МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»
(квалификация – бакалавр)

На тему «Оценка разливов нефти и их содержание в береговой зоне и донных отложениях Черноморского побережья, меры по их снижению»

Исполнитель: Микляев Александр Викторович

Руководитель: д.б.н, профессор Романенко Александр Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«23» Июня 2025 г.

Филиал Российского государственного гидрометеорологического университета в г. Туапсе
НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН
«23» Июня 2025 г.
Русанова / Русанова М.А.
ПОДПИСЬ РАСШИФРОВКА ПОДПИСИ

Туапсе
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....3
1 Физико-химический состав нефти и её влияние на окружающую среду.....5
1.1 Физико-химический состав нефти.....5
1.2 Влияние нефтеразливов на окружающую среду.....14
2 Анализ динамики концентраций нефти в донных отложениях на береговой части Черного моря.....28
2.1 Анализ содержания нефтепродуктов в донных отложениях на северо-восточных территория с 1993 по 2010 год.....28
2.2 Анализ содержания нефтепродуктов в донных отложениях на юго-восточных территория с 2016 по 2020 год.....37
3 Методы локализации разливов и ликвидации нефтяного загрязнения.....51
Заключение.....60
Список литературы.....64

Введение

Нефть и нефтепродукты играют ключевую роль в современной экономике и энергетике, однако их добыча, транспортировка и переработка сопряжены с высокими экологическими рисками. Разливы нефти представляют одну из наиболее серьёзных угроз для окружающей среды, оказывая многокомпонентное негативное воздействие на гидросферу, почвенный покров, атмосферу и биологическое разнообразие. Несмотря на совершенствование технологий, аварийные ситуации, связанные с утечкой нефти, продолжают происходить, приводя к масштабным экологическим катастрофам.

Черное море, как один из ключевых водных бассейнов, подвергается значительной антропогенной нагрузке, особенно в его северо-восточной и юго-восточной частях. Интенсивная хозяйственная деятельность, включая судоходство, добычу и транспортировку углеводородов, а также функционирование портовых комплексов, приводит к накоплению нефтепродуктов в донных отложениях. Эти отложения служат долговременным депо для загрязняющих веществ, создавая потенциал для вторичного загрязнения водной толщи и оказывая негативное влияние на морские экосистемы.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных мер по снижению антропогенной нагрузки на морские экосистемы и минимизации последствий нефтяного загрязнения. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования системы экологического мониторинга, разработки региональных нормативов и планирования природоохранных мероприятий.

Объект исследования – донные отложения береговой части Черного моря, подверженные нефтяному загрязнению.

Предмет исследования – динамика концентраций нефтепродуктов в донных отложениях, их влияние на окружающую среду и методы локализации разливов.

Цель работы – анализ динамики нефтяного загрязнения донных отложений Черного моря и оценка эффективности методов борьбы с нефтеразливами.

Задачи исследования:

- Изучить физико-химический состав нефти и его влияние на окружающую среду;
- Провести анализ динамики концентраций нефти в донных отложениях Черного моря;
- Рассмотреть методы локализации и ликвидации нефтяного загрязнения.
- Изучить современные технологии предотвращения и устранения разливов.

1 Физико-химический состав нефти и её влияние на окружающую среду

1.1 Физико-химический состав нефти

Нефть является одним из ключевых природных ресурсов, играющих значительную роль в современной экономике и энергетике. Однако её добыча, транспортировка и переработка сопряжены с высокими экологическими рисками, поскольку нефть представляет собой сложную многокомпонентную смесь углеводородов и гетероатомных соединений, способных оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

Физико-химические свойства нефти определяют её поведение в природных средах, степень токсичности, устойчивость к деградации и потенциальную опасность для экосистем. Состав нефти варьируется в зависимости от месторождения, глубины залегания и геохимических условий формирования, что обуславливает различия в её плотности, вязкости, температуре кипения, содержании серы, парафинов, смол и асфальтенов.

Изучение физико-химического состава нефти имеет принципиальное значение для оценки её влияния на окружающую среду, разработки эффективных методов ликвидации разливов и минимизации экологического ущерба. В данном разделе рассматриваются основные компоненты нефти, их классификация и свойства, а также факторы, определяющие степень опасности нефтяного загрязнения для биоты и природных систем.

Нефть (от персидского naft – вспыхивать, воспламеняться) – горючая маслянистая жидкость со специфическим запахом от светло-коричневого (почти бесцветного) до тёмно-бурого (почти черного) цвета. Это жидкие гидрофобные продукты процесса фоссилизации органического вещества пород, захороненного в субаквальных отложениях.

В химическом отношении нефть представляет систему сложного природного углеводородного раствора, в котором растворителем являются легкие углеводороды (УВ), а растворенными веществами прочие компоненты – тяжелые УВ, смолы, асфальтены.

В составе нефти обнаружены сотни углеводородов различного строения, многочисленные гетероорганические соединения. Впервые понятие о нефти как о природном УВ – растворе было введено А.Н. Гусевой. Ранее нефть считали смесью природных органических соединений.

В растворе не только присутствуют частицы растворенного вещества и растворителя, но и может происходить физическое и химическое взаимодействие частиц растворенного вещества и растворителя. Кроме того, растворы характеризуются эмерджентными, или вновь появляющимися свойствами, которые не были присущи исходным компонентам.

С физической точки зрения нефть рассматривается как раствор газообразных и твердых углеводородов в жидкости. Природная нефть, добываемая из недр Земли, всегда содержит некоторое количество растворенных в ней газов (попутные природные газы), главным образом метана и его гомологов.

Определение индивидуального состава нефти представляет собой сложную и трудоемкую задачу, требующую применения высокоточных аналитических методов. Однако в практической деятельности, особенно при технологических расчетах, оценке качества сырья и готовых нефтепродуктов, чаще используется технический анализ. Данный подход позволяет с достаточной точностью определить ключевые физико-химические и эксплуатационные характеристики без детализации молекулярного состава.

Современные методы технического анализа обеспечивают комплексную оценку свойств нефтепродуктов в различных условиях применения. Полученные данные дают возможность установить взаимосвязь между составом нефтяных фракций и их функциональными характеристиками, что крайне важно для оптимизации процессов переработки и рационального использования конечных продуктов.

Среди применяемых методик особое значение имеют:

- определение плотности и вязкости, влияющих на транспортировку и переработку сырья;

- оценка фракционного состава, определяющего температурные диапазоны кипения;
- анализ содержания сернистых соединений, смол, парафинов и других примесей, от которых зависят эксплуатационные и экологические свойства нефтепродуктов.

Использование комплекса методов позволяет не только контролировать качество продукции, но и прогнозировать её поведение в реальных условиях, что имеет важное значение как для технологических процессов, так и для минимизации экологического ущерба.

физические - определение плотности, вязкости, температуры плавления, замерзания и кипения, теплоты сгорания, молекулярной массы, а также некоторых условных показателей (пенетрация, дуктильность);

химические, использующие классические приемы аналитической химии;

физико-химические - колориметрия, потенциометрическое титрование, нефелометрия, рефрактометрия, спектроскопия, хроматография;

специальные - определение октанового и цетанового чисел моторных топлив, химической стабильности топлив и масел, коррозионной активности, температуры вспышки и воспламенения и др.

Рисунок 1.1 – Методы характеризующие свойства нефтепродуктов

Одним из ключевых параметров, характеризующих нефть, является ее плотность, определяемая как масса вещества в единице объема. В большинстве случаев нефть имеет меньшую плотность по сравнению с водой, что легко демонстрируется простым экспериментом: при смешивании этих жидкостей нефтяной слой располагается поверх водного. Для количественной оценки данного показателя в нефтехимии используется относительная плотность – безразмерная величина, представляющая собой отношение плотности нефти при 20°C к плотности воды при 4°C [1, с. 34].

Диапазон значений относительной плотности нефтей достаточно широк -

от 0,5 до 1,05 кг/дм³, при этом наиболее распространены нефти с показателями 0,82-0,95 кг/дм³. В зависимости от величины этого параметра нефти классифицируют на:

- легкие (до 0,85 кг/дм³), характеризующиеся преобладанием метановых углеводородов;
- средние (0,85-0,90 кг/дм³);
- тяжелые (свыше 0,90 кг/дм³), содержащие преимущественно циклические соединения.

На плотность нефти оказывают влияние многочисленные факторы, включая химический состав, фракционное распределение, концентрацию смолистых компонентов и растворенных газов. Существенную роль играют также условия залегания: как правило, с увеличением глубины плотность нефти уменьшается, хотя возможны исключения, связанные с миграционными процессами [2, с. 120].

Для экспериментального определения плотности применяют различные методы, различающиеся по точности и сложности выполнения:

- ареометрия (нефтеденсиметрия);
- метод взвешенной капли;
- гидростатическое взвешивание;
- пикнометрический анализ (наиболее точный).

Полученные данные о плотности в сочетании с другими физико-химическими характеристиками (коэффициент преломления, молекулярная масса) позволяют проводить структурно-групповой анализ нефтяных фракций.

Не менее важным эксплуатационным параметром является вязкость, характеризующая сопротивление жидкости течению. В практических исследованиях чаще всего используют кинематическую вязкость, определяемую как отношение динамической вязкости к плотности при заданной температуре. Следует подчеркнуть, что вязкость нефтей существенно зависит от температуры измерения - стандартные определения проводят при 50°С. Типичные значения этого параметра для различных нефтей колеблются в

пределах 1,2-55 сСт (сантистоксов) [16, с. 84].

На величину вязкости влияют следующие факторы:

- химическая природа углеводородов;
- фракционный состав;
- содержание асфальто-смолистых компонентов.

Установлена обратная зависимость вязкости от температуры и прямой углеводородный ряд: наименьшие значения наблюдаются для легких метановых нефтей, наибольшие – для тяжелых смолистых нефтей с преобладанием ароматических и нафтеновых структур.

Нефть и нефтепродукты характеризуются крайне низкой растворимостью в водной среде, которая обычно не превышает сотых долей процента. Это свойство обусловлено существенными различиями в полярности молекул: вода как высокополярный растворитель плохо взаимодействует с неполярными углеводородными соединениями. При этом важно различать два процесса: растворимость углеводородов в воде и, наоборот, воды в углеводородах, которые имеют разные механизмы и количественные характеристики.

Исследования показывают, что растворимость нефтепродуктов в воде уменьшается по мере увеличения их молекулярной массы. Так, легкие фракции (бензины) демонстрируют несколько большую растворимость по сравнению с тяжелыми (керосинами и маслами). Для всех нефтепродуктов характерно увеличение растворимости в воде при повышении температуры до критической точки. В то же время, способность углеводородов растворять воду варьируется в зависимости от их химической природы: наибольшая растворимость воды наблюдается в непредельных и ароматических углеводородах (до 0,13% при 40°С), тогда как в метановых углеводородах она минимальна [4, с. 201].

Практическое значение этих процессов особенно важно при эксплуатации топливных систем. Например, выделение микрокапель воды или кристаллов льда из моторного топлива может вызывать серьезные проблемы в работе двигателей. Следует отметить, что растворимость воды в бензинах существенно выше, чем бензинов в воде, причем с увеличением плотности нефтепродуктов

эта разница становится более выраженной.

Особый интерес представляет способность нефти растворять углеводородные газы. В отличие от воды, нефть может содержать до 400 м³ газа на 1 м³ жидкости, что примерно на порядок превышает растворимость природного газа в водной среде. Эта характеристика зависит от состава газа: так называемые «жирные» газы, содержащие значительное количество этана, пропана и бутана, растворяются в нефти лучше, чем «сухие», состоящие преимущественно из метана [3, с. 317].

При определенных термодинамических условиях (давление 20-25 МПа, температура 90-95°С) наблюдается уникальное явление ретроградного испарения, когда жидкие углеводороды переходят в газовую фазу. Этот процесс обратен обычной конденсации и имеет важное значение при разработке газоконденсатных месторождений. При снижении давления и температуры в процессе добычи происходит обратная конденсация, приводящая к образованию жидких углеводородов из газовой фазы [5, с. 301].

Химический состав нефтей варьируется в зависимости от месторождения, но основные компоненты остаются неизменными: углерод (79,5-87,5%) и водород (11,0-14,5%) составляют основу всех нефтяных систем. Различия в содержании других элементов и соединений определяют индивидуальные свойства конкретных нефтей и особенности их переработки (рисунок 1.2).

