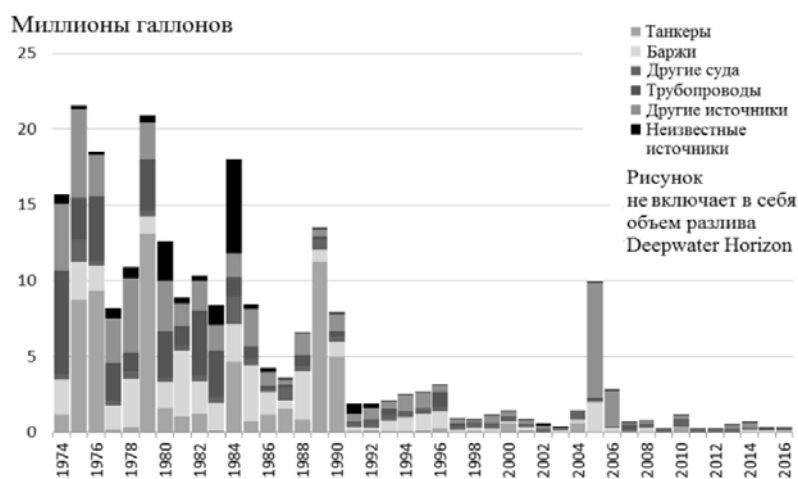


Рисунок 5. Объемы разливов за период с 1974 по 2016 год (данные береговой охраны США)

“Однако, несмотря на снижение количества и объемов разливов в результате малых и средних аварий, по-прежнему сохраняется угроза крупных

и крупнейших разливов. Это наглядно продемонстрировала авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе в 2010 году” [4].

Авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon произошла 20 апреля 2010 года в Мексиканском заливе. Во время бурения скважины произошел взрыв, что привело к катастрофическому обрушению платформы и потере 11 человеческих жизней. В результате аварии произошел крупнейший в истории США разлив нефти, вылившейся в Мексиканский залив. Платформа Deepwater Horizon была арендована компанией British Petroleum (BP) для бурения скважин в нефтяном месторождении Макондо.

Специалисты проводили работы по зачистке и предотвращению нефтяного разлива больше трех месяцев. За это время из скважины вытекло около 4,9 миллиона баррелей нефти. В августе удалось закончить работы по затоплению скважины, но нефть продолжала выходить на поверхность океана в течение многих недель. Авария вызвала значительный экологический ущерб, включая потерю жизни многих морских животных и разрушение местной экосистемы.



Рисунок 6. Тушение платформы в Мексиканском заливе. Апрель 2010 года

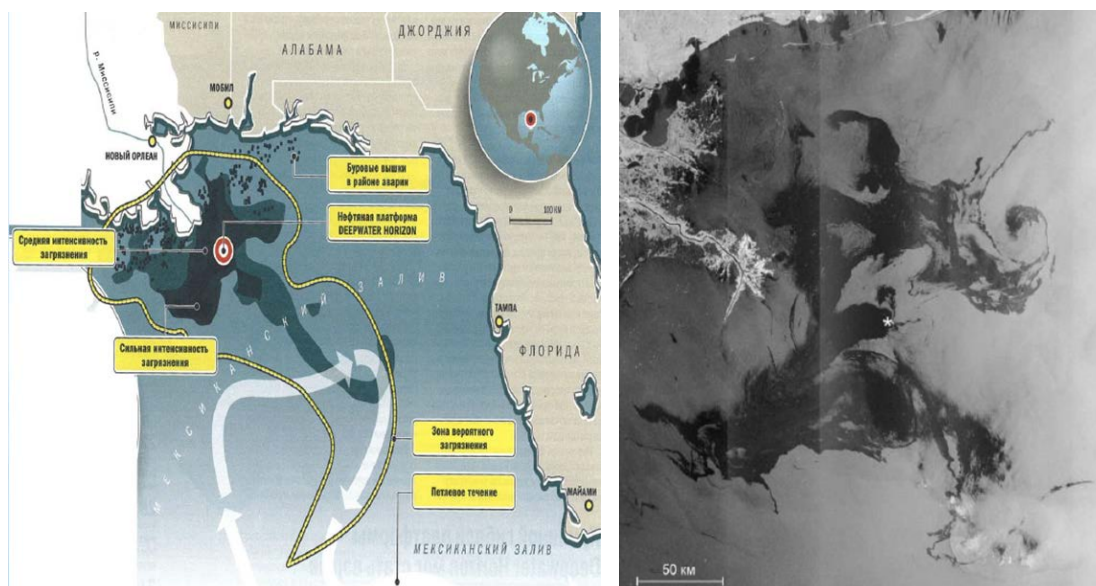


Рисунок 7,8. Схема распространения нефтяного пятна после аварии Deepwater Horizon и после попытки остановить выброс нефти из скважины Мексиканского залива

В результате аварии на нефтяной платформе Deepwater Horizon многие компании, включая BP, которая управляла платформой, были обвинены в несоблюдении безопасных условий работы и недостаточном контроле за процессом бурения. BP заплатила \$20 миллиардов в компенсацию за ущерб, причиненный экологии и экономике на местах. Кроме того, авария привела к ужесточению мировых правил и стандартов в области нефтяной добычи и бурения, с целью предотвращения подобных катастроф в будущем.

Следует также упомянуть об одной из первых нефтяных танкерных катастроф, оказавших большое влияние на окружающую среду – авария нефтеналивного танкера “Togreу Canyon”. Катастрофа произошла в марте 1967 года у побережья Корнуолла (Великобритания). Танкер перевозил более 100 тысяч тонн сырой нефти из Кувейта в Англию. Авария была вызвана техническим сбоем, связанным с управлением судном, а также ошибкой в навигационных расчетах. Во время плавания танкер наступил на риф, в результате столкновения скальный грунт проткнул корпус судна, что привело к

утечке сырой нефти в море. Значительная часть нефти была выброшена на берег и повлекла за собой масштабный экологический кризис.



Рисунок 9. Нефтетанкер “Torrey Canyon” до крушения



Рисунок 10. Нефтяной танкер “Torrey Canyon” расколовшийся на две части после столкновения с рифом у побережья Британии

Крупномасштабные работы по ликвидации последствий аварии были проведены силами Британских властей, а также специалистами из других стран. Были использованы различные методы сбора и очистки нефти, в том числе с помощью авиационных судов, а также судов с мощными насосными установками. В результате происшествия было загрязнено около 300 км побережья Франции и Великобритании. Тысячи морских животных погибли от

нефтяного загрязнения, а также от использования химических веществ для борьбы с нефтью.

Затопление танкера вызвало масштабную международную реакцию. Власти были вынуждены предпринимать активные меры по борьбе с экологическим ущербом. Судебный процесс в отношении владельцев и операторов "Torrey Canyon" продолжался многие годы. В результате были приняты меры по установлению строгих норм по безопасности морских перевозок нефти, а также по созданию международных механизмов для быстрого реагирования на экологические катастрофы на море. Авария на танкере "Torrey Canyon" стала первой крупномасштабной экологической катастрофой в мировом масштабе.

В России статистика о разливах нефти и нефтепродуктов ежегодно публикуется в государственных докладах Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации о состоянии и об охране окружающей среды. Согласно этим докладам ежегодно в стране происходит около 10 тысяч разливов на промысловых нефтепроводах [5].

1.2 Виды нефти, состав и физические свойства

Нефть - это природное полезное ископаемое, главным образом, углеводородное соединение, которое образуется при разложении растительной и животной материи в донных отложениях океанов, морей и озер. Нефть содержит в себе воду, растворенные газы, минеральные соли и прочие примеси, в примерно таких соотношениях: 83% углерода, 12% водорода, 1-3% серы, 1% кислорода, 1% металлов и 1% солей.

Существует несколько различных классификаций нефти по ее химическому составу и физическим свойствам. Один из наиболее распространенных методов классификации нефти основан на ее плотности и вязкости.

Согласно этому методу, нефть классифицируется на следующие классы:

- Легкая нефть (Light Oil) - имеет плотность меньше 900 кг/м³, низкую вязкость и высокое содержание легких углеводородов, таких как пропан, бутан и этилен. Добывается легче тяжелой и средней, перерабатывается. Обычно содержит меньше вредных примесей и остаточных продуктов, что делает ее более ценной и дорогой.

- Средняя нефть (Medium Oil) - имеет плотность от 900 до 1000 кг/м³, умеренную вязкость и содержит углеводороды средней молекулярной массы.

- Тяжелая нефть (Heavy Oil) - имеет плотность более 1000 кг/м³, высокую вязкость и содержит большое количество тяжелых углеводородов, которые делают ее более вязкой и сложной для добычи и переработки. Часто содержит больше серы, азота и металлов, что делает ее менее ценной и более вредной для окружающей среды.

Также нефть можно разделить на 2 большие группы: сырая нефть, добываемая из резервуаров, и продукты переработки, полученные путем дистилляции из сырой нефти для конкретных целей [6].

Сырая нефть - это необработанная смесь различных органических соединений, которые добываются из земли. Она содержится в специальных резервуарах - нефтеносных пластах, которые могут находиться на глубине от нескольких метров до нескольких километров. После добычи нефть проходит через процесс очистки от примесей, таких как газ, сера, вода и так далее. Затем она отправляется на переработку в нефтеперерабатывающие заводы, где получают различные нефтепродукты, такие как бензин, дизельное топливо, керосин и другие.

“Сырой нефти часто присваивают названия, относящиеся к географическому источнику, например, луизианская сладкая сырая нефть, арабская тяжелая. Сырая нефть с содержанием серы более половины процента считается кислой. Масла, добываемые из пласта, могут содержать растворенные газы и называются “живыми” маслами, в то время как масла, не обладающие этой характеристикой, называются “мертвыми” маслами. Сырая нефть содержит углеводороды, температура кипения которых колеблется от

160 °С до более чем 600°С. Нефтеперерабатывающие заводы используют этот вариант для переработки сырой нефти в полезные продукты” [6].

Физические свойства нефти:

- плотность;
- вязкость;
- температура застывания и вспышки;

Плотность нефти зависит от таких факторов, как её состав, температура, давление и наличие примесей. Средняя плотность сырой нефти составляет около 850 кг/м³, при этом она может варьироваться от 700 до 1000 кг/м³. Измеряется в единицах массы на объём (кг/м³ или г/см³). Для определения плотности нефти используются следующие методы: пикнометрический, расчетный, а также определение с помощью ареометра и денсиметра. Определение данного свойства является важным параметром при транспортировке, хранении и переработке нефти.

Вязкость нефти - это параметр, характеризующий ее способность сопротивляться потоку. Зависит от температуры, давления и состава нефти.

“Существует динамическая и кинематическая вязкости. Кинематическая вязкость измеряется площадью, деленной на время, а единицей измерения в системе СИ является Стоукс, названный в честь ирландского математика сэра Джорджа Габриэля Стокса, который помог разработать уравнение Навье-Стокса для потока жидкости. Динамическая вязкость, иногда называемая абсолютной вязкостью, представляет собой кинематическую вязкость, умноженную на плотность масла, что дает величину массы, деленную на произведение времени и расстояния. В нефтяной промышленности кинематическую вязкость традиционно измеряют по времени, необходимому для прохождения пробы нефти через вискозиметр определенного типа. Сегодня такие измерения встречаются реже” [6].

Вязкость нефти сильно зависит от ее состава. Например, нефть с высоким содержанием тяжелых фракций будет сильно вязкой, в то время как нефть с высоким содержанием легких фракций (например, газов) будет менее вязкой.

Температура также влияет на данный параметр. При ее повышении вязкость снижается. Это объясняется тем, что при увеличении температуры молекулы нефти начинают двигаться быстрее, что уменьшает силы притяжения между ними. Важно отметить, что вязкость нефти имеет большое значение для ее транспортировки через трубопроводы. Слишком вязкая может затруднять передвижение через трубы, в то время как слишком мало вязкая может сталкиваться с проблемой «подбирания» труб, что может привести к их повреждению и прекращению эксплуатации трубопровода.

Температурой застывания нефти считается температура, ниже которой нефть становится полутвердой и теряет текучесть. Застывание происходит в результате образования внутренних микрокристаллических структур.

“Температура вспышки – минимальная температура, при которой над поверхностью разлитой нефти образуются пары в достаточном количестве для создания воспламеняющейся смеси. Многие сорта свежеразлитой нефти могут легко воспламениться, пока не испарились и не рассеялись в атмосфере наиболее летучие фракции” [12].