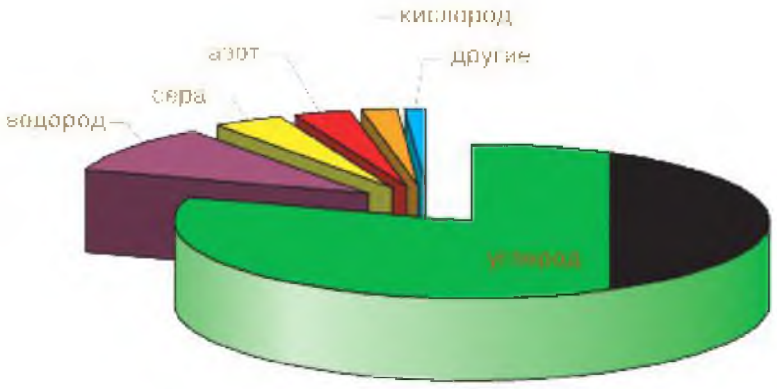

Рисунок 1.2 – Химический состав нефти

Помимо углеводородной основы, нефть содержит значительное

количество гетероатомных соединений, включающих серу (0,1-8%), кислород (0,05-3,5%) и азот (0,001-2%). Эти элементы образуют сложные органические соединения, существенно влияющие на физико-химические свойства нефти и технологию ее переработки [26, с. 259]. Особый интерес представляют сернистые соединения, которые могут присутствовать в различных формах: от легколетучих (сероводород, меркаптаны) до высокомолекулярных (тиофены, дисульфиды). При хранении нефти возможно образование элементарной серы в виде аморфных отложений.

Важной характеристикой является распределение сернистых соединений по фракциям. Наибольшая их концентрация (до 85% от общего содержания) обычно сосредоточена в высококипящих фракциях – мазуте и гудроне. Это объясняется тем, что молекулы сероорганических соединений преимущественно имеют сложную циклическую структуру и высокую молекулярную массу.

В нефтях также обнаруживаются микропримеси металлов, среди которых особое технологическое значение имеют ванадий и никель (до 0,03% масс.). Эти элементы входят в состав порфириновых комплексов и могут вызывать каталитическое отравление при переработке нефти. Кроме того, в небольших количествах присутствуют железо, медь, алюминий, а также неметаллы - бор, мышьяк, йод.

Сырая нефть, поступающая из скважин, содержит ряд нежелательных компонентов:

- растворенные углеводородные газы;
- пластовую воду с растворенными солями;
- механические примеси (частицы породы, глины).

Эти примеси вызывают коррозию оборудования, образование отложений в трубопроводах и ухудшают качество конечных продуктов. Поэтому на нефтепромыслах осуществляется комплекс подготовительных операций, включающий:

1. Обезвоживание (снижение содержания воды до 0,1-1%);

2. Обессоливание (удаление хлоридов и других минеральных солей);

3. Стабилизацию (отделение легких углеводородов).

Следует отметить, что современные методы подготовки нефти позволяют не только улучшить ее качество, но и повысить эффективность добычи за счет предотвращения образования парафиновых и солевых отложений в скважинном оборудовании.

Таблица 1 показывает элементный состав различных видов горючих ископаемых.

Таблица 1 – Элементный состав некоторых горючих ископаемых

Ископаемые	Углерод%	Водород%	Кислород, сераи др.%
Нефть	79, 5- 87,5	11, 0- 14,5	0, 5- 8,0
Сланцы	76,6	9,2	14,2
Торф сухой	57,7	6,1	36,2
Уголь:			
каменный	81,3	5,2	13,5
бурый	74,8	5,1	20,1

Нефть и нефтепродукты не могут быть разделены на отдельные соединения обычными методами перегонки. Для этого используется специальный процесс, который позволяет разделить их на более простые компоненты.

Фракции, или дистилляты, представляют собой группы углеводородов, которые выпариваются при определенных температурах.

Характерной особенностью нефти и нефтепродуктов является их сложный фракционный состав, проявляющийся в постепенном испарении компонентов при нагревании. Каждая фракция имеет определенный температурный интервал кипения, который определяется молекулярной массой и строением входящих в нее углеводородов. Эти свойства легли в основу важнейших аналитических методов исследования нефтяного сырья.

В лабораторной практике для изучения состава нефтей применяют различные виды перегонки, выбор которых зависит от физико-химических

характеристик анализируемых веществ:

Низкотемпературная ректификация (до 20°С) используется для выделения легких углеводородных фракций и сжиженных газов. Этот метод требует специального оборудования, позволяющего работать с высоколетучими соединениями.

Среднетемпературная перегонка (20-350°С) является наиболее распространенным способом разделения светлых нефтепродуктов – бензиновых, керосиновых и дизельных фракций. Полученные данные позволяют оценить потенциальный выход моторных топлив.

Вакуумная дистилляция применяется для исследования высококипящих компонентов (выше 350°С), которые при атмосферном давлении подвергаются термическому разложению. Снижение давления в системе позволяет понизить температуру кипения и сохранить целостность молекул.

Молекулярная дистилляция представляет собой особый метод очистки высокомолекулярных соединений, осуществляемый при глубоком вакууме (остаточное давление 0,1-1 Па). Эта технология находит применение при работе с масляными фракциями и нефтяными остатками.

Отдельного внимания заслуживает метод однократного испарения, при котором исследуемый образец подвергается одномоментному нагреву с последующей конденсацией паров. Данный подход позволяет моделировать промышленные процессы переработки нефти и оценивать потенциальный выход целевых продуктов.

Следует отметить, что современные аналитические методики часто сочетают различные виды дистилляции с хроматографическими и спектроскопическими методами исследования, что значительно повышает точность определения состава нефтяных фракций.

Нефть представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую преимущественно из углеводородных соединений с различной молекулярной массой и структурой. В ее состав также входят гетероатомные соединения (серо-, азот- и кислородсодержащие), металлорганические

комплексы и неорганические примеси, которые существенно влияют на физико-химические свойства и технологию переработки.

Ключевыми характеристиками нефти являются плотность, вязкость и фракционный состав, определяющие ее поведение при добыче, транспортировке и переработке. Легкие нефти, обогащенные алканами, обладают меньшей плотностью и вязкостью по сравнению с тяжелыми, содержащими значительное количество циклических и ароматических углеводородов, а также асфальто-смолистых компонентов.

Особое значение имеет растворимость нефти и нефтепродуктов в различных средах. Углеводороды практически не смешиваются с водой, однако способны растворять значительные объемы газов, что важно при разработке газоконденсатных месторождений. Наличие примесей (сероводорода, солей, механических включений) требует проведения предварительной подготовки нефти, включающей обезвоживание, обессоливание и стабилизацию.

Для анализа состава нефти применяют комплекс методов, основанных на фракционной перегонке, хроматографии и спектроскопии. В зависимости от температурного диапазона кипения компонентов используют атмосферную, вакуумную или молекулярную дистилляцию, что позволяет точно определить потенциальный выход светлых и масляных фракций.

Таким образом, физико-химический состав нефти является определяющим фактором при оценке ее качества, выборе методов переработки и прогнозировании воздействия на окружающую среду. Дальнейшие исследования в этой области способствуют разработке более эффективных и экологически безопасных технологий нефтепереработки.

1.2 Влияние нефтеразливов на окружающую среду

Нефтеразливы представляют собой одну из наиболее серьёзных угроз для экосистем, оказывая многокомпонентное негативное воздействие на все элементы окружающей среды: гидросферу, почвенный покров, атмосферу и

биологическое разнообразие. Несмотря на совершенствование технологий добычи, транспортировки и переработки углеводородов, аварийные ситуации, связанные с утечкой нефти и нефтепродуктов, продолжают происходить, приводя к масштабным экологическим катастрофам.

Нефть, обладая сложным физико-химическим составом, включает в себя токсичные соединения (такие как полициклические ароматические углеводороды, тяжёлые металлы и сернистые компоненты), которые способны длительно сохраняться в природных средах, нарушая естественные биохимические циклы. Последствия разливов проявляются как в краткосрочной перспективе (гибель организмов, деградация местообитаний), так и в долгосрочной (кумулятивное загрязнение, генетические мутации у биологических видов, снижение продуктивности экосистем).

Особую опасность представляют нефтеразливы в водных экосистемах, где нефть образует плёнку на поверхности воды, препятствуя газообмену и фотосинтезу, а также проникает в донные отложения, становясь источником вторичного загрязнения. На суше нефть нарушает структуру почвы, угнетает микрофлору и делает территории непригодными для сельского хозяйства.

В данном разделе рассматриваются ключевые аспекты воздействия нефтеразливов на окружающую среду, анализируются механизмы распространения загрязнителей, их трансформация в природных условиях и последствия для живых организмов. Особое внимание уделяется различиям в степени уязвимости экосистем в зависимости от их типа, климатических условий и масштабов загрязнения.

Чаще всего окружающую среду загрязняют нефтью, когда она выплескивается на водную поверхность (море).

Нефтяные разливы быстро распространяются на воде, особенно летом из-за тепла, в то время как зимой они распространяются медленнее из-за холода.

Нефть разливается толще у берега. Передвижение зависит от ветра, течения и приливов. Некоторые виды нефти могут тонуть и двигаться под водой или по поверхности в зависимости от течения и приливов.

Сырая нефть и ее продукты меняются в зависимости от окружающих условий: температуры, влажности и освещения. Низкомолекулярные компоненты быстро испаряются.

При разливах различных типов нефти и нефтепродуктов количество испарений варьируется от 10% до 75%.

Влияние свойств нефти и грунтов на поведение нефти на берегу.

Некоторые легкие компоненты могут растворяться в воде, делая нефть менее плавучей.

Под воздействием солнечных лучей нефть окисляется. Тонкая пленка нефти и нефтяной эмульсии окисляется быстрее в воде, чем толстый слой нефти. Нефть с высоким содержанием металла или низким содержанием серы окисляется быстрее, чем нефть с меньшим количеством металла или большим содержанием серы (таблица 2).

Таблица 2 – Поведение выброшенной на берег нефти.

Тип береговой полосы	Размер частиц	Поведение нефти
Скалы,валуны,искусственныесооружения	> 250	Нефть часто выносится волнами на искусственные сооружения ,скальные выходы коренных пород и клифы, но может забрасываться выше б зону заплеска, где аккумулируется рядами на пористых поверхностях. Нефть может накапливаться в небольших межскальных заводях и обволакивать скалы в зависимости от колебания уровня воды, связанного с высотой волны. Эта нефть обычно быстро смывается в море под действием волн, однако на мелководье она устойчива.
Валуны,щебень, галька	1- 250мм	Проникновение нефти растет с увеличением размера частицгрунта, в районах с сильным волнением поверхность камней быстроочищается путем механического воздействия. Низковязкие нефтивымываются из пляжа в результатеестественного движения воды.

Вода и движение смешивают нефть, образуя либо нефте-водяную эмульсию, которая растворяется со временем, либо водо-нефтяную эмульсию, которая не растворяется.

Эмульсия содержит от 10% до 80% воды и имеет плотный вязкий вид, часто называемый «шоколадным муссом». Он распространяется медленно и может сохраняться на воде или берегу неизменным в течение длительного времени.

Нефть, превращая её в эмульсию, что может негативно сказаться на живых организмах. нефть состоит из простых углеводородов и не углеводородных компонентов.

Попадая в водную среду, нефть подвергается сложным процессам трансформации, ключевую роль в которых играет микробиологическая деградация. Легкие фракции нефти, обладая относительно высокой подвижностью, частично испаряются или растворяются в воде, тогда как тяжелые компоненты (асфальтены, смолы) адсорбируются на взвешенных частицах и постепенно осаждаются на донные отложения. При этом скорость и эффективность их разложения существенно варьируются в зависимости от комплекса абиотических и биотических факторов.

На процесс биодеградации нефтяных углеводородов непосредственное влияние оказывают:

- температурный режим водоема;
- концентрация растворенного кислорода;
- соленость воды;
- кислотно-щелочной баланс (pH);
- наличие биогенных элементов (азот, фосфор).

Оптимальные условия для микробного метаболизма создаются при умеренных температурах (15–25°C), нейтральном pH и высокой аэрации. В таких условиях специализированные гидролитические бактерии (родов Pseudomonas, Acinetobacter, Alcanivorax) способны быстро колонизировать нефтяное пятно, используя углеводороды в качестве источника углерода и энергии [6, с. 295]. По данным исследований, до 40–50% разлитой нефти может быть утилизировано микроорганизмами в течение первых месяцев после аварии.

Особую экологическую роль в процессах биоочистки играют фильтрующие организмы (двустворчатые моллюски, зоопланктон), которые аккумулируют нефтяные частицы в своих тканях. Хотя большинство из них не способны к полной метаболизации углеводородов, их деятельность способствует временной иммобилизации загрязнителей и последующей передаче по трофическим цепям. Отдельные виды морских беспозвоночных (например, некоторые полихеты и ракообразные) обладают ферментными системами, позволяющими частично расщеплять нефтепродукты.

Продолжительность сохранения нефти в экосистеме определяется:

- географическими условиями – в арктических широтах нефть, заключенная в ледовый покров, может персистировать до весеннего таяния, тогда как в умеренных широтах основная масса разлива элиминируется за 3–6 месяцев;
- гидродинамическими характеристиками – в защищенных бухтах с илистыми отложениями остаточные нефтепродукты могут сохраняться до 10 лет, тогда как на открытых скалистых побережьях волновое воздействие ускоряет их разрушение;
- химическим составом нефти – легкие сорта (например, Brent) деградируют значительно быстрее тяжелых высокосернистых нефтей (типа Urals).

Важно отметить, что даже после видимой очистки воды донные отложения могут длительное время служить вторичным источником загрязнения, особенно в условиях аноксии (отсутствия кислорода), которая подавляет активность аэробных деструкторов. Это требует комплексного мониторинга не только водной толщи, но и седиментационных процессов в постспилловый период.

Штормы периодически разносят нефть в море, но в холодных климатических зонах она может задерживаться в отложениях или на берегу дольше, чем в умеренных и тропических условиях из-за меньшей активности.

В холодных климатических условиях нефть может сохраняться на

укрытых от приливов и сырых участках в течение длительного времени из-за недостатка кислорода для разложения.

Нефть, разлившаяся на земле или в воде, подвергается различному воздействию погоды. Небольшие разливы на водной поверхности могут сохраняться без изменений до тех пор, пока не достигнут берега. В океане же нефть подвержена сильному воздействию погоды.

Скорость течения воды, степень проницаемости почвы, количество растительности, направление ветра и волнение влияют на время, которое нефть сохраняется у береговой линии.

При попадании нефти на почвенный покров запускаются сложные процессы её физико-химической трансформации. Легкие фракции подвергаются испарению и атмосферному окислению, тогда как тяжелые компоненты проникают вглубь почвенного профиля. В случаях, когда разлив происходит на участках с пористыми грунтами и высоким уровнем залегания грунтовых вод, существует высокая вероятность миграции углеводородов в водоносные горизонты, что приводит к их длительному загрязнению [7, с. 140]. Микробиоценозы почвы, играющие ключевую роль в деструкции нефтепродуктов, могут угнетаться токсичным воздействием углеводородов, особенно в первые недели после загрязнения.

Особую уязвимость к нефтяному загрязнению демонстрируют водоплавающие и околоводные птицы. По данным орнитологических исследований, среднестатистический разлив приводит к гибели около 5 000 особей. Механизмы негативного воздействия носят комплексный характер:

При контакте с нефтяной плёнкой происходит разрушение структуры перьевого покрова, что нарушает терморегуляцию и плавучесть птиц. Потеря гидрофобных свойств оперения приводит к переохлаждению и, как следствие, к гипотермии.

Углеводороды попадают в организм птиц тремя основными путями:

- при груминге (чистке перьев клювом),
- с загрязнённой пищей и водой,

- через дыхательную систему (ингаляция летучих соединений).

Хотя острые отравления встречаются редко, хроническая интоксикация вызывает патологии печени, почек и репродуктивной системы. Наиболее критичным последствием является нарушение пищевого поведения – птицы теряют способность эффективно добывать корм, что приводит к истощению [27, с. 98].

Загрязнение нефтепродуктами мест гнездования вызывает:

- снижение выводимости птенцов из-за проникновения углеводородов в скорлупу яиц,
- повышение уязвимости к хищникам из-за ухудшения маскировочных свойств оперения,
- деградацию кормовой базы в результате гибели водных беспозвоночных.

Как показано на Рисунке 1.3, основной причиной гибели птиц становятся не непосредственные токсические эффекты, а комплекс вторичных факторов - нарушение терморегуляции, голодание и повышенная подверженность заболеваниям. Наибольшие потери отмечаются среди видов с водным образом жизни (гагары, поганки, утиные), чья экология тесно связана с поверхностным слоем воды, где концентрируется основная масса нефтяных углеводородов.

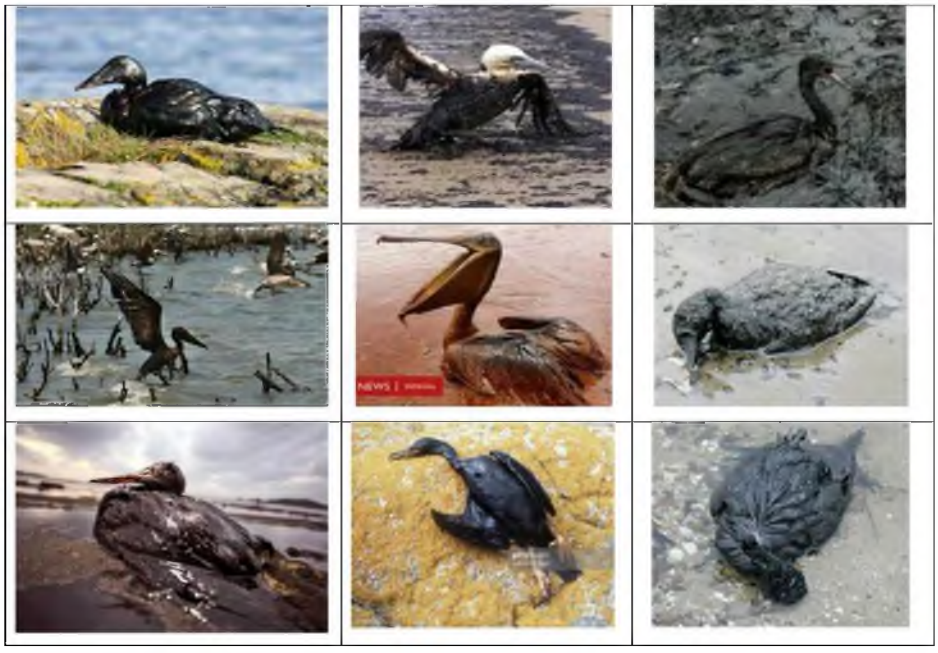

Рисунок 1.3 – Последствия для птиц от нефтяного загрязнения

Яйца птиц страдают от воздействия нефти, что может привести к гибели в период инкубации из-за загрязненной скорлупы и оперения.

Медленное воздействие на экосистему. Это может привести к загрязнению воды, почвы и воздуха, что в конечном итоге может привести к гибели растений, животных и других организмов. Нефть может также попадать в пищевую цепь, что угрожает здоровью людей, потребляющих загрязненные продукты. Поэтому очень важно предотвращать разливы нефти и максимально быстро устранять их последствия. длительное воздействие нефти на птиц может привести к сокращению использования зараженных участков из-за испарений нефти, нехватки пищи и мероприятий по очистке. Загрязненные участки могут изменить биоценоз на долгие годы.

Степень изученности воздействия нефтяных загрязнений на различные группы животных существенно варьирует. Наименее исследованным остается вопрос влияния на наземных млекопитающих, тогда как данные по морским млекопитающим представлены более полно. Особую уязвимость демонстрируют виды, обладающие густым мехом - морские выдры, тюлени, сивучи. Нефтяное загрязнение приводит к разрушению структуры волосяного покрова, что вызывает нарушения терморегуляции и повышает энергозатраты организма на 30-50% [22, с. 179]. У китообразных, лишенных волосяного покрова, основной удар приходится на кожные покровы и органы дыхания.

Токсикологическое воздействие проявляется по-разному в зависимости от вида:

- у ластоногих отмечается абсорбция углеводородов через кожу;
- у китообразных преобладают респираторные поражения;
- у белых медведей наблюдается наиболее тяжелая интоксикация при попадании нефти в организм.

Наибольший дефицит данных существует в отношении рептилий и земноводных. Известны случаи массовой гибели морских черепах (Chelonia mydas) после разлива в Мексиканском заливе, где зафиксированы:

- аномалии развития эмбрионов;

- нарушение ориентации молодых особей;
- скопления нефтяных сгустков в пищеварительном тракте.

Экспериментальные исследования демонстрируют высокую чувствительность личиночных стадий земноводных к нефтяному загрязнению. При контакте с мазутом №6 у личинок Rana sylvatica наблюдались:

- 80-100% смертность на поздних стадиях развития;
- нарушения двигательной активности;
- изменение поведенческих реакций.

Разливы нефти оказывают комплексное воздействие на экосистемы:

- Прямая токсичность для гидробионтов;
- Изменение трофических цепей;
- Долгосрочные нарушения репродуктивных функций.

Особую опасность представляют хронические загрязнения, которые даже при невысоких концентрациях могут вызывать кумулятивные эффекты. Восстановление популяций после крупных разливов занимает 15-25 лет, что существенно превышает сроки естественного воспроизводства многих видов (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 – Массовое вымирание рыбы после нефтяного загрязнения

Степень воздействия нефтяных загрязнений на ихтиофауну существенно

варьирует в зависимости от видовых особенностей и стадии онтогенеза. Взрослые особи большинства видов рыб в крупных водоемах демонстрируют относительно высокую устойчивость к нефтяному загрязнению благодаря эффективным детоксикационным механизмам. Однако даже незначительные концентрации углеводородов (0.1-1 мг/л) могут вызывать у чувствительных видов (например, форели) комплекс патологических изменений:

- нарушения сердечной деятельности и дыхательной функции;
- гистопатологические изменения печени;
- аномалии развития плавников;
- отклонения в поведенческих реакциях.

Наибольшую уязвимость проявляют ранние стадии развития рыб. Икра и личинки, обитающие в поверхностных слоях воды, подвергаются максимальному воздействию, что приводит к:

- повышению эмбриональной смертности;
- нарушениям постэмбрионального развития;
- снижению скорости роста молоди.

На примере разлива нефти в Балтийском море (1969 г.) было показано, что, несмотря на массовую гибель рыбы в первые месяцы после аварии, уже через два года различия между загрязненными и контрольными участками по основным популяционным показателям (возрастная структура, темпы роста) стали статистически незначимыми. Однако авторы отмечают методологическую проблему – отсутствие достоверных данных о состоянии популяций до разлива существенно ограничивает возможности анализа.

Беспозвоночные животные, особенно бентосные формы, являются высокочувствительными биоиндикаторами нефтяного загрязнения благодаря:

- ограниченной способности к миграции;
- непосредственному контакту с донными отложениями;
- накоплению токсинов в тканях.

Продолжительность восстановления зообентосных сообществ после разливов варьирует от нескольких недель до десятилетия и зависит от:

- типа нефтепродуктов (сырая нефть/мазут);
- гидрологических условий района;
- видового состава сообщества.

Зоопланктонные организмы демонстрируют более быстрое восстановление благодаря:

- высокой скорости размножения;
- возможностям миграции с незагрязненных участков;
- эффекту разбавления в крупных водоемах.

При этом следует учитывать, что даже после видимого восстановления численности в сообществах беспозвоночных могут сохраняться долгосрочные изменения видового состава и трофической структуры, оказывающие опосредованное влияние на всю экосистему.

Растения, не способные передвигаться, идеальны для изучения воздействия загрязнения на окружающую среду.

По данным исследований, разливы нефти влияют на экосистему, вызывая гибель растений и животных, разрушение болот и увеличение микробов.

Воздействие на наземные и водные растения

Продолжительность негативного воздействия нефтяных загрязнений на растительные сообщества варьирует в широких пределах – от нескольких недель до 15 лет, что обусловлено комплексом факторов:

- химическим составом нефтепродуктов;
- типом растительного сообщества;
- условиями окружающей среды.