1.3 Деградация нефти в морской среде

В первый момент после разлива нефти, попавшей в морскую среду, происходит ее распространение по поверхности раздела двух сред: морской воды и атмосферы. Физическое свойство нефти покрывать тонкой пленкой огромные акватории даже при сравнительно небольших разливах приводит к крайне негативным последствиям. При растекании пленки нефти по поверхности воды она образует мультимолекулярный слой, который может покрывать очень большие поверхности. Так, 100 – 200 л нефти могут покрыть 1 км² поверхности моря пленкой толщиной примерно 0,1 мкм. Уже через 10 мин после разлива 1 т нефти она распространяется на акватории в радиусе 50 м с толщиной слоя 110 мм, с последующим образованием более тонкой пленки (менее 1 мм) и покрытием акватории площадью до 12 км². 1 т нефти способна

образовывать сплошную пленку площадью 2,6 км² , а одна капля, соответственно, – около 0,25 м². При разливе большого количества нефти на поверхности моря образуется более толстая пленка. Если количество нефти невелико, на воде появляется радужная оболочка.

Покрывая тончайшей пленкой огромные участки водной поверхности, нефть нарушает кислородный, углекислотный и другие виды газового обмена в поверхностных слоях воды, пагубно воздействуя на флору и фауну. Она уменьшает проникновение света, препятствует фотосинтезу, уменьшает теплопроводность и теплоемкость. Поэтому наличие нефтяной пленки сказывается на процессе испарения. Так, на спокойной воде, из-за тонкого слоя нефти, испарение уменьшается в 1,5 раза, а при скорости ветра до 6-8 м/с – на 60 %. Экспериментально установлено, что за 1 час с поверхности океана в одну квадратную милю при наличии нефтяной пленки испаряется 45 т воды, в то время как при отсутствии ее – 97 т [7]. Токсичность в водной среде проявляется при концентрации более 1 мг/м³ . Опасность отравления нефтью возрастает с увеличением ее концентрации.

При попадании нефти или нефтепродуктов на поверхность водоема с ними начинают происходить сложные процессы: часть нефти или нефтепродуктов начинает испаряться, в процессе испарения из пятна разлива улетучиваются легкие составляющие нефти или нефтепродуктов и остаются более тяжелые. Испарение части нефти приводит к изменению ее свойств в пятне разлива и оказывает влияние на последующее поведение пятна. Нефть или нефтепродукты, находясь в условиях контакта с водой, начинают образовывать дисперсные системы разного типа (рис. 11) [8].

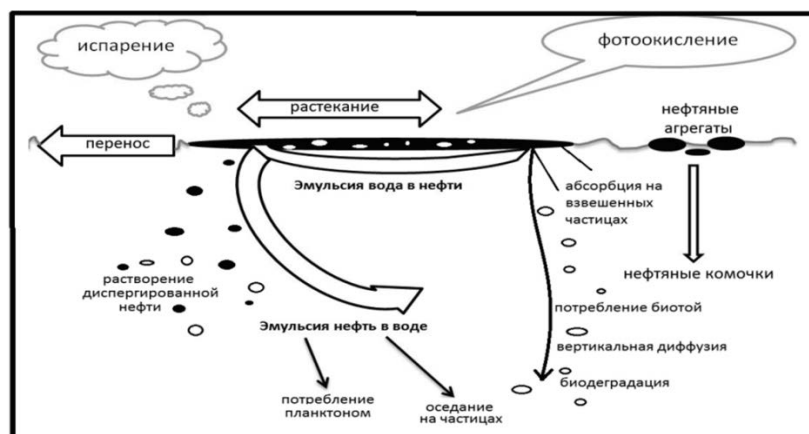


Рисунок 11. Совокупность основных процессов, которым подвергается нефть в водной среде

На рис.12 [8] показано преобладание основных процессов, происходящих с разлитой на воде нефтью в первые сутки после ее разлива.

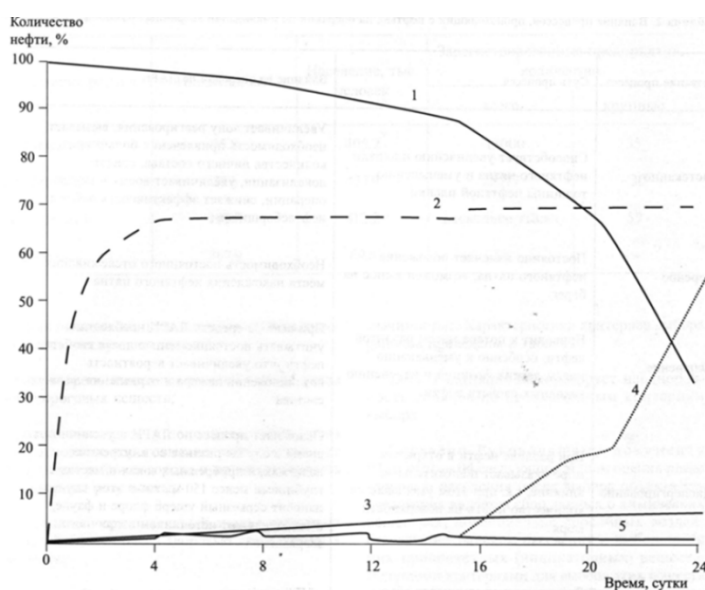


Рисунок 12. Преобладание основных процессов, происходящих с разлитой на воде нефтью в первые сутки после ее разлива: 1 - переход в водную фазу; 2 – естественное диспергирование; 3 - поверхностное растекание; 4 – затопление; 5 - испарение

“Ближе к слою образуется система типа «вода в нефти», в которой концентрация нефти больше, чем воды. Обычно эта дисперсная система

представляет собой очень устойчивую эмульсию, почти жестко структурированную систему. Устойчивость дисперсной системы будет определяться в том числе свойствами тех углеводородов, которые ее образуют. Ближе к воде возникает система типа «нефть в воде», в которой концентрация воды больше, чем нефти. Незначительная часть углеводородов, содержащихся в разлитой нефти, перейдет в растворенное состояние. Та часть разлитых нефти и нефтепродуктов, которая перешла в толщу воды, может попадать в живые организмы, а также подвергаться биохимическому окислению. Эмульгированная нефть, накапливаясь в морских организмах, используется в качестве пищевого субстрата для нефтеокисляющих бактерий, которые способны разлагать диспергированные в толще воды углеводороды» [10].

Последовательность и продолжительность процессов переноса и трансформации нефти в морской среде показана на рис. 13 [9].

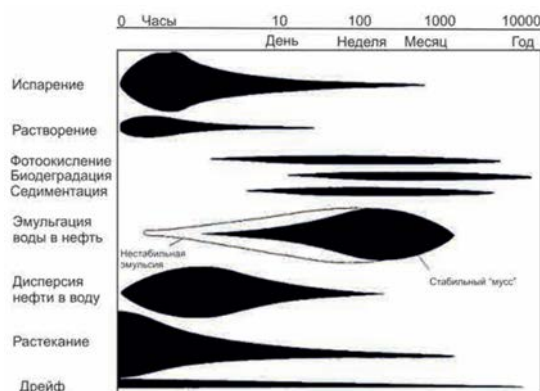


Рисунок 13. Последовательность, продолжительность и интенсивность процессов переноса и трансформации нефти в морской среде: длина линий отражает длительность процессов, ширина линий соответствует относительной интенсивности процессов

Все эти процессы в дальнейшем будут определять выбор технологий и средств для переработки смеси воды и нефтепродуктов, которые будут извлечены из воды при ликвидации аварийного разлива, а также при ликвидации его последствий [10].

1.4 Поведение нефти в ледовых условиях

“Хотя за последние 35–40 лет было выполнено большое количество лабораторных и натурных экспериментов по исследованию взаимодействия между нефтью и ледяным, описание поведения нефти во льдах остается слабо изученной областью, во многом из-за огромного разнообразия характеристик ледового покрова в море на масштабах десятков и сотен метров, соответствующих распространению разливов в сплоченном льду.

При растекании нефти в разводьях загрязнения льда практически не происходит, так как боковая инфильтрация в лед незначительна. Но при сжатии и торошении льда нефть может как заплескиваться на поверхность льда, так и уходить под ледяной покров.

Нефть, попавшая на верхнюю поверхность снежно-ледяного покрова в результате сжатия льда либо при сбросе нефти непосредственно на лед, растекается по поверхности, частично испаряется, частично впитывается в снежно-ледяной покров и переносится дрейфующим ледовым полем.

В условиях низких температур нефть будет более вязкой по сравнению со стандартными условиями. Если температура поверхности снежно-ледяного покрова оказывается ниже точки текучести нефтепродукта, то происходит только его перенос дрейфующим льдом без растекания и впитывания.

Под лед нефть попадает в результате сжатия льда, при сбросе нефти непосредственно под лед, при выходе загрязнения от подводного источника или вторичного загрязнения под лед. Этот вид загрязнения льда самый сложный для прогнозирования, поскольку оценить количество и положение нефти подо льдом методами дистанционного зондирования затруднительно.

Нефть, попавшая под лед, растекается и скапливается в полостях и карманах на нижней поверхности ледяного покрова, часть нефти может заполнять трещины и разводья. При этом процесс загрязнения льда

зависит от шероховатости и топографии его нижней поверхности. Чем больше впадин и углублений и чем они глубже, тем больше нефти может быть задержано льдом и тем меньше площадь растекания нефти.

Толщина нефтяного пятна под ровным льдом определяется соотношением сил плавучести и межфазного натяжения и в зависимости от свойств нефти может составлять от 5–7 мм (под ровным льдом) до 3 см.

Процесс загрязнения льда зависит и от сезона, т.к. если разлив произошел в период нарастания льда, то растекшаяся подо льдом нефть может оказаться замороженной в лед. В таком состоянии нефть остается до начала таяния, перемещаясь вместе с льдиной.

Весной при таянии льда открываются солевые капилляры и поры, и нефть, находящаяся подо льдом или замороженная в лед, начинает подниматься по этим капиллярам. При выходе на верхнюю поверхность льда нефть растекается, способствуя таянию.

Скорость поднятия нефти, по данным экспериментов, может иметь величины от нескольких миллиметров до 50 см в сутки. Максимальная скорость была зафиксирована в рыхлом многолетнем льду. Отмечается также различие скорости подъема у разных нефтепродуктов.

Пятна нефти на поверхности снежно-ледяного покрова изменяют альбедо поверхности льда (до 75%). По этой причине весной под действием солнечной радиации может наблюдаться усиленное таяние льда и образование луж со смесью талой воды с нефтью. Эта смесь частично испаряется, а частично оказывается в воде после таяния льдины.

При выносе дрейфующего льда из района загрязнения нефть, находящаяся в порах и капиллярах, переносится вместе с ним, так же как и нефть, успевшая выйти на поверхность ледяного покрова, где подвергается фотоокислению и испарению” [12].

1.5 Ликвидация аварийных разливов нефти

Ликвидация аварийных разливов нефти является комплексным процессом, который включает в себя ряд деятельности и требует подготовки специалистов и использования специальных технологий и оборудования.

Процесс ликвидации аварийных разливов нефти включает в себя следующие этапы:

- Оценка уровня загрязнения и определение масштабов аварии.
- Мобилизация необходимых сил и средств для ликвидации разлива.
- Разработка плана ликвидации разлива, который включает в себя описание всех необходимых действий и операций.
- Проведение мероприятий по предотвращению распространения загрязнения.
- Обеззараживание загрязненных территорий и водных объектов с помощью специальных реагентов и технологий.
- Сбор и утилизация загрязненных материалов и отходов.
- Оценка эффективности проведенных мероприятий и разработка рекомендаций по улучшению системы мер безопасности.

Классификация методов удаления нефтепродуктов:

- самоочищение;
- механический;
- физико-химический;
- биологический;
- фотохимический [10].

В таблице 1 приведена классификация методов удаления нефтепродуктов [10].

Табл. 1. Классификация методов удаления нефтепродуктов

Самоочищ.	Механич.	Физико-химич.	Биологич.	Фотохим.
Испарение Эмульг-е Диспер-е Раствор-е Фотоокл-е	<p>Локализация разлива: статический, динамический методы</p> <p>Сбор с помощью всасывающих устройств: вакуумных, с плавающими насосами</p> <p>Сбор с помощью переливных (пороговых) устройств: с тон-кими сетками, с постоянным порогом, с регулируемым порогом</p> <p>Сбор с помощью гидродинамических устройств (с использованием центробежных сил: гидроциклона - вихревой воронки - устройства для образования большого</p>	<p>Сжигание.</p> <p>Сбор с помощью адгезионных устройств (скиммеров): конвейерных, с вращающимся барабаном, с вращающимися дисками.</p> <p>Сорбционный: рассеивание и сбор дисперсных сорбентов, со сбросом и последующим сбором формованных рулонных сорбентов,- с конвейерами со щеточным или сорбирующим покрытием, непрерывной сорбирующей трос, шваброй, жидких, на твердых носителях.</p> <p>Осаждение с использованием реагентов - диспергаторов.</p> <p>С использованием реагентов - сгустителей</p>	<p>Разложение на месте разлива микробиол. культурой: в виде суспензии, на носителях - сорбентах</p>	<p>Разложение нефти на месте разлива под действием солнечного света и катализаторов</p>

	числа микровихрей			
--	----------------------	--	--	--

Глава 2. Состояние загрязненности нефтепродуктами Черного и Балтийского морей

2.1 Физико-географическая характеристика Черного и Балтийского морей

“Черное море соединяется с Атлантическим океаном через Средиземное море проливами Босфор, Дарданеллы и Гибралтар. Географические границы Черного моря ограничены на севере входом в Березанский лиман), на юге г. Гиресун и г. Сюрмене в Турции, на западе Бургасским заливом и на востоке г. Кобулету в Грузии. Граница Черного моря с Мраморным морем проходит в северной части пролива Босфор по линии между мысами Румели и Анадолу. На северо-востоке граница Черного и Азовского морей проходит в Керченском проливе по линии между мысами Такиль в Крыму и Панагия на Таманском полуострове. Наибольшая протяженность Черного моря в широтном направлении по различным оценкам составляет 1148–1180 км. Максимальная ширина моря по меридиану $31^{\circ}10'$ в.д. – 615 км, наименьшая ширина моря между мысами Сарыч и Керемпе от 258 до 264 км. Расстояние по линии м. Херсонес–Босфор в пределах 615 км, по линии Ялта–Батуми, составляет примерно 685 км. Общая площадь поверхности моря без лиманов составляет 406680–423000 км², объем воды 535430–555000 км³. Средняя глубина моря 1270–1315 м, максимальная глубина моря находится в пределах 2210–2258 м.

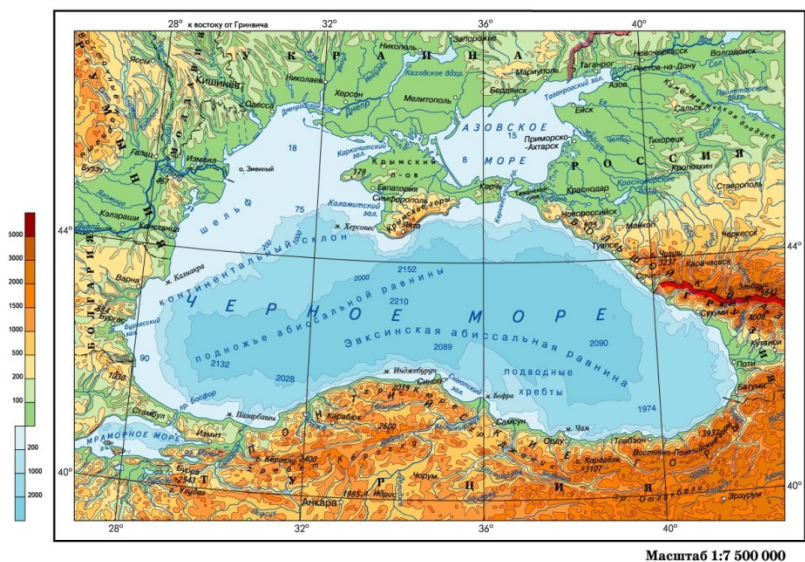


Рисунок 14. Физическая карта Черного моря

Изрезанность береговой линии Черного моря незначительная. Самыми крупными формами рельефа суши являются Крымский полуостров и небольшие полуострова на Анатолийском побережье (Инджебурун, Ясун и др.). Наиболее крупные заливы Черного моря: Одесский, Каркинитский, Каламитский, Феодосийский, Синопский, Бургасский и Варненский. Из бухт наибольшие Самсун, Севастопольская, Новороссийская и Геленджикская. В Черном море отсутствуют крупные острова. Самым значительным является о. Змеиный (площадь 1,5 км²), расположенный в 35 км от края дельты Дуная. Меньшими по размерам являются о. Березань у входа в одноименный лиман и о. Кефкен в 93 км восточнее пролива Босфор. Несколько небольших островов находятся в Бургасском заливе. По отношению объема моря к сумме площадей наименьших поперечных сечений его проливов (0,04 км² для Босфора и 0,02 км² для Керченского пролива) Черное море является самым обособленным морем Мирового океана. Шельф (материковая отмель до изобаты 200 м) занимает 25% акватории моря (112140 км²) и 1,5% объема вод (8190 км³). Наибольшая часть шельфа приходится на северо-западную часть моря - 16% акватории моря, 0,7% объема вод при максимальной ширине шельфа 220 км. В Керченско-Таманской области, на побережье Болгарии и западной Турции ширина шельфа находится в пределах 50 км. Вдоль Анатолийского побережья и

ЮБК (Ялта – м. Меганом) ширина шельфа Черного моря уменьшается до нескольких километров. В районе Кавказского побережья рельеф дна характеризуется узким шельфом (в среднем 8 км) и сильно расчлененным каньонами материковым склоном. Граница шельфа редко превышает глубину 110 м. Переход к материковому склону резкий, уклон составляет 15-20°. Континентальный (материковый) склон ограничен изобатами 200-2000 м и занимает около 40% акватории моря. В Чёрное море непосредственно или через лиманы впадает 211 рек. С учетом притока малых рек среднемноголетний годовой объем стока в море может быть оценен в 355,6 км³. Около 74% (263,2 км³ /год) суммарного стока в море приходится на ее северо-западную часть (реки Дунай, Днепр, Днестр), причем 58,5% всего стока – на р. Дунай. Сток рек Кавказа и с территории Турции составляет соответственно 52,5 и 45,6 км³ /год (соответственно 14,8% и 10,6% от общего стока рек в Черное море). Сток рек Болгарии, Румынии (без р. Дунай) и Крыма незначительный, примерно 2,2 км³ /год.

Климатические условия в холодный период года (декабрь-март) определяет сочетание отрога сибирского антициклона с областью низкого давления над Черным морем, что способствует созданию значительных градиентов давления и развитию циклонической деятельности. С циклонами поступает морской воздух Атлантического океана, обуславливая повышение температуры воздуха. Нередко зимой из бассейна Средиземного моря юго-западными ветрами приносится теплый тропический воздух с высоким содержанием влаги. Весной влияние сибирского максимума существенно уменьшается. Вследствие частых вторжений южных и юго-западных ветров, преобладает неустойчивая погода с частыми морскими туманами. В летний сезон Черное море находится в области распространения Азорского максимума, преобладает устойчивая ясная и жаркая погода. Осенью, по мере ослабления влияния азорского максимума, над морем появляются циклоны с юга, но в начале сезона погода остается ясной и теплой. В октябре вступает в силу сибирский максимум, и температура воздуха начинает быстро падать.

Основными элементами вертикальной термической структуры деятельного слоя Черного моря являются верхний квазиоднородный слой от 5 до 130 м, сезонный термоклин с максимумом вертикального градиента летом на глубине 15-20 м (значения до $-5^{\circ}\text{C}/\text{м}$, средняя величина $-1^{\circ}\text{C}/\text{м}$), а также холодный промежуточный слой (ХПС), т.е. слой подповерхностного минимума температур с глубиной залегания минимума 30-100 м. Ниже температура с глубиной очень медленно повышается из-за геотермического притока тепла от дна и на глубине 2 км достигает $9,2^{\circ}\text{C}$. Сезонные колебания температуры быстро затухают с глубиной. На глубине 75 м, близкой к глубине максимума вертикального градиента плотности, размах сезонных изменений температуры в сравнении с поверхностью уменьшается в 30 раз. Основным отличием прибрежной зоны от районов открытого моря является опережающий характер годового хода гидрологической структуры вод. Если минимум температуры воды у берега наступает в феврале, то в зоне с глубинами 70-100 м – только в марте.

Превышение поступления пресной воды с речным стоком и осадками над испарением приводит к тому, что соленость поверхностного слоя Черного моря ($17,85\%$) почти вдвое меньше, чем соленость поверхностных вод Мирового океана. Средняя соленость по всему объему Черного моря равна $21,96\%$, в слое 0-300 м составляет $20,26\%$, увеличиваясь до $22,26\%$ в слое 400-2000 м. Прибрежные воды от Анапы до Сочи относятся к району с относительно пониженной соленостью во все сезоны года, особенно в месте впадения в море рек Мзымта и Сочи. Характерной чертой вертикальной халинной структуры Черного моря является наличие двух галоклинов: сезонного в слое 0-30 м и постоянного (основного) в слое 50-100 м. Максимум вертикального градиента в постоянном галоклине располагается на 50-70 м, значения находятся в диапазоне $0,03-0,06\%/м$.

В Черном море выделяют несколько крупномасштабных структур циркуляции поверхностных вод: Общечерноморское течение (ОЧТ) в зоне континентального склона; два крупномасштабных циклонических круговорота

в восточной и западной частях моря, скорость течения увеличивается от 10 см/с в центре до 25 см/с на периферии этих круговоротов. С глубиной скорости течений быстро затухают до глубин порядка 100 м; квазистационарные антициклонические вихри в прибрежной зоне – Батумский, Севастопольский, Кавказский, Сакарья, Синопский и др. Основные циклонические круговороты и квазистационарные антициклонические вихри прослеживаются до больших глубин. Ветер и пространственно-временные изменения атмосферного давления обуславливают короткопериодные колебания уровня Черного моря синоптического (с периодами от 2-3 суток до полугода) и мезомасштабного (сейши с периодом менее 2 суток) диапазона частот. Влияние плотностных изменений уровня на большей части акватории Черного моря незначительно и не превышает 1-5 см в месяц. Наибольшие плотностные повышения уровня приходятся на август и связаны с нагревом воды, наибольшие понижения наблюдаются в феврале-марте и связаны с охлаждением воды в этот период. Вклад атмосферного давления в сезонные изменения уровня моря еще меньше, чем плотностные изменения уровня, и не превышает 1-3 см. Колебания уровня главным образом проявляются в виде сгонно-нагонных явлений, максимальная амплитуда которых отмечается в СЗЧ моря. Штормовые ветры восточной и южной четверти вызывают нагонные подъемы уровня амплитудой 30-60 см, а при жестоких штормах северо-западных и юго-западных направлений падение уровня может достигать 20-34 см. У Кавказского побережья величины максимальных нагонов невелики и не превышают 10-20 см в районе Новороссийска и до 31-54 см в районе Туапсе. Здесь нагоны отмечаются в течение всего года в основном при западных ветрах. Наибольшее число случаев сгонов приходится на осенне-зимний период, чаще всего при восточных и северо-восточных ветрах. Осенне-зимние штормовые ветра могут развивать волны высотой до 6-8 м. Стоячие колебания уровня моря (сейши) развиваются в бухтах с периодами от нескольких минут до 2 ч и амплитудой в 40-50 см.

Море почти всегда свободно ото льда и лишь в отдельные холодные зимы прибрежные воды в северо-западной мелководной части моря покрываются

льдом. На побережье между Одессой и Очаковом на несколько дней может появиться припай, толщина которого не превышает 10 см. В умеренные зимы в январе-феврале преобладает плавучий крупно и мелкобитый белый лед, который может распространяться достаточно далеко до 40-50 миль от берега. На подходах к Одессе и Очакову припай наблюдается непродолжительное время, а толщина припайного льда не превышает 20-30 см. В суровые зимы максимальное распространение припайного льда может превышать границы СЗЧ и наблюдаться южнее Констанцы (Румыния). Максимальная толщина ледовых полей в открытых районах моря составляет 20-30 см [11].

Балтийское море относится к бассейну Атлантического океана и является крупнейшим материковым морем севера Европы. Площадь Балтийского моря составляет 422,6 тыс.км² , объем 20080 км³ . На западе граница Балтийского моря проходит по линии мыс Скаген — юго-западная оконечность о.Черн. Связь Балтийского моря с Северным осуществляется через Датские проливы, которые включают проливы Малый Бельт (наименьшая ширина 0,5 км), Большой Бельт (3,7 км), Эресунн (Зунд) (10,5 км), Каттегат (60 км) и Скагеррак (110 км). Вследствие мелководности проливов (глубина на порогах — 7–18 м) затрудненный водообмен между Балтийским и Северным морями играет важнейшую роль в формировании природных особенностей Балтийского моря. Средняя глубина моря — 48 м, максимальная 459 м.

Преобладают глубины до 50 м, на долю которых приходится 60% площади моря, на долю глубин более 200 м — около 0,3% площади моря. Балтийское море имеет очень длинную изрезанную береговую линию (22,0 тыс.км), что обусловлено наличием многочисленных заливов и островов, особенно в северной его части. Общее количество островов составляет несколько тысяч, но большинство из них очень мелкие.