Наиболее устойчивыми к нефтяному загрязнению оказываются фитопланктонные сообщества, демонстрирующие восстановление в течение одного вегетационного сезона. В то же время мангровые экосистемы, выполняющие важные берегозащитные функции, требуют для полного восстановления 10-15 лет даже при проведении механической очистки, которая сокращает период регенерации на 25-50% [23, с. 254].

Лабораторные и полевые исследования выявили несколько ключевых

механизмов влияния углеводородов на растительные организмы:

- нарушение процессов фотосинтеза за счет образования нефтяной пленки на листовых пластинах водных растений;
- изменение структуры хлоропластов у наземных видов;
- ингибирование ростовых процессов;
- нарушение репродуктивных функций.

Особую чувствительность демонстрируют морские травы (Zostera, Posidonia) и солончаковая растительность, у которых даже незначительные концентрации нефтепродуктов вызывают:

- снижение биомассы на 30-70%;
- изменение видового состава сообществ;
- нарушение сезонной динамики роста.

Современные исследования подтверждают эффективность использования углеводородокисляющих микроорганизмов для восстановления загрязненных территорий. Микробные консорциумы способны:

- утилизировать до 80% нефтепродуктов;
- сокращать сроки восстановления экосистем;
- минимизировать вторичные последствия загрязнения.

Эффективность биоремедиации зависит от:

- видового состава микробного сообщества;
- температуры и pH среды;
- наличия биогенных элементов;
- степени первоначального загрязнения.

Перспективным направлением является разработка технологий направленного формирования микробных сообществ с повышенной деструкционной активностью, что особенно актуально для восстановления уникальных экосистем, таких как мангровые заросли и солончаковые марши.

Глубокая зона океана далеко от берега имеет мало живых организмов, которые могут пострадать от разлива нефти. Под воздействием ветра и волн нефть распространяется по воде и растворяется в ней.

Прибрежная зона более сложная и биологически продуктивная, чем удаленная зона, так как она простирается от глубоких до низких вод.

Побережье включает в себя различные природные образования, такие как перешейки, острова, гавани, лагуны и устья. Поведение воды определяется приливами, подводными течениями и ветрами.

В мелких водах у берега часто встречаются водоросли, морская трава и коралловые рифы. Нефть может скапливаться возле островов и вдоль берега, особенно в защищенных районах.

Большое количество нефти на поверхности может привести к высокой концентрации нефти в воде и отложениях на дне океана.

Нефтеразливы оказывают комплексное негативное воздействие на все компоненты экосистем, включая гидросферу, почвенный покров, атмосферу и биологическое разнообразие. Наиболее уязвимыми являются водные экосистемы, где нефть образует поверхностные плёнки, нарушая газообмен и фотосинтез, а также накапливается в донных отложениях, становясь источником вторичного загрязнения. Наземные экосистемы страдают от деградации почвенного слоя и угнетения растительности.

Особую опасность представляют токсичные компоненты нефти (ПАУ, тяжёлые металлы, сернистые соединения), которые вызывают хронические нарушения у живых организмов: от физиологических расстройств до генетических мутаций. При этом длительность восстановления варьируется от нескольких месяцев до десятилетий в зависимости от типа экосистемы, климатических условий и масштабов загрязнения.

Проведённый анализ демонстрирует, что экологический ущерб от нефтеразливов напрямую связан с физико-химическими свойствами нефти, включая её компонентный состав, плотность, летучесть и устойчивость к деградации. Тяжёлые фракции нефти (смолы, асфальтены) сохраняются в окружающей среде дольше, оказывая пролонгированное токсическое воздействие, тогда как лёгкие углеводороды быстрее испаряются, но способны вызывать острые отравления.

Ключевые последствия нефтяного загрязнения включают:

- для гидросферы – гибель планктона, рыб, морских млекопитающих и птиц;
- для почв – снижение плодородия и разрушение микробиоты;
- для биоты – нарушение репродуктивных функций и сокращение биоразнообразия.

Таким образом, минимизация последствий нефтеразливов требует не только совершенствования методов ликвидации аварий, но и учёта специфики взаимодействия нефтяных компонентов с различными экосистемами. Это подчёркивает необходимость разработки дифференцированных природоохранных стратегий, основанных на комплексном анализе физико-химических и экологических факторов.

2 Анализ динамики концентраций нефти в донных отложениях на береговой части Черного моря

2.1 Анализ содержания нефтепродуктов в донных отложениях на северо-восточных территория с 1993 по 2010 год

Акватория северо-восточной части Черного моря на протяжении десятилетий испытывает значительную антропогенную нагрузку, связанную с интенсивной хозяйственной деятельностью, включающей судоходство, добычу и транспортировку углеводородов, а также функционирование портовых комплексов. Донные отложения, являясь естественным депо для накопления загрязняющих веществ, отражают долгосрочную динамику экологического состояния морских экосистем. Особую тревогу вызывает аккумуляция нефтепродуктов, которые благодаря высокой сорбционной способности частиц ила способны сохраняться в донных осадках на протяжении десятилетий, выступая постоянным источником вторичного загрязнения.

Период с 1993 по 2010 год представляет особый интерес для исследования, так как охватывает этап постсоветской трансформации экономики региона, сопровождавшейся как сокращением промышленного производства, так и ростом нефтетранспортной активности. В этот период отмечались многочисленные локальные разливы нефтепродуктов, связанные с авариями на морских терминалах и танкерах, что могло привести к долговременному изменению уровня загрязнения донных отложений.

Целью данного раздела является комплексный анализ пространственно-временной динамики концентраций нефтепродуктов в донных отложениях северо-восточного сектора Черного моря за указанный период. В задачи исследования входит:

- оценка многолетних тенденций изменения содержания нефтепродуктов;
- выявление зон с устойчиво повышенными концентрациями загрязнителей;

- анализ взаимосвязи между уровнями загрязнения и антропогенной нагрузкой;
- сравнение полученных данных с нормативными показателями.

Проведенный анализ позволит не только оценить экологическое состояние прибрежных экосистем, но и разработать рекомендации по мониторингу и снижению нефтяного загрязнения в регионе. Полученные данные представляют особую ценность для прогнозирования экологических рисков и планирования природоохранных мероприятий в условиях продолжающегося хозяйственного освоения черноморского побережья.

Многолетние исследования содержания нефтепродуктов (НП) в акватории северо-восточной части Черного моря выявили значительную вариабельность показателей – от минимальных 0,015 мг/л до экстремальных значений 4,90 мг/л. Среднегодовые концентрации на протяжении изучаемого периода колебались в диапазоне 0,04-0,24 мг/л (Рисунок 2.1 – А). Анализ более 2000 проб воды показал, что в 60% случаев содержание НП не превышало рыбохозяйственного ПДК (0,05 мг/л), однако в 1,1% проб фиксировалось десятикратное превышение норматива [11, с. 286].

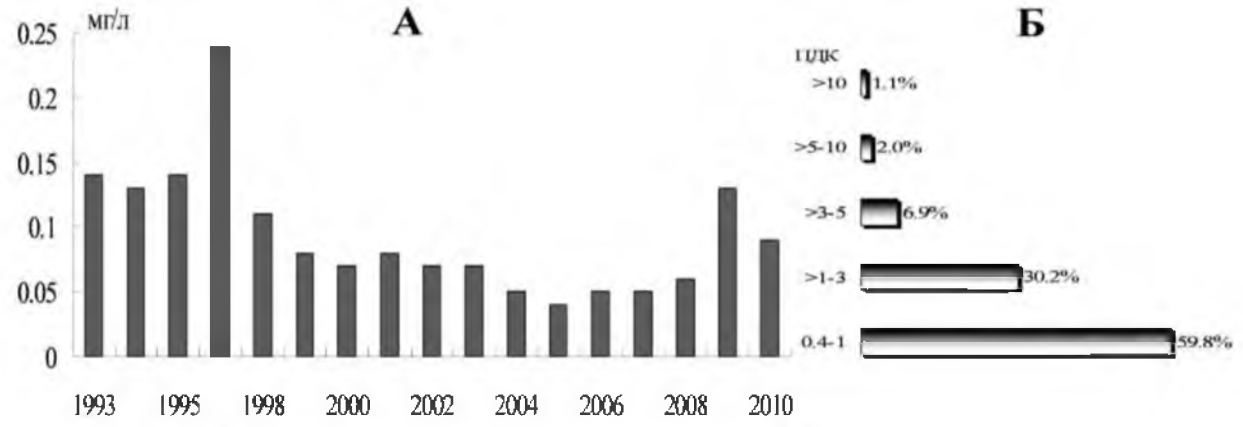

Рисунок 2.1 – Динамика нефтяного загрязнения (А) и частота встречаемости различных концентраций нефтепродуктов (Б) в водной толще северо-восточной части Чёрного моря в 1993-2010 гг.

На основании статистических данных можно выделить три характерных периода:

- 1993-1998 гг. - период максимального загрязнения со среднегодовыми показателями 0,12-0,24 мг/л. Особенно неблагополучная ситуация отмечалась в Керченском проливе, где концентрации достигали 10 ПДК (рис. 2.2-I), что связано с интенсивной деятельностью портовых терминалов и судоходством;
- 1999-2008 гг. - относительная стабилизация ситуации (0,04-0,08 мг/л). Однако локальные превышения в 2-3 раза сохранялись в районе Анапы, Туапсе и Дагомыса (рис. 2.2-II) из-за продолжающейся рекреационной и хозяйственной нагрузки;
- 2009-2010 гг. - новый рост загрязнения (0,09-0,13 мг/л). Максимальные показатели (5-8 ПДК) зафиксированы в районе пос. Южная Озереевка (рис. 2.2-III), что обусловлено вводом в эксплуатацию нефтяного терминала Каспийского трубопроводного консорциума.

Таблица 3 – Изучение загрязнения воды на северовосточном побережье Чёрного моря в разные периоды.

Периоды	Диапазонмг/л	Средняя мг/л	Кратность	% проб с превышением
1993 – 1998 гг.	<0.015 – 2.73	0.18	3.6	78
1999 – 2008 гг.	<0.015 – 1.14	0.06	1.2	35
2009 – 2010 гг.	<0.015 – 4.90	0.11	2.2	55

Наиболее проблемными зонами на протяжении всего периода наблюдений оставались:

- акватории портов и нефтеналивных терминалов;
- судоходные фарватеры;
- районы якорных стоянок;
- прибрежные зоны с интенсивной рекреационной нагрузкой.

Следует отметить, что в 35-78% случаев концентрации НП в рыбохозяйственных водоемах превышали допустимые нормы в 1,2-3,6 раза, что создает потенциальную угрозу для морских биоценозов. Полученные данные свидетельствуют о необходимости усиления контроля за нефтяным загрязнением в зонах особой экологической уязвимости. (Рисунок 2.2 – III).

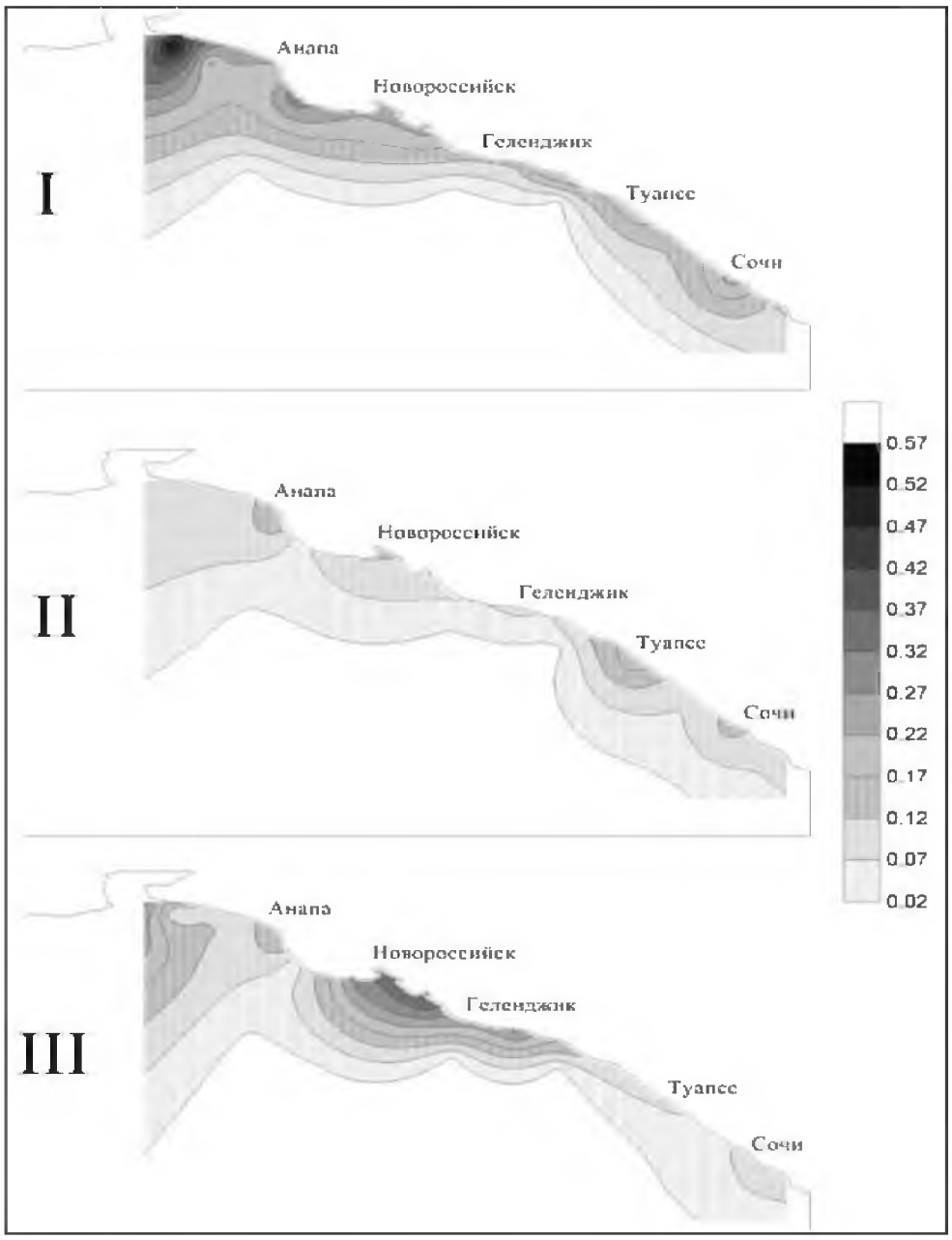

Рисунок 2.2 – Распределение нефтепродуктов (мг/л) в воде северовосточного побережья Чёрного моря в различные периоды наблюдений (I – 1993 – 1998 гг.; II – 1999 – 2008 гг.; III – 2009 – 2010 гг.)

Находится высокий уровень нефтяного загрязнения в Керченском проливе, превышающий предельно-допустимую концентрацию в 5-6 раз. В 2009 году была зафиксирована аномальная концентрация нефтепродуктов, превышающая уровень в 98 раз.

Бухте обнаружен огромный скоплений водорослей, что может свидетельствовать о нарушении экосистемы и ухудшении качества воды. на

берегу часто находят высокие уровни загрязнения, превышающие норму в 10-30 раз.

Анализ молекулярного состава парафиновых углеводородов в пробах воды с повышенным содержанием нефтепродуктов (НП) показал преобладание нефтяного происхождения загрязнения. Об этом свидетельствует низкий индекс нечётности (CPI), характерный для техногенных углеводородов [4]. Соотношение площадей хроматографических пиков разделённых и неразделённых соединений подтверждает наличие водных масс с различной степенью нефтяного загрязнения [12, с. 206].

Исследования выявили значительную вариабельность концентраций НП в водной толще:

- В глубоководных районах показатели колебались от <0,015 до 0,20 мг/л;
- В 52% случаев концентрации не превышали ПДК;
- В отдельных точках фиксировались экстремальные значения (>10 ПДК).

Наиболее загрязнённым оказался участок побережья между Анапой и Новороссийском, где нефтепродукты преимущественно аккумулировались в поверхностном слое воды. Такое распределение связано с:

- антропогенной нагрузкой от портовой деятельности;
- особенностями циркуляции вод (прибрежные антициклонические вихри);
- ветровым перемешиванием водных масс.

Исследование проб донных осадков за 2001-2010 гг. показало:

- диапазон концентраций НП от <0,015 до 2,67 г/кг сухого веса;
- среднегодовые значения 0,19-0,78 г/кг;
- максимальное загрязнение в 2008 году.

Образование зон устойчивого загрязнения создаёт условия для:

- миграции токсичных веществ по трофическим цепям;
- биоаккумуляции в организмах гидробионтов;

долговременного экологического риска для прибрежных экосистем.

Полученные данные подчёркивают необходимость постоянного мониторинга нефтяного загрязнения, особенно в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью.

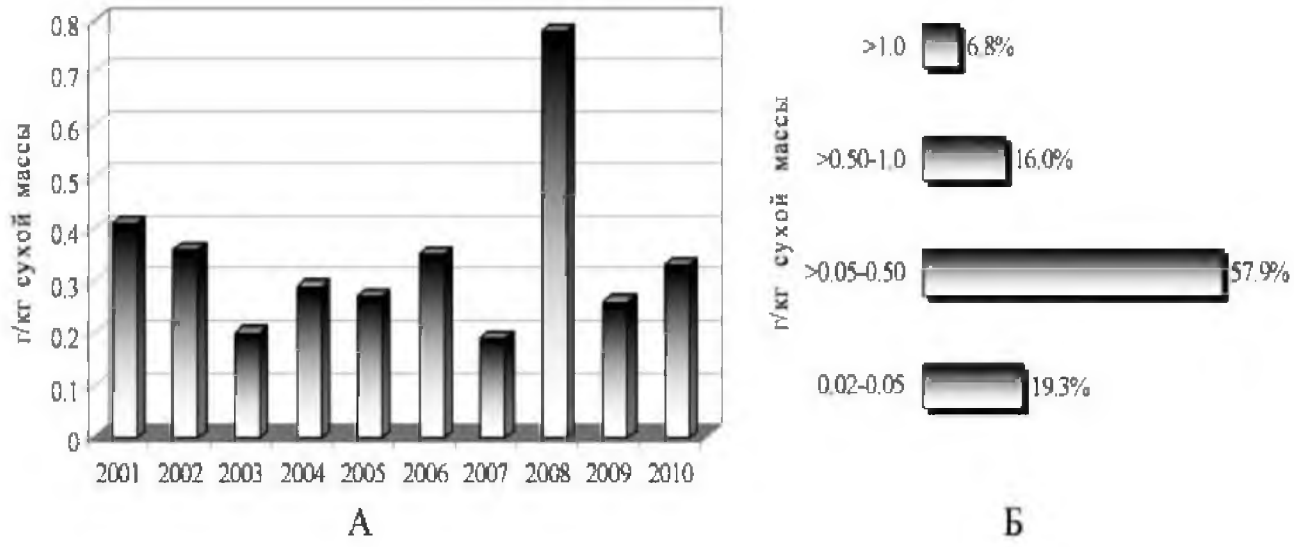

Рисунок 2.3 – Динамика нефтяного загрязнения (А) и частота встречаемости различных концентраций нефтепродуктов (Б) в водной толще северо-восточной части Чёрного моря в 1993-2010 гг.

В Российской Федерации оценка степени загрязнения донных отложений нефтепродуктами осуществляется с использованием международных стандартов, известных как «голландские листы». Это связано с отсутствием собственной нормативной базы, регламентирующей допустимые уровни содержания нефтяных углеводородов в морских осадках. Подразделения Росгидромета применяют указанные методики при проведении экологического мониторинга [9, с. 346].

Проведенные исследования демонстрируют, что в большинстве случаев (более 80% проб) концентрации нефтепродуктов в донных отложениях не превышали 0,05 г/кг сухого вещества. Однако анализ полученных данных выявил пространственную неоднородность распределения загрязнения. Типичные значения содержания нефтяных углеводородов варьировались в пределах 0,05-0,50 г/кг, что соответствует умеренному уровню загрязнения по

международной шкале [10, с. 56].

Наибольшие концентрации загрязняющих веществ были зарегистрирован в двух локациях:

- акватории вблизи поселка Южная Озеревка;
- выходном участке Цемесской бухты.

Эти зоны характеризуются интенсивной антропогенной нагрузкой, связанной с портовой деятельностью и судоходством, что объясняет повышенное содержание нефтепродуктов в донных осадках. Полученные результаты подчеркивают необходимость разработки национальных нормативов для более точной оценки экологического состояния морских экосистем.

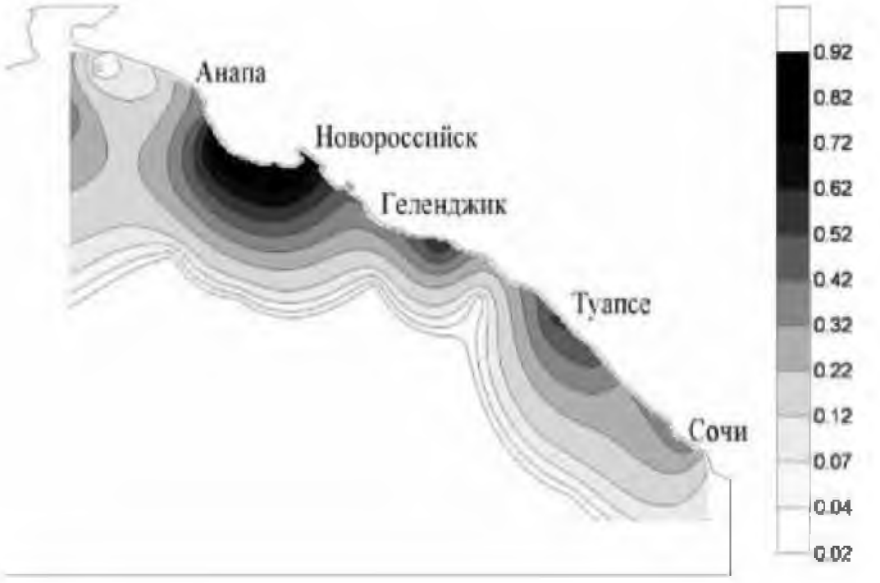

Рисунок 2.4 – Пространственное распределение нефтепродуктов в донных отложениях прибрежной акватории северо-восточной части Чёрного моря, г/кг сухой массы (по усреднённым данным 2001 – 2010 гг

Распределение нефтяного загрязнения на донных отложениях зависит от количества нефтепродуктов и размеров частиц осадков, влияющих на адсорбционную способность.

В Керченском проливе высок уровень загрязнения нефтью. Донные отложения содержат большое количество загрязнений.) район побережья менее загрязнен, чем другие районы.

Из-за большого количества крупных осадков в заливе, состоящих в основном из песка и ракушек, с низкой адсорбционной способностью, это приводит к таким результатам.

В прибрежных районах поселка Архипо-Осиповка, городов Туапсе и Сочи выявлено повышенное загрязнение донных отложений нефтепродуктами, особенно в осадках с мелкодисперсными илами.

Оценка загрязнения воды и донных отложений прибрежной акватории проводилась на основе концентраций 14 полициклических ароматических углеводородов.

Мониторинговые исследования 2006-2010 годов выявили значительные колебания концентраций полициклических ароматических углеводородов в водной толще - от 0,3 до 146 нг/л при среднегодовых значениях 6,5-37 нг/л.

Среди обнаруженных соединений особое внимание привлекает бенз(а)пирен, выявленный в 32,7% проб, хотя его содержание ни разу не превысило установленный норматив 5 нг/л. Аналогично, концентрации нафталина оставались ниже рыбохозяйственного ПДК (4 мкг/л).

Пространственное распределение ПАУ характеризовалось выраженной неоднородностью. Максимальные уровни загрязнения зафиксированы в акваториях у населенных пунктов Южная Озереевка, Джубга, Геленджик и Туапсе. Преобладающими компонентами (более 80% от общего содержания) оказались 2-4-ядерные соединения: фенантрен, флуорантен, нафталин и флуорен [8, с. 156].

Для установления источников загрязнения применялись современные диагностические критерии:

- соотношение флуорантена к пирену (F/P) >1 указывает на антропогенное происхождение;
- индекс пирогенности (F/(F+P)) <0,5 свидетельствует о преобладании пиролитических процессов.

Анализ полученных данных показал превалирование нефтяных источников ПАУ в водной среде (F/(F+P) >0,5), что согласуется с интенсивной

судоходной деятельностью в регионе.