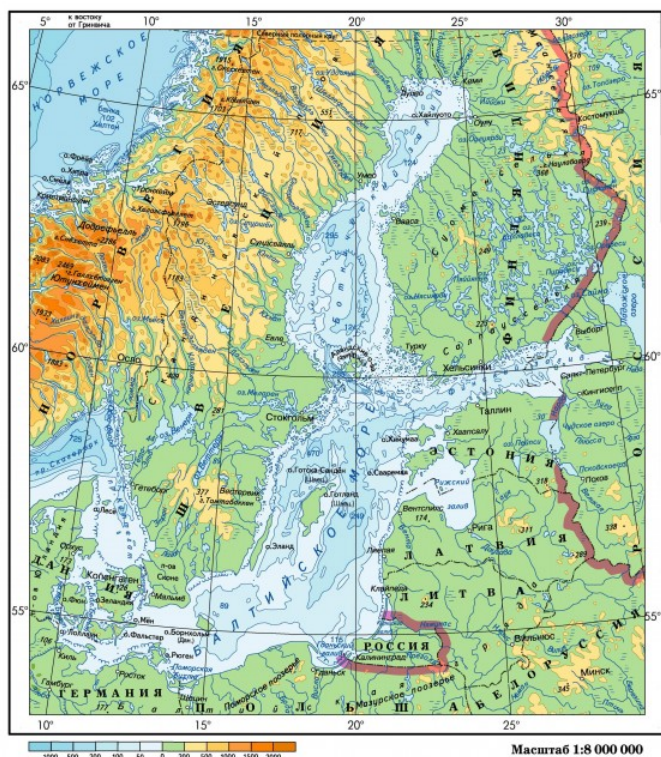


Рисунок 15. Физическая карта Балтийского моря

По меридиану Балтийское море вытянуто на $12^{\circ}10'$, по параллели — $20^{\circ}50'$. Из-за большой вытянутости вдоль меридиана и параллели отдельные районы Балтийского моря размещаются в разных физико-географических и климатических зонах. Это в свою очередь оказывает влияние на океанологические процессы, происходящие в море и отдельных его районах. Балтийское море расположено в полосе умеренного гумидного климата. В целом климат Балтики характеризуется как переходный от морского к континентальному. Колебания температуры воздуха в среднем составляют от 8 до 15°C . В южной и западной частях проявляется сильное влияние Атлантического океана, вследствие чего юг и центр моря не замерзают. Циркуляционные процессы региона характеризуются активной циклонической деятельностью с быстрым переносом несущих дождливую погоду воздушных масс атлантического происхождения. Циклоническая циркуляция наблюдается около 200 дней в году. Господствуют ветры широтного переноса, с которыми приходят воздушные массы умеренных широт — около 80%, арктические

массы — от 6 до 17% и только 1% — тропические воздушные массы. Температура воды зимой на поверхности в открытом море составляет 1–3°C, у берегов — ниже 0°C; летом температура воды повышается до 18–20°C. Вертикальное распределение температуры характеризуется ее незначительным понижением до 20–30 м, скачкообразным понижением до 60–70 м и затем некоторым повышением ко дну. Холодный промежуточный слой сохраняется круглый год. Атмосферные осадки в Балтийском бассейне в целом составляют 400–800 мм/год, при этом в открытом море количество осадков наименьшее. В годовом ходе максимум осадков приходится на июль-август, минимум на январь-март.

Специфической чертой гидрологической структуры Балтики является двойной скачок плотности. Временный верхний слой образуется за счет распреснения и часто совпадает с сезонным термоклином. Постоянный нижний галоклин с очень высокими градиентами солености формируется как вертикальная граница между верхними распресненными водами и глубинными морскими, периодически поступающими в Балтику из пролива Скагеррак через Датские проливы. Вследствие этой особенности обычно выделяют три водные массы: 1) поверхностную с соленостью 7–8‰, она покрывает всю южную и центральную части моря, на севере и в заливах соленость существенно ниже, температура изменяется в широком пределе от нуля до 20°C; 2) придонную с соленостью 10–21‰ и температурой от 4,5 до 12°C, она занимает впадины в открытых районах моря; 3) переходная (2–6°C, соленость 8–10‰) залегает между поверхностной и придонной водными массами и образуется в результате их смешения. Вертикальное перемешивание водной толщи охватывает слой от поверхности до глубины 50–60 м за счет термической и соленостной конвекции и ограничивается снизу постоянным галоклином. Горизонтальная циркуляция носит циклонический характер. Скорость постоянных течений 3–4 см/с, иногда достигает 10–15 см/с. Направление дрейфовых течений определяется преобладающими ветрами. Глубинная циркуляция также имеет циклонический характер и в значительной степени зависит от поступления соленых вод

Северного моря. Приливы небольшие — от 0,04 до 0,1 м, имеют полусуточные и суточные ритмы. Под влиянием ветров и резкой разницы давления повышение уровня в вершинах заливов может достигать 1,5–3 м, вызывая наводнения, например в Невской губе. Максимальная высота ветровых волн достигает 4–6 м. Хорошо выражены стонно-нагонные колебания уровня моря, которые могут достигать 2 м. Наблюдаются также сейшеобразные колебания уровня до 1–2 и даже 3–4 м. В отдельных районах море покрывается льдом. Льдообразование начинается в начале ноября. В суровые зимы толщина неподвижного льда может достигать 1 м, а толщина плавучих льдов — 40–60 см. В мае море обычно очищается ото льда” [11].

2.2 Анализ изменчивости загрязненности вод Черного и Балтийского морей по многолетним данным

Источники нефтяного загрязнения в Черном море это, в основном, суда, заходящие в порты по 50 тысяч ежегодно и перевозящие более 100 млн тонн нефти. Ведь зона Черного моря является основной зоной основного российского экспорта нефти. Также одним из источников является добыча УВ у побережья Крыма, где было пробурено более 100 скважин к 2008 году.

Большим загрязнением для Черного моря недавно стала авария при закачке нефти у Новороссийска на “Каспийском трубопроводном консорциуме”, произошедшая 7 августа 2021 года. Произошел залповый выброс нефти с выносного погрузочного устройства, пока греческий нефтяной танкер *Minerva Symphony* закачивался.

Для анализа загрязненности различных районов Черного моря использовались данные, представленные с сайта ФГБУ “ГОИН” в Ежегодниках “Качество морских вод по гидрохимическим показателям” за последние 6-10 лет [11].

Первым районом для исследования стал район Севастопольской бухты. В таблице 1 представлены среднегодовые и максимальные значения концентраций НУ за 2015-2021 гг. При этом, информация за 2016 год отсутствует.

Таблица 2. Данные по НУ в районе Севастопольской бухты за 2015-2021 гг

2015 г		2017 г		2018 г		2019 г		2020 г		2021 г	
ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max
0,084	0,31	0,03	0,07	0,04	0,06	0,025	0,1	0,06	0,4	0,03	0,6

На основе выбранных данных была построена гистограмма (рис. 16), где наглядно видна разница концентраций НУ за 6 лет. Исходя из ниже представленной гистограммы, можно сказать о том, что наибольшая величина максимума концентраций НУ приходилась на 2021 год, значения были гораздо выше ПДК (0,6). Наибольшая среднегодовая концентрация НУ была в 2015 году: 0,084 мг/дм³. В отдельные годы, таких как 2017-2019 и 2021, среднегодовые значения концентраций нефтяных углеводородов были ниже уровня ПДК.

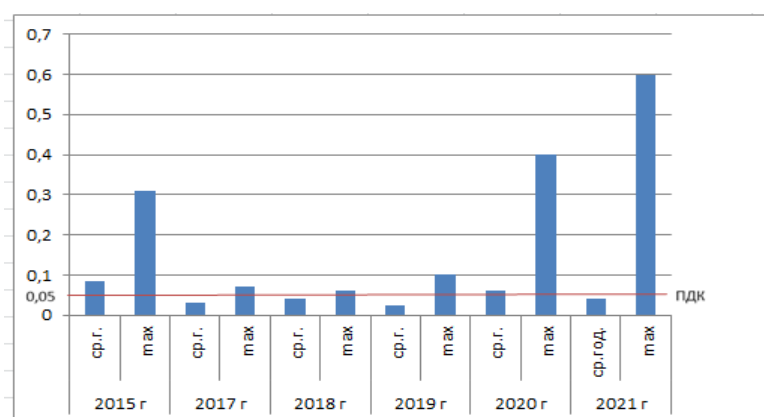


Рисунок 16. Гистограмма изменений значений концентраций НУ за 2015-2021 гг. в районе Севастопольской бухты

Вторым районом для исследования является Севастопольское взморье. Данные представлены ниже в таблице 3 за 2015-2021 гг. Информация за 2016 также отсутствует.

Таблица 3. Данные по НУ в районе Севастопольского взморья за 2015-2021 гг

2015 г		2017 г		2018 г		2019 г		2020 г		2021 г	
ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max
0,084	0,31	0,05	0,39	0,03	0,12	0,006	0,1	0,035	0,3	0,04	0,13

Рисунок 17 представляет собой гистограмму выше указанного района за 6 лет.

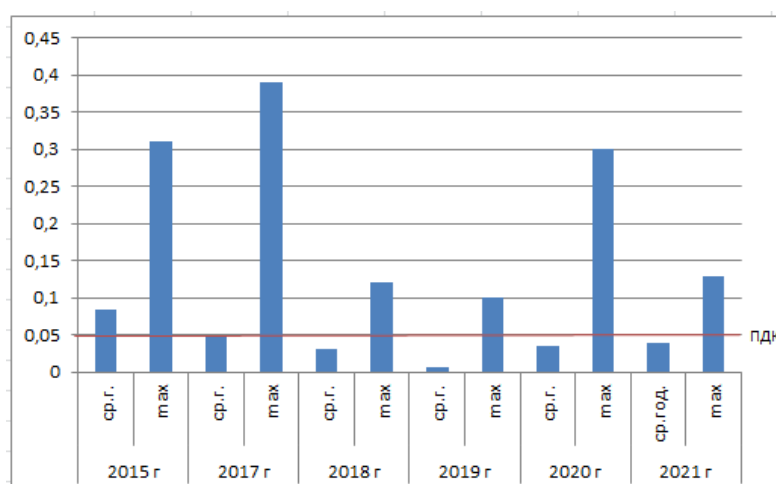


Рисунок 17. Гистограмма изменений значений концентраций НУ за 2015-2021 гг. в районе Севастопольского взморья

Среди максимальных значений, наибольшее значение концентраций НУ обнаружено в 2017 году: 0,39 мг/дм³. Что же касается чисел средних за год, то наибольшее их число приходится на 2015 год (0,084 мг/дм³), что также превышает ПДК. По гистограмме также видно, что среди среднегодовых значениях уровень ПДК превышает лишь в 2015 году, в остальные

представленные годы средняя за год концентрация НУ не превышает величину ПДК.

Третьим районом является акватория п. Ялта. Данные брались за 8 лет (2014-2021 гг). Ниже представлена таблица среднегодовых и максимальных концентраций нефтяных углеводородов в выбранном районе, а также построенная по нужным значениям гистограмма (рис. 18).

Таблица 4. Данные по НУ в районе акватории п. Ялта за 2014-2021 гг

2014 г		2015 г		2016 г		2017 г		2018 г		2019 г		2020 г		2021 г	
ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max
0,015	0,13	0,012	0,03	0,013	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02	0,015	0,19	0,003	0,08	0,05	0,35

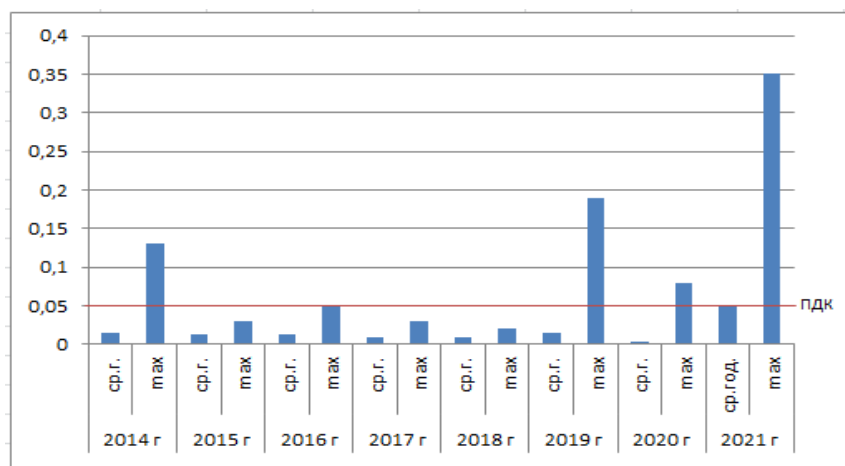


Рисунок 18. Гистограмма изменений значений концентраций НУ за 2014-2021 гг. в районе акватории п. Ялта

Представленная выше гистограмма показывает, что наибольшее значение максимума концентрации НУ за все указанные годы приходится на 2021-0,35 мг/дм³. Что же касается максимальной величины концентраций за год, то она составила 0,05 мг/дм³ и приходится на 2021 год. Уровень ПДК не был превышен среди всех представленных среднегодовых величин.

Рассмотрим далее район Сочи-Адлер. Таблица 4 и рисунок 19 включают в себя данные среднегодовых и максимальных значений концентраций НУ в период с 2012 по 2021 год, то есть за 10 лет.

Таблица 5. Данные по НУ в районе Сочи-Адлер за 2012-2021 гг

2012 г		2013 г		2014 г		2015 г		2016 г	
ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max
0,042	0,08	0,014	0,06	0,009	0,13	0,006	0,07	0,017	0,11
2017 г		2018 г		2019 г		2020 г		2021 г	
ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max	ср.г.	max
0,01	0,057	0,013	0,131	0,012	0,047	0,012	0,077	0,027	0,212

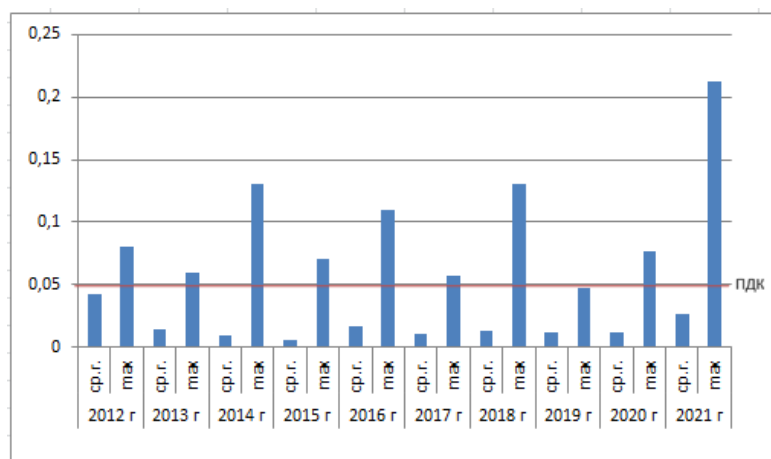


Рисунок 19. Гистограмма изменений значений концентраций НУ за 2012-2021 гг. в районе Сочи-Адлер

По рисунку 19 видно, что наибольшее значение максимума приходится на 2021 год: 0,212 мг/дм³. 2012 является периодом с наибольшим средним значением концентрации НУ за год, оно составляет 0,042 мг/дм³ (ниже ПДК). За все 10 лет среднегодовые величины не были критическими, то есть не превышали значение ПДК.

Сравним уровень загрязненности НУ выбранных выше районов. Для этого посчитаем среднее значение среднегодовых величин концентраций для каждого участка (табл. 6) и построим гистограмму (рис.20).

Таблица 6. Средние значения среднегодовых величин концентраций НУ

Севаст. бухта	Севаст. Взморье	Акват. п. Ялта	Сочи-Адлер
0,047	0,041	0,016	0,018

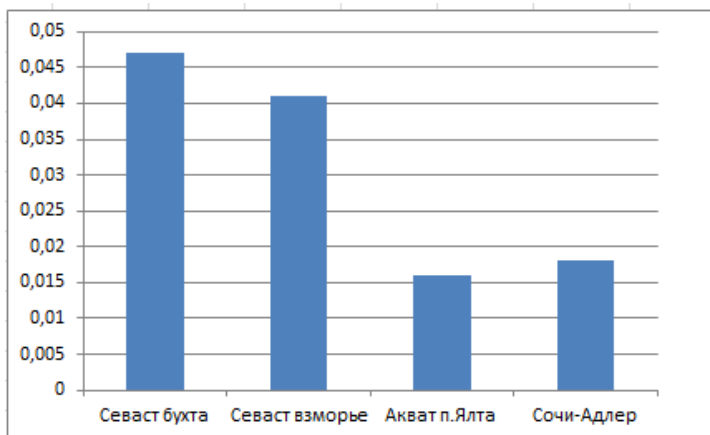


Рисунок 20. Гистограмма средних значений среднегодовых величин концентраций НУ (мг/дм³)

По гистограмме выше отчетливо заметна разница уровня загрязнений выбранных районов нефтяными углеводородами. Самым загрязненным является район Севастопольской бухты, а наименее-район акватории п. Ялта.

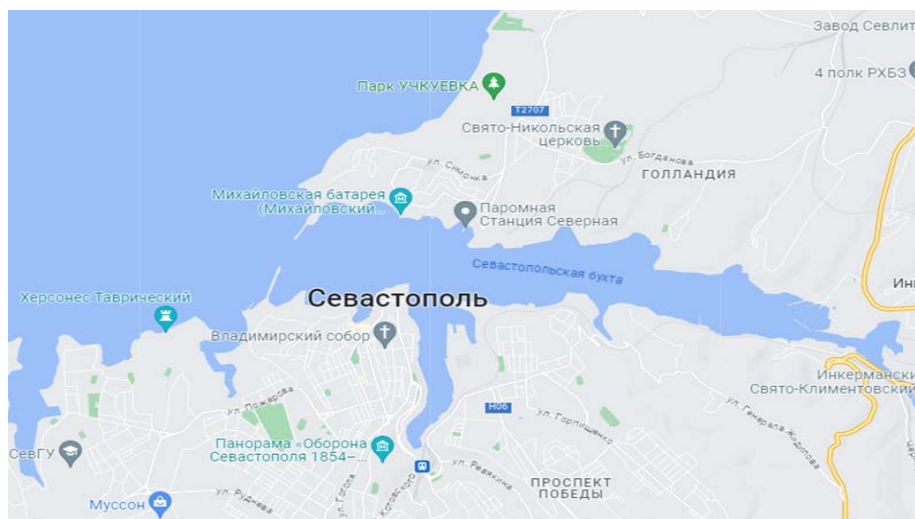


Рисунок 21. Район Севастопольской бухты на карте

Для анализа загрязненности различных районов Балтийского моря также использовались Ежегодники “Качество морских вод по гидрохимическим показателям” за 10 лет [11].

В отличие от Черного моря, рассматриваемые нами прибрежные районы Балтики, являются относительно чистыми. Проанализировав такие прибрежные районы, как Невская губа, Лужская губа, Копорская губа, Финский залив, а также район морского торгового порта, можно сказать о том, что в большинстве данных районов концентрация НУ была ниже ПДК.

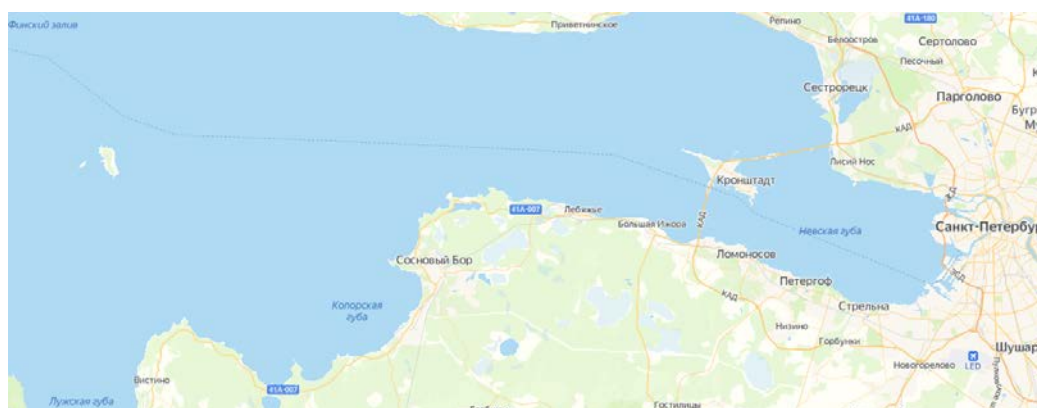


Рисунок 22. Вышеперечисленные районы восточной части Финского залива на карте

И все же нефтяные пятна в Балтике могут присутствовать, это видно на рисунках 23-25 [14]. 16 марта 2021 года на рейде Балтийска было обнаружено протяженное нефтяное пятно, состоявшее из нескольких фрагментов. На рисунках 24 и 25 [14] показаны еще два нефтяных пятна, обнаруженные 11 апреля того же года спутником Sentinel-1A. Источником этих двух пятен являлся сброс нефтепродуктов с судов.

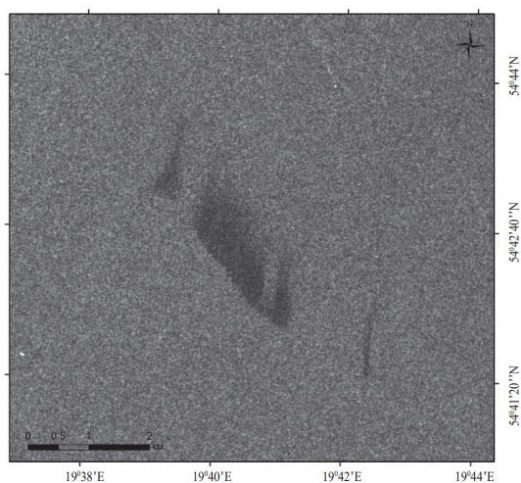


Рисунок 23. Нефтяное пятно, обнаруженное 16.03.2021 г. (16:20 UTC) на рейде Балтийска со спутника Sentinel-1A

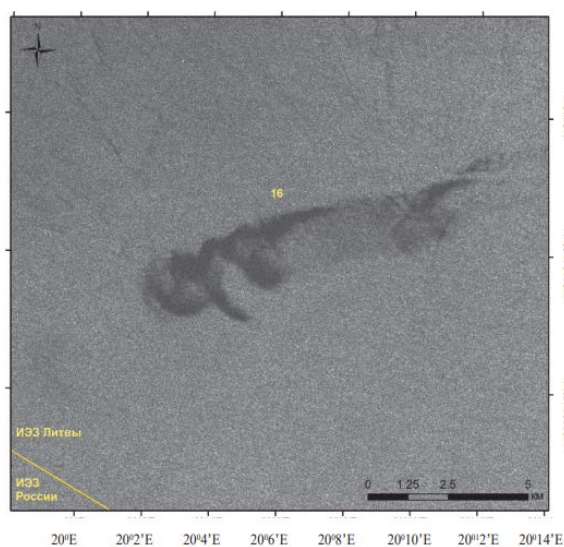


Рисунок 24. Нефтяное пятно №16, обнаруженное со спутника Sentinel-1A
11.04.2021 г. (04:51 UTC)

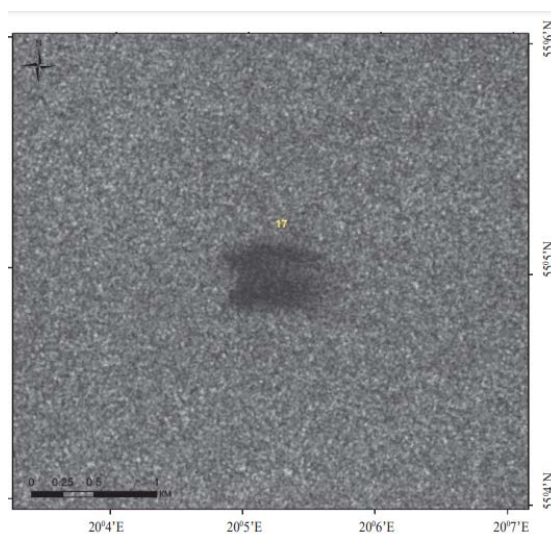


Рисунок 25. Нефтяное пятно №17, обнаруженное со спутника Sentinel-1A
11.04.2021 г. (04:51 UTC)

Основными источниками антропогенных загрязнений морской поверхности в районе же Финского залива считаются сбросы вод, которые содержат нефтепродукты на движущихся судах. А постоянное судоходство в данной акватории усугубляет ситуацию еще сильнее. Большой порт Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургский нефтяной терминал также можно считать потенциальным источником экологической угрозы. На рисунках 25 и 26 [15] показаны фрагменты РЛИ сликовых областей в районе Ломоносова и вблизи устья Невы в 2011 году.