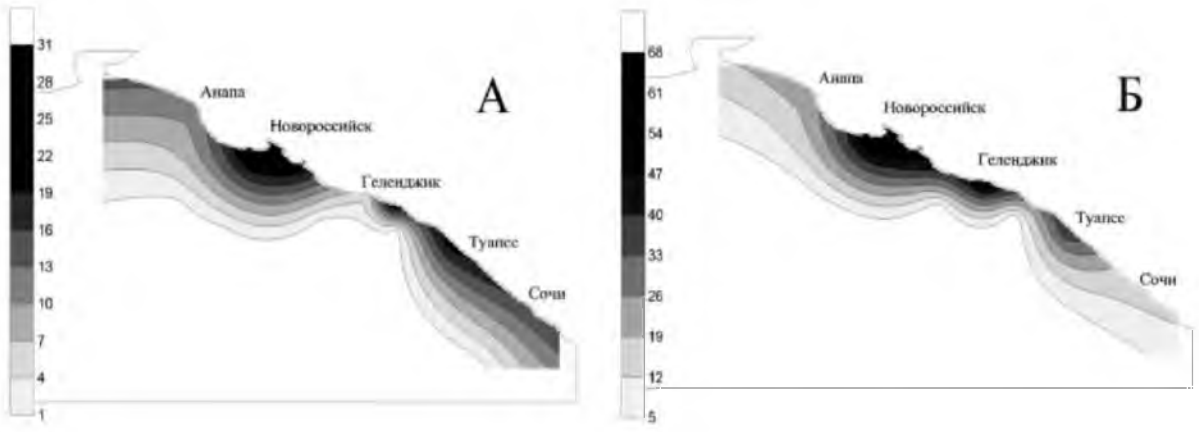

Рисунок 2.5 – Пространственное распределение ПАУ в воде (нг/л) – А, в содержание донных отложений в прибрежной акватории северо-восточной части Чёрного моря за период 2006-2010 годов составило мкг/кг сухой массы

Исследование донных осадков выявило более высокие уровни накопления ПАУ по сравнению с водной толщей - от 1,69 до 12,3 мкг/кг сухого вещества при среднегодовых значениях 28,6-41 мкг/кг. На участке Южная Озереевка – Туапсе концентрации превышали фоновые показатели в 3-4 раза.

Особенностью донных отложений стало преобладание (до 64%) высокомолекулярных 4-6-ядерных соединений, включая бенз(b)флуорантен, хризен и трифенилен. При этом значения индекса пирогенности (>0,5) свидетельствуют о смешанном характере загрязнения - сочетании нефтяных и пирогенных источников.

Полученные результаты подчеркивают необходимость продолжения мониторинговых исследований для оценки долговременной динамики загрязнения и разработки эффективных природоохранных мероприятий в прибрежной зоне Черного моря.

Проведенный анализ динамики содержания нефтепродуктов в донных отложениях северо-восточной части Черного моря за период 1993-2010 годов позволил выявить ряд важных закономерностей:

1. Установлено, что уровень загрязнения донных осадков

нефтепродуктами имел выраженную пространственно-временную вариабельность, находясь в диапазоне от <0,015 до 2,67 г/кг сухой массы.

2. Выделены три характерных периода:

- 1993-1998 гг. - период максимального загрязнения;
- 1999-2008 гг. - относительная стабилизация ситуации;
- 2009-2010 гг. - новый рост концентраций.

3. Определены зоны хронического загрязнения, где концентрации устойчиво превышали фоновые значения в 3-4 раза (районы Южной Озереевки, Цемесской бухты, Анапа-Новороссийск).

4. Установлено, что донные отложения выступают долговременным депо для накопления нефтяных углеводородов, создавая потенциал для вторичного загрязнения водной толщи.

5. Выявлена корреляция между уровнями загрязнения и интенсивностью хозяйственной деятельности в прибрежной зоне (судоходство, портовая деятельность, нефтетерминалы).

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости:

- разработки национальных нормативов содержания нефтепродуктов в морских донных отложениях;
- усиления контроля за хозяйственной деятельностью в зонах особой экологической уязвимости;
- продолжения мониторинговых исследований для оценки долгосрочных экологических последствий нефтяного загрязнения.

Проведенное исследование создает научную основу для разработки мер по снижению антропогенной нагрузки на морские экосистемы северо-восточной части Черного моря.

2.2 Анализ содержания нефтепродуктов в донных отложениях на юго-восточных территория с 2016 по 2020 год

Современный мониторинг нефтяного загрязнения морских экосистем

требует комплексного подхода, сочетающего полевые исследования с точными лабораторными методами анализа. В данном разделе рассматриваются методические подходы, использованные для оценки содержания нефтепродуктов в донных отложениях северо-восточной части Черного моря. Особое внимание уделено:

- методам отбора проб донных осадков;
- способам консервации и подготовки образцов;
- хроматографическим методам количественного анализа;
- критериям оценки степени загрязнения.

Применение стандартизированных методик позволяет получать сопоставимые данные для анализа пространственно-временной динамики загрязнения и оценки экологического состояния морских экосистем.

Отбор проб воды проводился из трех горизонтов: поверхностного (0.5 м), среднего (10 м) и придонного (на глубине 200 м) в районе берега моря (у Керченского). Исследования проводились в районе от мыса Утриш до города Адлер на различных станциях, включая глубоководные в Новороссийске, Геленджике, Туапсе, Сочи, а также в поселках Ново-Михайловка и Лазаревское.

Для комплексной оценки нефтяного загрязнения водной толщи и донных отложений был применен ряд современных аналитических методик. Определение суммарной концентрации нефтепродуктов проводилось по содержанию алифатических углеводородов (УВ) и смолисто-асфальтеновых веществ (СВ), включая устойчивые к биодеградации соединения, образующиеся при длительном нахождении нефти в морской среде.

Экстракция углеводородов из проб воды осуществлялась четыреххлористым углеродом, тогда как для донных отложений использовалась смесь ацетона и хлороформа. Последующая очистка и фракционирование экстрактов проводились на колонке с оксидом алюминия III степени активности с элюированием гексан-четыреххлористый углерод-уксусная кислота (70:30:2).

Рисунок 2.6 – Карта расположения стандартной сетки станций отбора проб воды и донных отложений в северо-восточной части Черного моря

Количественный анализ выполнялся спектрофотометрическими методами с измерением оптической плотности в УФ и ИК областях спектра. Для определения индивидуальных н-алканов применялся газовый хроматограф «Кристалл 2000М» с капиллярной колонкой производства «Хроматэк», что позволило получить высокоселективные хроматограммы даже для сложных смесей углеводородов. Люминесцентный анализ использовался для детектирования полициклических ароматических соединений.

Все методики соответствовали требованиям Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений. Дополнительно применялся зондирующий комплекс «Вектор-2» для оценки гидродинамических характеристик водных масс, влияющих на распределение загрязняющих веществ.

Результаты исследований 2016-2020 годов показали, что концентрации

углеводородов в воде варьировали от <0.02 до 0.47 мг/л, при этом в 70% проб содержание СВ не превышало 0.005 мг/л. Наибольший вклад нефтяных компонентов (10-30%) отмечен в акваториях Керченского предпроливья и прибрежных районов от Южной Озереевки до Лазаревского. Сезонные колебания концентраций УВ и СВ демонстрировали увеличение значений в весенний период (0.02-0.14 мг/л) по сравнению с осенним (0.03-0.06 мг/л) (таблица 4).

Таблица 4 – Характеристика нефтяного загрязнения (по сумме концентраций УВ и СВ) водной толщи Черного моря в различные сезоны 2016–2020 гг., мг/л

Год	Сезон	Диапазонмг/л	Среднеемг/л	Стандартное отклонение
2016	Весна	0.021–0.051	0.022	0.004
	Осень	0.022–0.101	0.031	0.010
2017	Весна	0.020–0.302	0.142	0.030
	Осень	0.020–0.121	0.041	0.012
2018	Весна	0.021–0.472	0.072	0.046
	Осень	0.020–0.411	0.052	0.035
2019	Весна	0.021–0.232	0.051	0.023
	Осень	0.020–0.162	0.032	0.013
2020	Весна	0.020–0.103	0.041	0.019
	Осень	0.021–0.391	0.062	0.045

Главные причины загрязнения морской зоны порта – это выбросы нефти при авариях на терминалах и разливы из грузовых танков нефтеналивных судов из-за нарушений герметичности корпуса во время грузовых операций и движения.

Весной 2020 года в северо-восточной части Черного моря были обнаружены только углеводороды, концентрации других веществ были незначительными.

В некоторых пробах воды концентрации УВ превышали 0.05 мг/л в 1.2–2.0 раза, колебаясь от <0.02 до 0.10 мг/л.

Весной выявлена высокая концентрация углеводородов в районе п. Джубга, достигая 0.10 мг/л. Осенью уровень углеводородов увеличился, превышая 0.05 мг/л в 20 пробах. на просторах большей части изучаемого морского района наблюдаются горизонты.

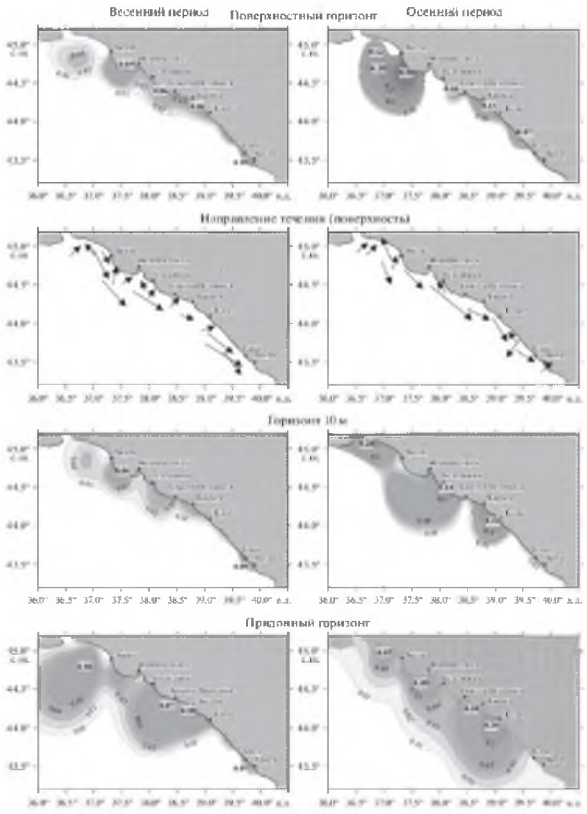

Рисунок 2.7 – Распределение суммарных концентраций (мг/л) углеводородов на различных горизонтах водной толщи северо-восточной части Черного моря в весенний и осенний периоды 2020 г.

На побережье Абраусского полуострова выявлена максимальная концентрация воды (0.50 мг/л), а в глубоководном районе по разрезу полуострова – высокая концентрация (0.39 мг/л).

Весной и осенью в прибрежных водах возникают компенсационные течения, направление которых отличается от Черноморского течения.

Вдоль побережья Черного моря на кавказском секторе наблюдается движение водных масс на юго-восток, что может способствовать попаданию

загрязняющих веществ в данную область. направлении (рисунок 2.8).

В прибрежных районах моря обнаружены высокие концентрации углеводородов, типичных для нефти.