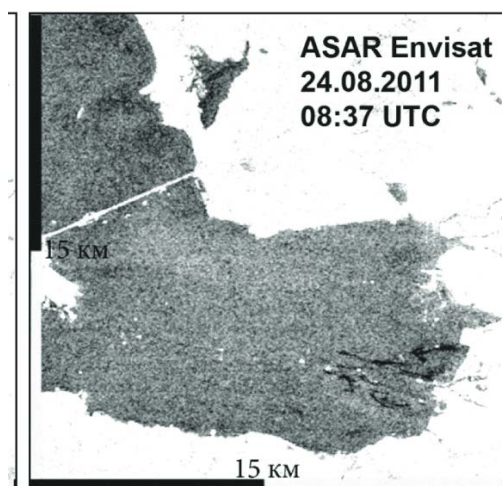


Рисунок 25. Снимки антропогенного происхождения вблизи устья Невы от 24.08.2011. Совокупная площадь загрязнения 3,5 км²

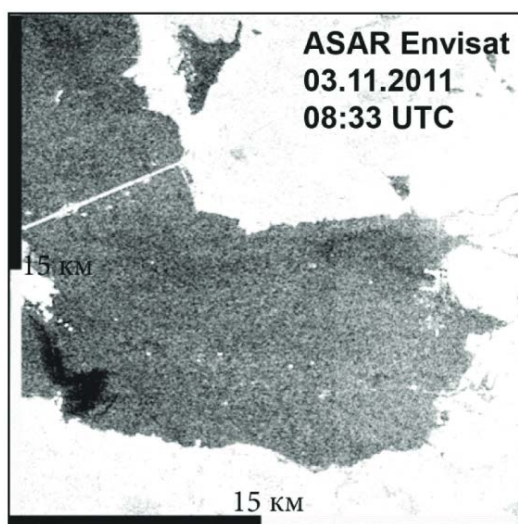


Рисунок 26. Загрязнение морской поверхности площадью 13,1 км² вблизи береговой черты поблизости от г. Ломоносов от 03.11.2011

Глава 3. Моделирование изменения свойств нефти в воде в Черном и Балтийском морях

3.1. Описание модели ADIOS2

Определенную помощь при прогнозировании судьбы нефти в море может оказать свободно распространяемая модель NOAA – ADIOS2 (Automated Data Inquiry for Oil Spills). ADIOS2 является развитием предыдущей версии ADIOSTM (1994) модели выветривания нефти, включает базу данных о физико-химических свойствах более чем тысячи сырой нефти и нефтепродуктов, и обеспечивает быстрые оценки ожидаемых характеристик поведения нефти, пролитой в морскую среду. База данных была скомпилирована в основном из американских и канадских источников. Результаты расчетов представляются в графическом и текстовом виде.

Модель ADIOS2 распространяется как программное обеспечение (ПО) для расчета выветривания нескольких сотен типов нефти, собранных в специальную базу данных. Важно, что ПО ADIOS2 предназначено лишь для расчета выветривания, но не использует данные гидрометеорологических прогнозов и не позволяет рассчитать траектории движения нефтяных пятен. В ряде случаев возможно провести расчет траектории распространения нефтяного разлива в соответствии с соотношениями и дополнить результаты прогноза перемещения нефтяного разлива сведениями о его возможной физико-химической трансформации, рассчитываемыми в ПО ADIOS2. В программу следует ввести информацию об источнике сброса нефти. Пример интерфейса для задания исходных данных приведен на Рисунке 27.

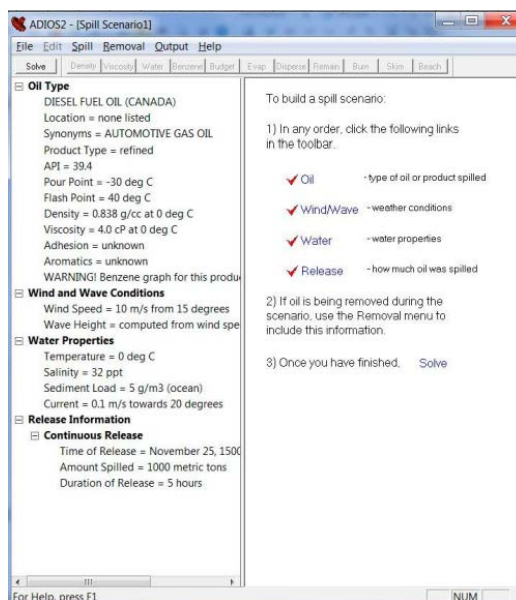


Рисунок 27. Интерфейс для задания информации о разливе нефти в ADIOS2

Программа ориентирована на использовании информации об условиях окружающей среды, которую можно получить с места событий. Это может быть скорость ветра, высота волн, температура воды и соленость воды; тип и количество нефти или разлитого продукта; скорость и продолжительность истечения. В ADIOS2 содержатся сведения о физических свойствах различных типов нефти и нефтепродуктов, изменение которых в программе моделируется с помощью расчетных соотношений типа (3) - (32). К оцениваемым свойствам нефти относятся плотность, вязкость, содержание воды в нефти или нефтепродуктов; скорость испарения и проникновения в воду в виде капель. База данных была составлена из различных источников. Она также включает в себя расширенный онлайн раздел помощи и электронное учебное пособие. Программное обеспечение ADIOS2 ориентировано на составление краткосрочных прогнозов выветривания нефти на срок до 5 дней, пока процессы биодegradации и фотоокисления можно не принимать во внимание.

К недостаткам модели ADIOS2 следует отнести невозможность расчета траекторий переноса нефтяных загрязнений, достаточно примитивный

алгоритм расчета растекания нефти и, следовательно, неизбежные погрешности в расчете площади и конфигурации нефтяного пятна в реальных условиях. К сильным сторонам, – безусловно, самую подробную, на сегодняшний день, базу данных о свойствах различных типов нефти и нефтепродуктов, ориентированную на расчеты физико-химической трансформации в морской среде [12].

3.2. Анализ результатов

Для анализа результатов были выбраны следующие районы: Севастопольская бухта (Черное море) и восточная часть Финского залива, преимущественно район г. Санкт-Петербург (Балтийское море). Оба этих района наиболее подвержены загрязнению нефтяными углеводородами. Из расчетов и анализа во 2 главе, мы знаем, что Севастопольская бухта является самым загрязненным прибрежным районом Черного моря. В восточной части Финского залива присутствует обильное судоходство, около 7 портов и другие показатели потенциально загрязненной акватории. Здесь мы исследуем, как будет деградировать нефть в водной среде.

Для начала построим розу ветров для каждого из выбранных районов за зимние и летние периоды за 5 лет (2018-2022 гг). Данные по ветру брались по Севастополю и Санкт-Петербургу с сайта gr5 [16].

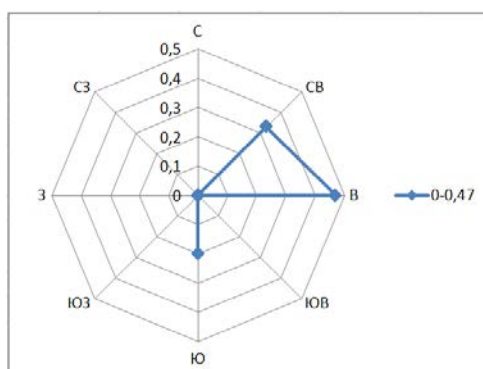


Рисунок 28. Роза ветров за зимний период за 5 лет г. Севастополь

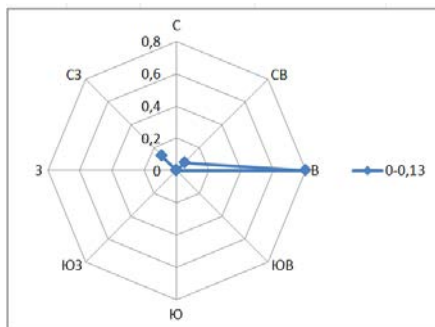


Рисунок 29. Роза ветров за летний период за 5 лет г. Севастополь

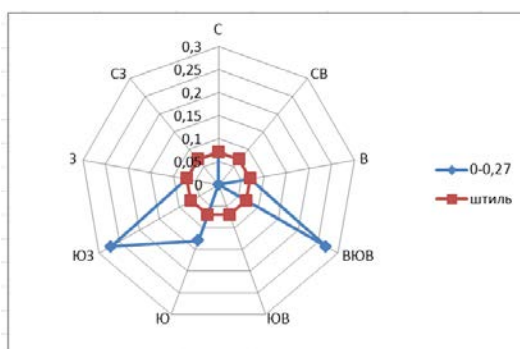


Рисунок 30. Роза ветров за зимний период за 5 лет г. Санкт-Петербург

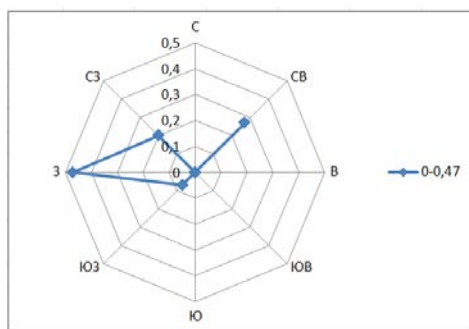


Рисунок 31. Роза ветров за летний период за 5 лет г. Санкт-Петербург

За 5 лет в Севастополе в зимний период преобладал восточный ветер. Средняя скорость ветра составила 6 м/с. Тот же ветер превалировал и в летний период со средней скоростью 4 м/с.

Иная картина наблюдается в Санкт-Петербурге: за 5 лет в зимний период преобладало целых два направления: юго-западный и востоко-юго-восточный со средней скоростью 4-5 м/с. Летний период за 5 лет характеризуется западным направлением 3 м/с.

Начинаем работу в программе ADIOS2. Для того, чтобы построить нужные нам графики по выбранным районам в зимние и летние периоды, требуются следующие характеристики: направление и скорость ветра, температура воды, скорость и направление течения, а также информацию о разливе нефти – его причина, дата и время разлива и количество разлитой нефти (тонн).

Для сравнительного анализа была выбрана российская нефть “Siberian Light”, имеющая следующие характеристики: плотность в градусах API составляет 37,8, температура застывания 17°C, плотность при 9°C равна 0,840 г/куб.см, а вязкость при 9°C составляет 13,5 сСт. Для примера был взят сценарий мгновенного разлива нефти: за зимние периоды дата разлива – 15 января 12:00, за летние – 15 июля 12:00. В графе “количество пролившейся нефти” было взято 80 тонн.

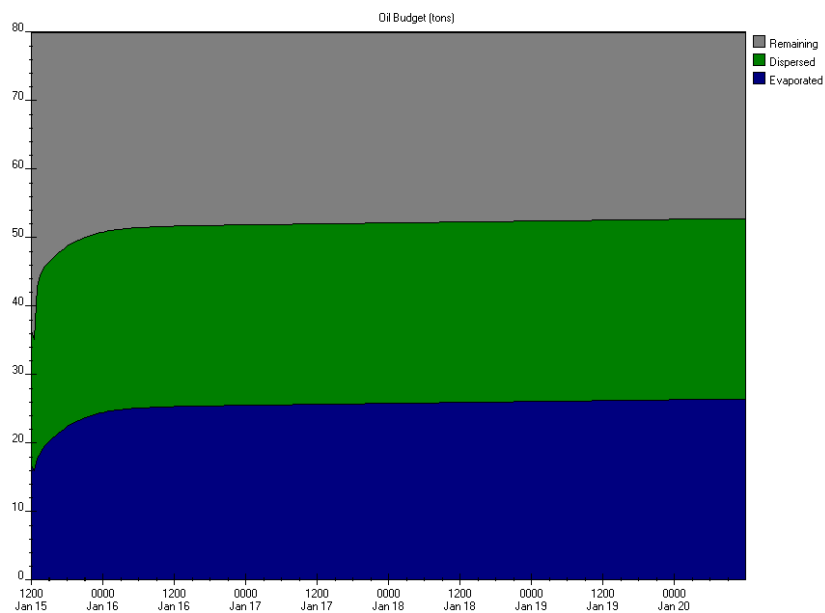


Рисунок 32. Результаты расчетов в районе Севастопольской бухты (Черное море) за зимний период

Таблица 7. Данные для построения графиков за зимний период в районе Севастопольской бухты в программе ADIOS2

Тип нефти	Ветер	Характеристики воды			Дата и объем разлива	
		Темп-ра (°C)	Скорость теч	Направл теч	Дата и время	Объем разлива (тонн)
Siberian Light (Russia)	Зимний период (Направл и Скорость)					
	СВ; 20,6 м/с	9 (9,2)	0 м/с	СВ	15.01	80 т

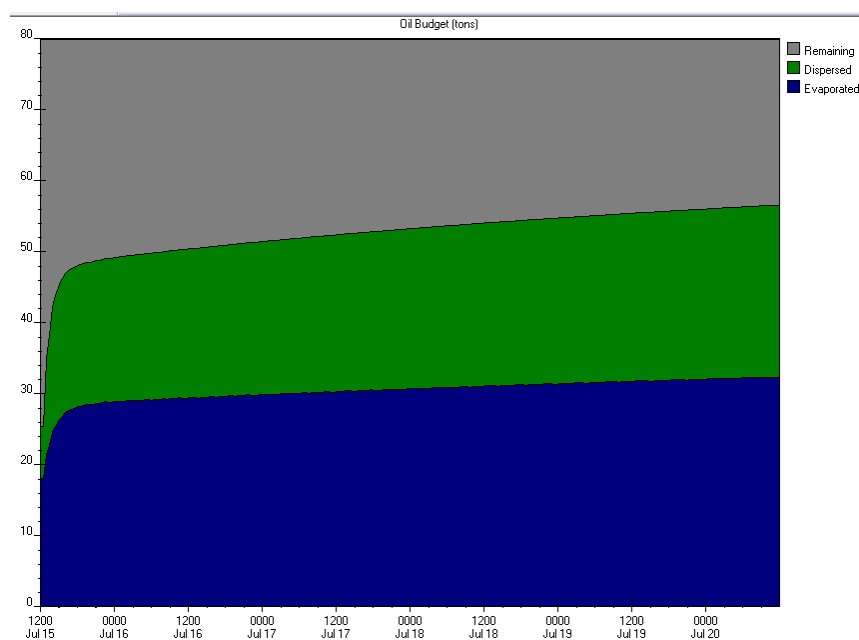


Рисунок 33. Результаты расчетов в районе Севастопольской бухты (Черное море) за летний период

Таблица 8. Данные для построения графиков за летний период в районе Севастопольской бухты в программе ADIOS2

Тип нефти	Ветер	Характеристики воды			Дата и объем разлива	
		Темп-ра (°C)	Скорость теч	Направл теч	Дата и время	Объем разлива (тонн)
Siberian Light (Russia)	Летний период (Направл и Скорость)					
	З; 14,6 м/с	23 (22,8)	0 м/с	В	15.07	80 т

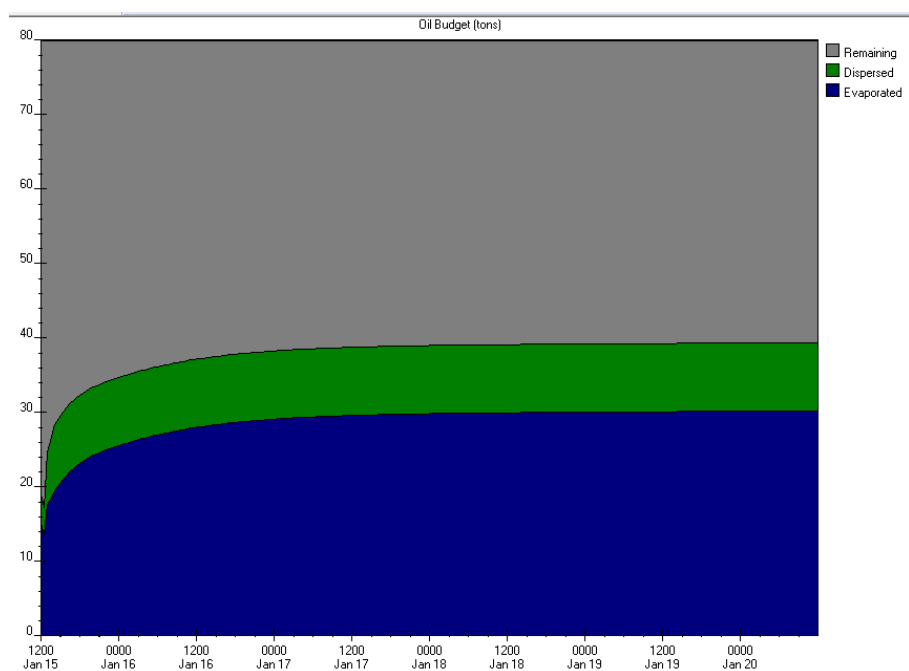


Рисунок 34. Результаты расчетов в районе Санкт-Петербурга (Балтийское море) за зимний период

Таблица 9. Данные для построения графиков за зимний период в районе СПб в программе ADIOS2

Тип нефти	Ветер	Характеристики воды			Дата и объем разлива	
		Темп-ра (°C)	Скорость теч	Направл теч	Дата и время	Объем разлива (тонн)
Siberian Light (Russia)	Зимний период (Направл и Скорость)					
	СЗ; 12 м/с	2 (2,1)	1 м/с	С	15.01	80 т

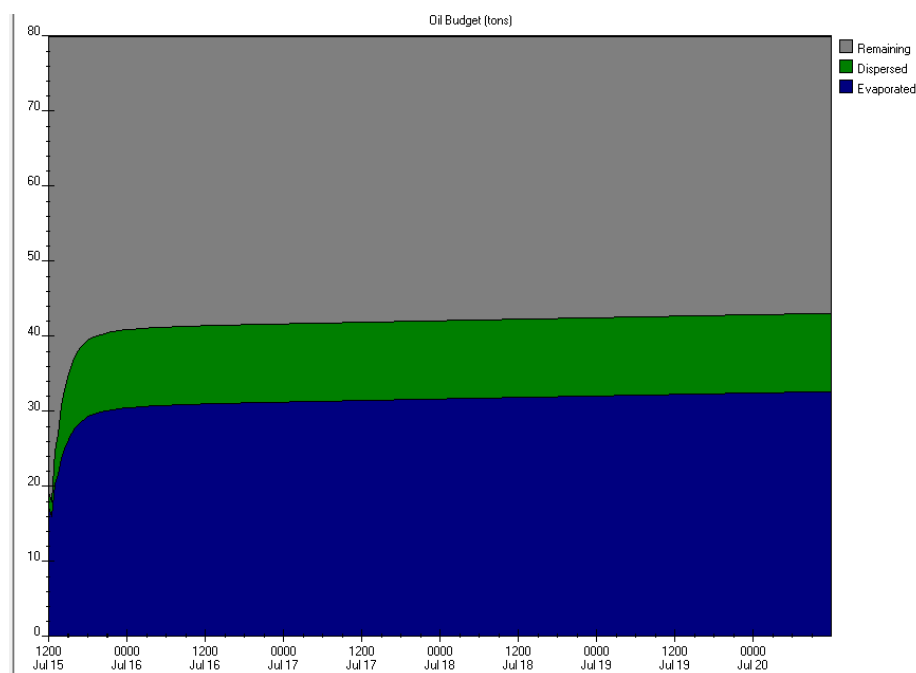


Рисунок 35. Результаты расчетов в районе Санкт-Петербурга (Балтийское море) за летний период

Таблица 10. Данные для построения графиков за летний период в районе СПб в программе ADIOS2

Тип нефти	Ветер	Характеристики воды			Дата и объем разлива	
		Темп-ра (°C)	Скорость теч	Направл теч	Дата и время	Объем разлива (тонн)
Siberian Light (Russia)	Летний период (Направл и Скорость)					
	ЮВ; 9 м/с	16 (16,3)	1 м/с	СЗ	15.07	80 т

Рисунки 32-35 представляют собой графики результатов расчетов в программе ADIOS2 выбранных районах Черного и Балтийского морей за зимние и летние периоды за последние 5 лет. Синим цветом представлено испарение, зеленым – диспергирование (смешение с водой), серым – остатки нефти. Таблицы 7-10 представляют собой данные для построения графиков за летние и зимние периоды в выбранных районах Черного и Балтийского морей в программе ADIOS2. Температура воды округлена до целых чисел, так как программа не позволяет вбивать десятичные значения; в скобках в таблицах указано не округленное значение температуры воды. График “Oil budget” представлен в процентном соотношении.

Построив 4 графика по выбранным точкам в Черном и Балтийском морях в зимние и летние периоды в программе ADIOS2, сравним и дадим анализ разницы процентного соотношения диспергированной, испарившейся и оставшейся нефти в перечисленных выше морях.

На основе графиков “Oil budget” в программе (Рис. 32-35), построим еще 6, где ось X представляет собой даты и время нефтяного разлива, а ось Y – количество испарившейся, диспергированной или оставшейся нефти в процентах. Красным цветом обозначено Балтийское море, синим - Черное.

Таблица 11. Данные по испарившейся нефти (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

зимний период		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.01.12:00	21	19
16.01. 0:00	31,7	32
16.01. 12:00	32	35,1
17.01. 0:00	32,2	36,2
17.01. 12:00	32,3	36,5
18.01. 0:00	32,5	37,1
18.01. 12:00	32,6	37,5
19.01. 0:00	32,7	37,6
19.01. 12:00	32,8	37,8
20.01. 0:00	32,9	37,9

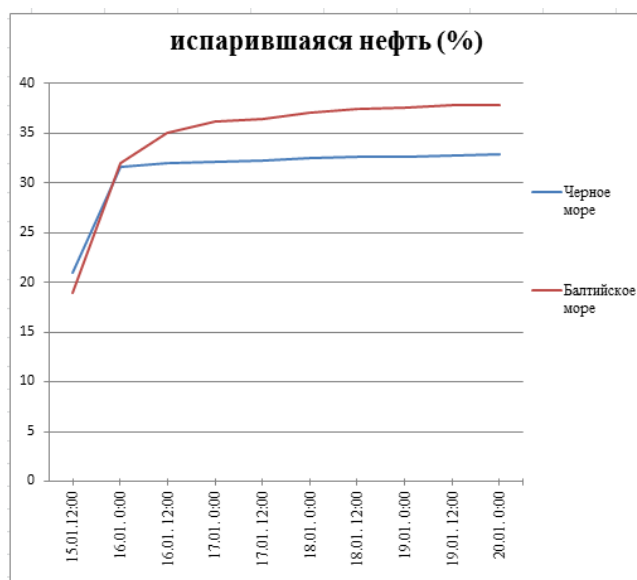


Рисунок 36. График по испарившейся нефти (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

Проанализируем полученный график за зимний период. На начальный период испарение в Балтийском море меньше, чем в Черном море, при этом у них наблюдается одна динамика развития. Через сутки разница в испарившейся нефти между двумя морями стало более значима: 32% и 35,1%. До последнего момента времени их разница довольно велика и составляет около 4,5%.

Таблица 12. Данные по испарившейся нефти (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

летний период		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.07.12:00	22,88	21,5
16.07. 0:00	36,08	38,2
16.07. 12:00	37,18	38,6
17.07. 0:00	37,58	38,85
17.07. 12:00	38,08	39,15
18.07. 0:00	38,48	39,35
18.07. 12:00	38,88	39,55
19.07. 0:00	39,28	39,75
19.07. 12:00	39,78	40
20.07. 0:00	40,08	40,5

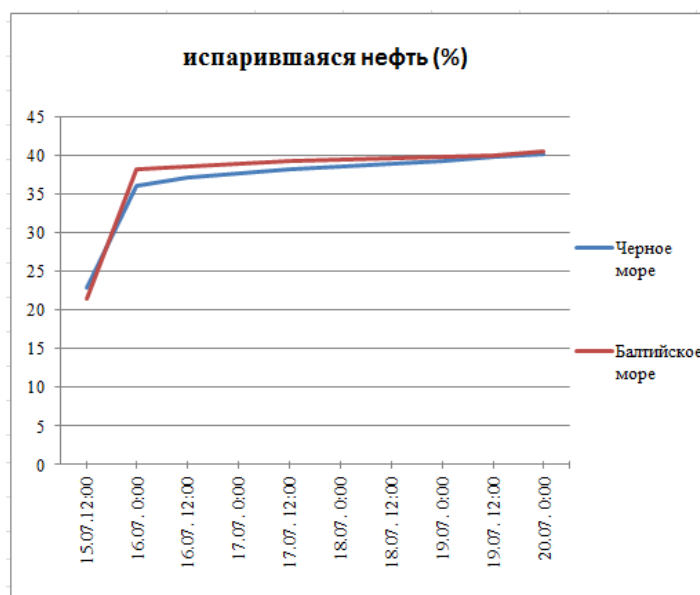


Рисунок 37. График по испарившейся нефти (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

На первоначальный период значения испарившейся нефти в обоих морях летом были схожи. Спустя 12 часов наблюдается существенная разница - в Черном море процент составляет 36,8%, а в Балтийском – 38,2%. Сразу же после такой разницы, до последней представленной даты отмечается одна динамика обеих линий, почти сходящихся вместе к концу.