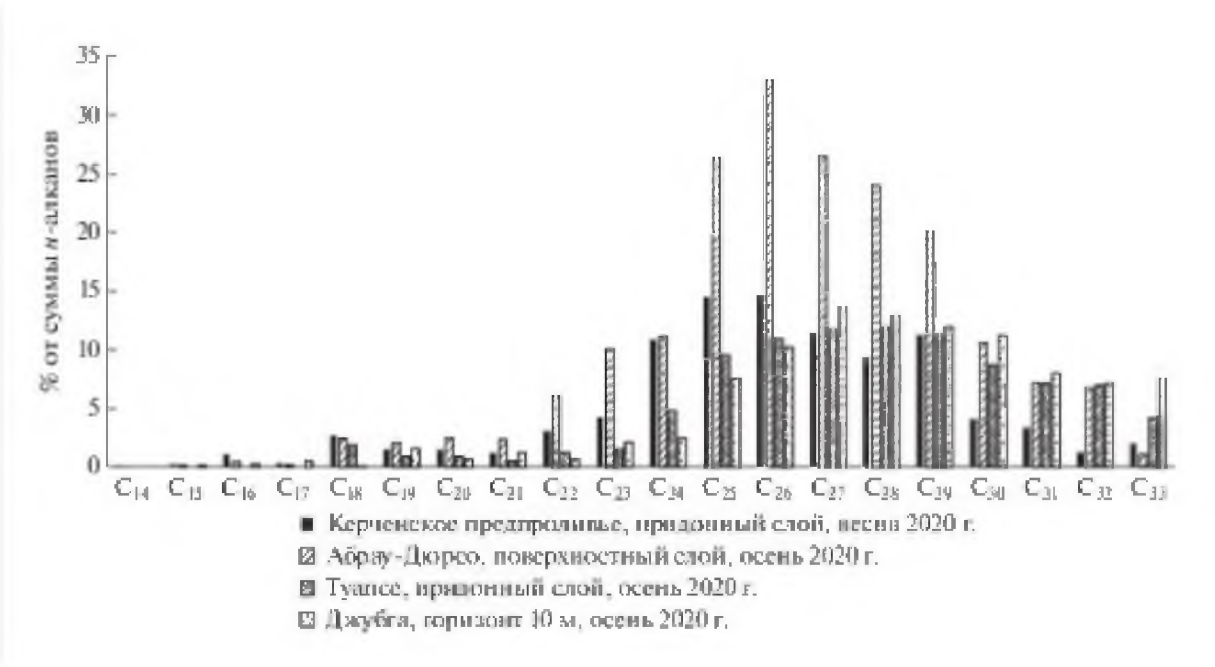

Рисунок 2.8 – Состав н-алканов в воде некоторых районов северо-восточной части Черного моря, сентябрь 2020 г.

В районе Геленджика обнаружены нефтяные углеводороды на глубине 200 метров, в то время как в районе Ново-Михайловки преобладают углеводороды с четным числом углеродных атомов (Рисунок 2.9).

Повышенные концентрации четных н-алканов чаще всего в летнее время возникают продукты микробного разложения. УВ.

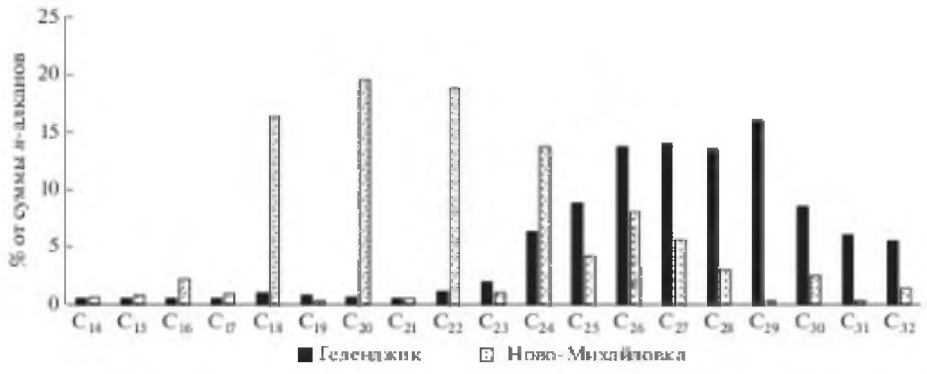

Рисунок 2.9 – Состав н-алканов в воде (горизонт 200 м) глубоководных станций северо-восточной части Черного моря, сентябрь 2020 г.

Весной 2020 года в прибрежной зоне моря концентрация УВ и СВ в ДО колебалась от 0.02 до 0.98 г/кг, а осенью достигала максимума в 1.28 г/кг сухого осадка.

Около трети всех углеводородов в смешанных стоках водоемов приходится на СВ. Высокие концентрации обнаружены в нескольких районах, включая Абраусский полуостров, Южную Озереевку, Архипо-Осиповку и Сочи.

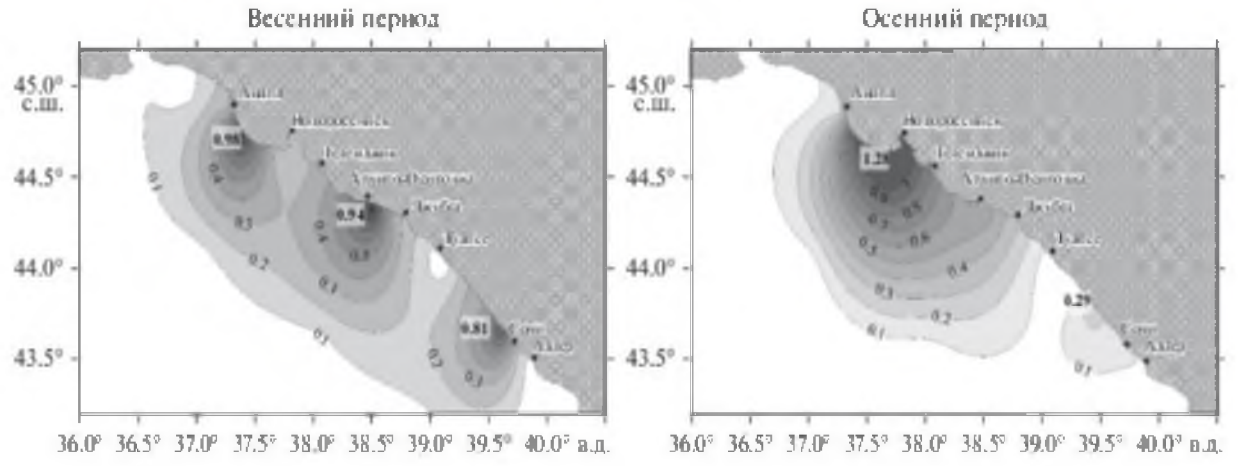

Рисунок 2.10 – Распределение суммарных концентраций (г/кг сухого осадка) углеводородов и смолистых веществ в донных осадках северо-восточной части Черного моря в весенний и осенний периоды 2020 г.

В образцах с высокой концентрацией УВ + СВ преобладают высокомолекулярные нечетные н-алканы С27–С31, что указывает на наличие терригенных углеводородов и их интенсивное разложение при переходе из воды в донное отложение.

Проведенные исследования выявили четкую сезонную и пространственную дифференциацию содержания нефтяных углеводородов в водной толще исследуемого региона. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ фиксировались в переходные сезоны - весной и осенью, что связано с особенностями гидрологического режима и антропогенной активностью в прибрежной зоне [19, с. 46].

В вертикальном разрезе водной толщи наблюдалась неоднородность распределения загрязнения:

- в поверхностном слое (0-10 м) максимумы отмечены в районе Керченского пролива (до 0,23 мг/л) и участке Лазаревское-Адлер;
- в придонных горизонтах наиболее загрязненными оказались акватории Анапа-Новороссийск.

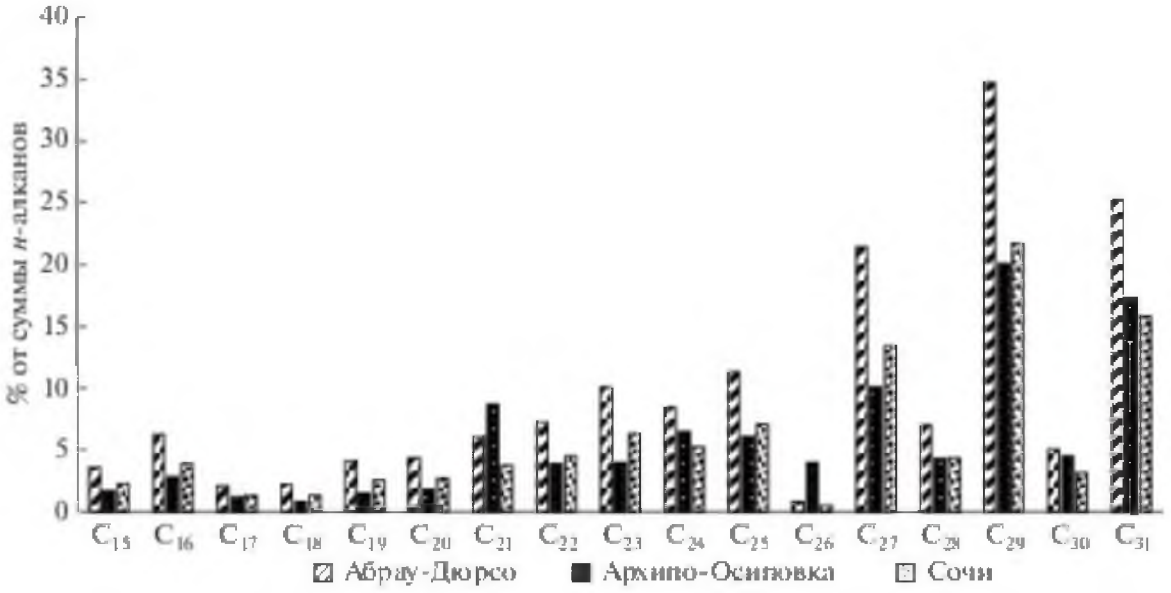

Рисунок 2.11 – Состав н-алканов в донных осадках у побережья северо-восточной части Черного моря, сентябрь 2020 г.

Анализ источников загрязнения позволил выделить несколько ключевых факторов:

1. В районе Абрауского полуострова и Цемесской бухты основное воздействие оказывает портовая инфраструктура Новороссийска, включая:
   - операции по перегрузке нефтепродуктов
   - судоремонтные работы;
   - балластные воды танкеров.
2. На участке Геленджик-Туапсе устойчивое превышение ПДК (до 3,8 раз) обусловлено:
   - интенсивным судоходством по маршрутам к порту Туапсе;
   - рекреационной нагрузкой (прогулочные суда, водные аттракционы).

3. В районе Лазаревское-Адлер основными источниками выступают:

- пассажирские перевозки;
- эксплуатация маломерного флота (максимальные концентрации до 2,8 ПДК).

Особую проблему представляет аккумуляция нефтяных углеводородов в сочетании с другими видами загрязнений (бытовыми стоками, твердыми отходами), что создает кумулятивный экологический эффект. Полученные данные свидетельствуют о необходимости совершенствования системы экологического мониторинга и ужесточения контроля за хозяйственной деятельностью в прибрежной зоне [17, с. 556].

На дне северо-восточной части Черного моря обнаружены высокие концентрации углеводородов в диапазоне 0.12–0.23 мг/л на глубине от 10 до 200 метров.

Высокие концентрации загрязнения в прибрежных водах Черного моря вызваны гидродинамикой и образованием вихрей, которые удерживают загрязнение близко к берегу.

С 2016 по 2020 годы в 110 из 510 образцов воды обнаружены концентрации УВ выше ПДК (0.05 мг/л). В сравнении с 2001-2010 годами уровень загрязнения моря снизился до менее 0.05 мг/л.

Изменения в экспорте нефти и нефтепродуктов в России связаны с уменьшением роли портовых терминалов на Черном море и увеличением роли Дальневосточных и Балтийских портов.

Таблица 5 – Характеристика нефтяного загрязнения (по сумме концентраций УВ и СВ) донных осадков Черного моря в различные сезоны 2016–2020 гг., г/кг сухого осадка

Год	Сезон	Диапазонг/кг	Среднее г/кг	Стандартное отклонение
2016	Весна	0.02–1.67	0.51	0.47
	Осень	0.02–1.40	0.55	0.45

Продолжение таблицы 5

2017	Весна	0.04–2.84	0.61	0.73
	Осень	0.02–0.95	0.25	0.28
2018	Весна	0.02–0.50	0.16	0.17
	Осень	0.02–0.87	0.22	0.23
2019	Весна	0.02–0.95	0.29	0.23
	Осень	0.03–1.89	0.29	0.45
2020	Весна	0.02–0.98	0.34	0.32
	Осень	0.02–1.28	0.36	0.38

С 2016 по 2020 годы весной и осенью концентрации УВ и СВ в донных отложениях колебались от 0.02 до 2.84 г/кг. СВ были обнаружены во всех образцах, составляя от 20 до 70% от общего объема нефтяных компонентов.

Высокая концентрация загрязнений обнаружена в районах моря, где также наблюдается накопление стойких веществ. В течение 2016-2020 гг. концентрации загрязнений в ДО колебались от 0.16 до 0.61 г/кг (Таблица 5).