Таблица 13. Данные по диспергированной нефти (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

зимний период		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.01.12:00	24,58	4,7
16.01.0:00	32,9	11,4
16.01.12:00	32,9	11,4
17.01.0:00	32,95	11,4
17.01.12:00	32,95	11,4
18.01.0:00	32,95	11,4
18.01.12:00	32,95	11,4
19.01.0:00	32,95	11,4
19.01.12:00	32,95	11,4
20.01.0:00	32,98	11,4

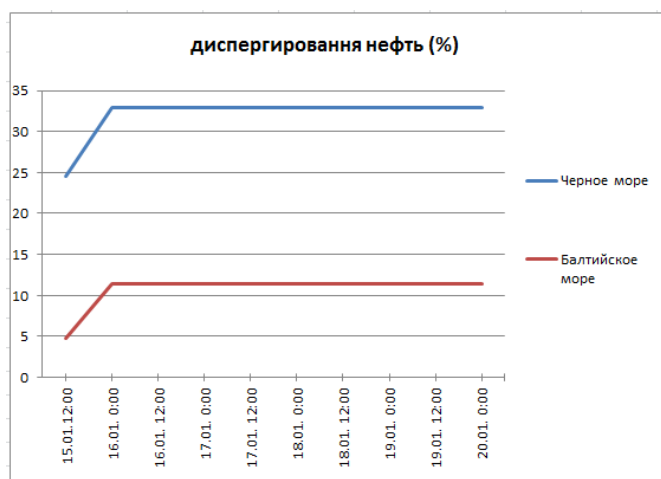


Рисунок 38. График по диспергированной нефти (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

Из рисунка 38 можно сказать следующее: в зимний период динамика диспергированной нефти в выбранных морях существенно разится. В Балтийском море с начала и до конца представленных дат значения гораздо ниже, чем в Черном. Уже спустя 12 часов и вплоть до 20.01 процент диспергированной нефти в Балтике остается одинаковым и составляет 11,4%. Почти та же картина наблюдается в Черном море, но спустя 1 день и 12 часов (с 17.01 12:00): процент диспергированной нефти остается на значении 32,95% почти до конца представленной даты, лишь к последним 12 часам число меняется на 32,98% с разницей в 0,03%.

Таблица 14. Данные по диспергированной нефти (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

летний период		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.07.12:00	9	2,4
16.07.00:00	25,4	12,8
16.07.12:00	26,2	12,85
17.07.00:00	27	12,85
17.07.12:00	27,8	12,9
18.07.00:00	28,6	12,9
18.07.12:00	29	12,9
19.07.00:00	29,3	12,9
19.07.12:00	29,6	12,95
20.07.00:00	30	12,95

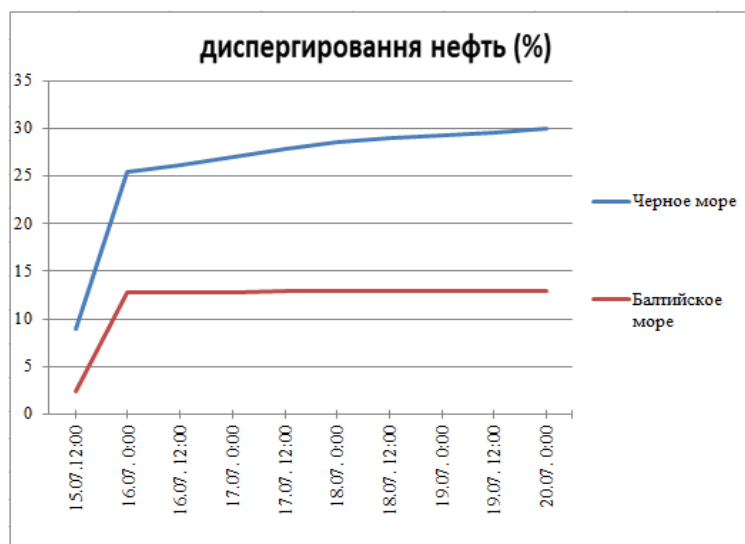


Рисунок 39. График по диспергированной нефти (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

Рассмотрим график по диспергированной нефти за летний период. Уже в начале видно, что Балтийское море, как и в зимнем периоде, уступает Черному морю. Через 12 часов после разлива значения в Балтике почти не меняются, незаметно каждый раз увеличиваясь на 0,005. В Черном же море динамика увеличения процента испарившейся нефти видна гораздо лучше: начиная с 16.07 0:00 значения монотонно растут вплоть до конца представленной даты.

Таблица 15. Данные по остатку (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

ЗИМНИЙ ПЕРИОД		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.01.12:00	55	76
16.01.0:00	36,4	56,5
16.01.12:00	35,4	53,5
17.01.0:00	35,1	52,1
17.01.12:00	35	51,5
18.01.0:00	34,8	51,2
18.01.12:00	34,6	51
19.01.0:00	34,4	50,9
19.01.12:00	34,2	50,8
20.01.0:00	34	50,7

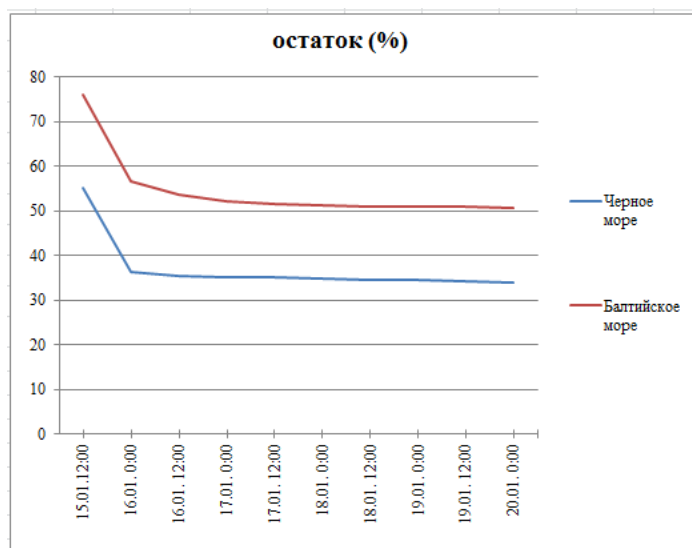


Рисунок 40. График по остатку (%) в Черном и Балтийском морях за зимний период

Остаток в Черном море меньше, чем в Балтийском, такая разница будет наблюдаться с начала и до конца периода представленного на графике времени. Через 12 часов после начала разлива процентное соотношение остатка в обеих акваториях падает: в Балтике с 76% до 56,5%; в Черном море с 55% до 36,4%. Далее значения в каждом из морей почти не меняются, чуть уменьшаясь каждый раз, оставаясь в среднем в пределах 34-36% (Черное море) и 50-53% (Балтийское море).

Таблица 16. Данные по остатку (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

летний период		
дата и время	Черное море	Балтийское море
15.07.12:00	68,1	76
16.07. 0:00	38,5	49
16.07. 12:00	37	48,3
17.07. 0:00	35,8	48
17.07. 12:00	34,6	47,8
18.07. 0:00	33,5	47,5
18.07. 12:00	32,5	47,2
19.07. 0:00	31,8	47
19.07. 12:00	30,8	46,9
20.07. 0:00	30,3	46,7

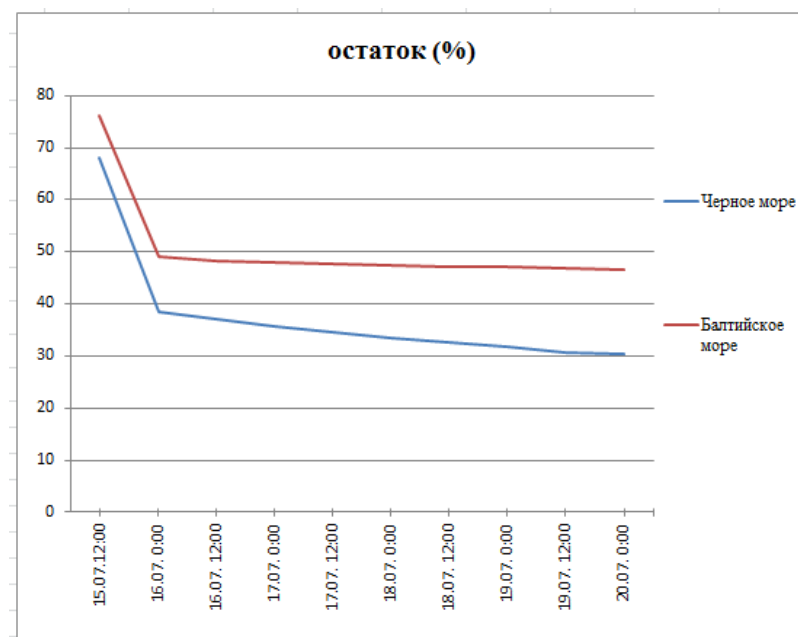


Рисунок 41. График по остатку (%) в Черном и Балтийском морях за летний период

На выше представленном графике (Рис. 41) за летний период картина примерно та же, что была и зимой – Черное море уступает Балтийскому в значении остатка. Их разница с начала вторых суток (16.07 0:00) составляет примерно 10,5%. С того же 16 числа и до 20 процент оставшейся нефти монотонно уменьшается в обоих морях.

Заключение

В результате проведенного исследования о трансформации нефти в морской среде при различных гидрометеорологических условиях выполнены следующие действия:

- сбор и анализ литературных источников об уровне загрязненности Мирового океана нефтью;
- сбор и анализ литературных источников о состоянии загрязненности нефтепродуктами Черного и Балтийского морей;
- анализ данных об изменчивости загрязненности вод Черного и Балтийского морей по многолетним данным;
- моделирование изменения свойств нефти в воде в Черном и Балтийском морях на модели ADIOS2;
- анализ построенных в программе ADIOS2 графиков по выбранным точкам в Черном и Балтийском морях;
- построение и анализ графиков по испарению, диспергированию и остатку нефти в выбранных акваториях.

По результатам проведенного исследования, установлено, что в Черном и Балтийском морях одни и те же процессы протекают по-разному. В акватории Черного моря, где для анализа мы взяли район Севастопольской бухты, нефтепродукты испаряются быстрее, чем в Балтийском море, где выбранной точкой стала восточная часть Финского залива, преимущественно район г. Санкт-Петербург. Скорость диспергирования больше также в акватории Черного моря. На основании этого, можно сделать вывод о том, что в Черном море процессы испарения, диспергирования протекают быстрее, а процессы самоочищения работают интенсивнее. Основными причинами служат более высокая температура воды и бóльшая скорость ветра.

Список использованной литературы

1. Лесихина Н., Рудая И., Киреева А., Кривонос О., Кобец Е. Аварии на нефтегазовых объектах – предотвращение и ликвидация (глава 4) // Доклад объединения Bellona: нефть и газ российской Арктики: экологические проблемы и последствия. – 2007. – С. 57-74.
2. Мусазаде О.В. статья “Источники нефтяного загрязнения Мирового океана” 26.02.2018.
3. Немировская И.А. “Нефтяные углеводороды в океане”// журнал “Природа” №3, 2008. – С. 20.
4. Харченко В.С. Разливы нефти: анализ тенденций последнего десятилетия. // Ученые записки Российской академии предпринимательства. 2019. – С. 183-184.
5. ЭКОСПАС: аварийно-спасательные системы; - “Экология. Разливы нефти”.
6. Oleg Makarynskyu “Marine Hydrocarbon Spill Assessments”; С. 28-30.
7. Иванов В.И., Фадин И.М. Инженерная экология и экологический менеджмент. – М.: Логос, 2003.С.103.
8. Бескид П.П., Дурягина Е.Г., Фруммин Г.Т. “Цикл нефтяного загрязнения от попадания в морскую среду до удаления”; РГГМУ – Экологическая химия, 2011 г.; С.76-77.
9. Патин С.А., “Нефть и экология континентального шельфа”, М.:ВНИРО, 2001, С. 197.
10. Бескид П.П., Дурягина Е.Г, “Загрязнение морской среды нефтью и нефтепродуктами”, 2010; С. 54.
11. ФГБОУ “ГОИН” - “Качество морских вод по гидрохимическим показателям”. Ежегодники гидрохимического состояния морей за 2012-2021 гг.
12. Зацева С.Н., Ивченко А.А., Солбаков В.В., Становой В.В.- “Прогнозирование распространения нефти и нефтепродуктов в случае аварийного разлива на морских акваториях”- 2016 г.; С.76.

13. Костяной А.Г., Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю. , Митягина М.И., Бочаров Т.Ю., Станичный С.В. , Соловьев Д.М. , Лебедев С.А., Сирота А.М.; - “Оперативный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря”; С.26.

14. ООО “Лукойл-КМН” Обзор результатов экологического мониторинга морского нефтяного месторождения “Кравцовское” (D6); 2021 г., С.14.

15. Костяной А.Г., Булычева Е.В., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., - “Нефтяное загрязнение юго-восточной Балтики и Финского залива”, С.35.

16. Rp5 – электронный источник – Режим доступа: <https://rp5.ru> .