Содержание загрязнений в Донецкой области увеличилось с 0.28 до 0.48 г/кг сухого осадка за последние 5 лет.

В ДО накапливается нефтяное загрязнение из-за наличия в нем устойчивых к разложению компонентов.

В некоторых образцах обнаружено загрязнение донных отложений выше безопасной концентрации, что может привести к гибели донных организмов.

В большинстве случаев происходит максимальное загрязнение нефтью. наблюдались заторы на трассе в районе Южной Озереевки, Архипо-Осиповки и на выезде из Цемесской бухты.

В водной толще Керченского пролива содержание изучаемых соединений в донных отложениях оказалось ниже, чем в других близлежащих районах, где уровень нефтяного загрязнения выше.

В проливе преобладают крупные осадки из песка и ракушек с низкой

способностью к адсорбции.

Для определения источников загрязнения моря необходимо учитывать гранулометрический состав различных районов моря при сравнении их загрязненности.

Сравнение содержания загрязнений в песке и иле не является корректным из-за значительного различия в содержании вредных веществ.

Для устранения различий в типах донных осадков при анализе результатов их качества, предлагается применять определенные методы. средняя характеристическая концентрация (СХК) – это среднее значение концентрации определенного вещества в заданной среде.) в разных типах донных осадков обнаружены вредные вещества.

Вблизи Черного моря наблюдается разнообразие гранулометрического состава, включающее крупные песчано-ракушечные и мелкие иловые частицы, которые можно разделить на 4 типа [21, с. 191].

Для расчета СХК использовались данные из Аналитического центра Азово-Черноморского филиала ФГБНУ “ВНИРО”, полученные с 2011 по 2016 год по содержанию УВ и СВ в прибрежной акватории моря.

Результате исследования, можно сделать вывод о том, что вода в этом регионе является сильно загрязненной из-за промышленных выбросов и несоблюдения экологических стандартов. с 2011 по 2016 год были определены средние концентрации углеводородов и соединений серы, характерные для различных типов загрязнения окружающей среды [18, с. 306].

- для ракушечника и песчано-ракушечника допустимая норма содержания составляет 0.05 г на 1 кг продукции;
- второй тип грунта содержит 0.20 г камня и песка на каждый килограмм;
- третьего типа (крупноалевритовый ил) – 0.40 г на каждый килограмм;
- содержание IV типа ила (алевритового) составляет 0.50 г на каждый килограмм сухого осадка.

Исходя из соотношения концентрации УВ, СВ и СХК, можно сделать

выводы о степени загрязнения.

При поступлении свежей нефти в грунт – СХК > 1, при хроническом загрязнении грунта – СХК < 1.

Весенние и осенние значения кратности СХК для домовладельцев в 2016-2020 годах колебались от 0.2 до 56.8. (Таблица 6).

Таблица 6 – Исследованы уровни содержания СХК в донных осадках Черного моря за последние пять лет весенним и осенним периодами.

Участок моря	Весенний период		Осенний период	
	Диапазонмг/м3	Среднеемг/м3	Диапазонмг/м3	Среднеемг/м3
Керченское предпроливье	2.2–6.4	4.6	1.0–3.0	2.2
Разрез от м. Железный Рог	0.2–1.0	0.4	0.2–0.6	0.3
Разрез ст. Благовещенская	0.2–3.2	1.4	0.4–5.6	2.2
Разрез Анапы	0.8–1.5	1.2	0.7–2.3	1.4
Разрез п.Абрау-Дюрсо	1.7–4.9	2.8	2.2–7.0	4.9
Разрез п. Южная Озереевка	1.0–56.8	15.8	1.2–37.8	13.4
Большой Сочи	0.1–1.65	0.4	0.2–0.6	0.2
Разрез Туапсе	0.1–2.1	1.14	0.1–4.0	1.4
Разрез п. Джубга	1.0–2.0	1.5	0.9–2.0	1.4
Разрез п. Архипо-Осиповка	1.1–4.2	2.8	0.8–3.5	1.9
Разрез Геленджик	0.9–2.8	1.6	0.6–3.7	1.8
Разрез п. Лазаревское	0.3–2.4	1.2	0.2–1.8	0.8

Согласно данным, в поселке Южная Озереевка выявлено увеличение уровня нефтяного загрязнения в прибрежных районах. (Возможные источники загрязнения: КТК в поселке Абрау-Дюрсо, Черное море и якорные стоянки судов в Керченском проливе).

Мониторинговые исследования 2016-2020 годов выявили характерные особенности распределения углеводородов в экосистемах северо-восточной части Черного моря. В водной толще концентрации углеводородных фракций (УФ) и смолисто-асфальтеновых веществ (СВ) варьировали в пределах 0,02-0,47 мг/л, демонстрируя выраженную сезонную динамику. Весенние значения (0,02-0,08 мг/л) систематически превышали осенние показатели (0,03-0,04 мг/л), что связано с особенностями гидрологического режима и интенсивностью антропогенной нагрузки в разные периоды года.

Качественный состав загрязняющих веществ показал значительную долю

(до 30%) синтетических компонентов при явном преобладании нефтяных углеводородов. Максимальные концентрации зарегистрированы в прибрежной зоне от Анапы до Новороссийска, где сосредоточены основные источники техногенного воздействия.

Параллельные исследования донных отложений выявили содержание суммарного углерода и азота в диапазоне 0,02-2,84 г/кг сухого вещества при среднегодовых значениях 0,16-0,61 г/кг. Особый интерес представляет соотношение азотистых соединений, составлявших 30-70% от общего пула загрязняющих веществ, что свидетельствует о значительном вкладе органического вещества антропогенного происхождения в формирование донных осадков [15, с. 456].

Полученные данные отражают комплексное воздействие природных и антропогенных факторов на экологическое состояние прибрежных экосистем, подчеркивая необходимость дифференцированного подхода к оценке загрязнения водной толщи и донных отложений.

Весной 2017 года выявлено высокое содержание вредных веществ в воздухе поселка Архипо-Осиповка, города Туапсе и города Сочи.

Исследование показало, что донные отложения в прибрежных районах поселков Южная Озереевка, Абрау-Дюрсо и в Керченском предпроливье имеют наибольшую степень загрязнения.

Проведенные исследования выявили устойчивую пространственно-временную динамику накопления нефтепродуктов в донных отложениях юго-восточной части Черного моря. Средние концентрации варьировали в пределах 0,16–0,61 г/кг сухого вещества с максимальными значениями до 2,84 г/кг в зонах интенсивной антропогенной нагрузки.

Установлены ключевые закономерности:

Повышенное содержание нефтяных углеводородов в районах портовой инфраструктуры и судоходных маршрутов;

Значительная доля (30–70%) азотистых соединений антропогенного происхождения в составе донных осадков;

Четкая сезонная динамика с ростом концентраций в весенний период.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости усиления контроля за хозяйственной деятельностью в прибрежной зоне и разработки мер по снижению нефтяного загрязнения донных отложений.

Сравнительный анализ данных за 1993–2010 и 2016–2020 годы позволил выявить долгосрочные тенденции нефтяного загрязнения донных отложений Черного моря:

На северо-восточном побережье (1993–2010 гг.) максимальные концентрации отмечены в районах Керченского пролива и Новороссийска (до 2,67 г/кг);

На юго-восточном побережье (2016–2020 гг.) наиболее загрязненными оказались зоны портовой инфраструктуры (до 2,84 г/кг).

Снижение средних концентраций с 0,78 г/кг (1993–2010 гг.) до 0,61 г/кг (2016–2020 гг.), что связано с ужесточением экологического контроля;

Сохранение локальных очагов загрязнения в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью.

Донные отложения выступают долговременным депо для накопления нефтяных углеводородов. Наблюдается тенденция к увеличению доли устойчивых к деградации соединений.

Результаты исследований подчеркивают необходимость разработки региональных нормативов содержания нефтепродуктов в донных отложениях, совершенствования системы экологического мониторинга и внедрения современных технологий очистки донных осадков в наиболее загрязненных районах.

Проведенные исследования создают научную основу для управления антропогенной нагрузкой на морские экосистемы Черноморского побережья.

3 Методы локализации разливов и ликвидации нефтяного загрязнения

Нефтяные разливы представляют серьезную угрозу для морских и прибрежных экосистем, требуя оперативного и эффективного реагирования. Успех ликвидации последствий аварий во многом зависит от выбора оптимальных методов локализации и очистки, учитывающих масштабы загрязнения, гидрометеорологические условия и особенности пострадавшей территории.

В данной главе рассматриваются современные подходы к борьбе с нефтяными загрязнениями, включая:

- технические средства локализации разливов (боновые заграждения, сорбенты);
- механические, физико-химические и биологические методы очистки;
- особенности применения различных технологий в морских и прибрежных условиях.

Анализ эффективности методов проводится с учетом опыта ликвидации реальных аварий и последних научных разработок в области защиты морской среды от нефтяного загрязнения.

Действия источника разлива направлены на ограничение масштабов разлива нефти, предотвращение ее распространения и минимизацию ущерба для окружающей среды в различные времена года [13, с. 456].

При разливе нефти или нефтепродуктов действия по локализации должны быть выполнены в течение 4 часов. Для ограждения судна необходимо использовать боновые заграждения длиной, равной тройной длине судна.

Для судна с грузоподъемностью 20000 тонн потребуется около 600 м заграждений, чтобы предотвратить выброс нефти на берег. Эта задача требует участия специалистов и является технически сложной.

Механическое задержание используется для сконцентрирования нефти и облегчения ее сбора путем использования различных устройств.

Эффективность сбора нефти в море зависит от погоды: при высоте волны

более 2 м и скорости ветра более 35 км/ч сбор становится затруднительным.

Для предотвращения распространения нефти, лучше всего использовать боновые заграждения и скиммеры непосредственно у источника выброса. Это позволит задержать нефть и предотвратить ее дальнейшее распространение с помощью подповерхностных заграждений (бон-тралы) [14, с. 92].

Для предотвращения разливов и удержания нефти могут использоваться различные технологии и механические барьеры.

- мобильные плавающие преграды (например, буи, бревна и другие материалы) - это средство для задержания);
- фильтрующие заграждения, также известные как стационарные барьеры, используются для управления поверхностным стоком);
- защитные барьеры под водой. V-образные тралы);
- барьеры (снежные или земляные);
- ледяные траншеи – это вырытые сооружения).

При выборе технологии нужно учитывать, что нефть должна задерживаться в достаточных количествах для сбора за определенное время. Можно использовать следующие рекомендации для упрощения этого процесса.

Необходимо быстро удалять толстые пятна после их появления, тонкие полосы обычно не требуют вмешательства.

Необходимо организовать наблюдение за барьерами и конструкциями для проверки заполнения нефтью, целостности и необходимости ремонта, а также возможности их перемещения для увеличения производительности.

Характеристики и расположение устройств могут немного отличаться от изображенных.

При выборе оборудования для работы в условиях Арктики важно учитывать прочность конструктивных материалов, способность сохранять целостность и собирать разлившуюся нефть.

Изменения в погоде и состоянии моря могут потребовать быстрой смены технологии задержания нефти.

Простые методы могут быть эффективнее сложных систем.

При проведении задержания нефти в отдаленных районах важно учитывать наличие топлива, смазочных материалов, запасных частей и инструментов.

Для задержания нефти на воде часто применяются механические барьеры, такие как подвижные плавающие барьеры. Эти барьеры помогают контролировать и собирать нефть, предотвращая ее распространение по поверхности воды.

На рынке представлено много задерживающих бонов, которые можно разделить на четыре основные категории.

- со встроенным поплавком;
- принудительно надуваемые;
- самонадувные;
- жесткие.

Барьеры для защиты от волн бывают большие и маленькие, в зависимости от условий использования: открытое море или спокойные воды.

Боны со встроенным поплавком, возможно, наиболее распространены, наименее дороги и наиболее легки в установке. Обычно они производятся из поливинилхлорида или материала покрытого полиуретаном с включением гибких пенопластовых поплавков.

Некоторые модели имеют один элемент прочности, расположенный в нижней части, другие имеют еще один дополнительный элемент прочности в верхней части.

Принудительно надуваемые боны делаются из поливинилхлорида, неопрена, нитрилового прорезиненного нейлона или материала покрытого полиуретаном, со сплошной или раздельными воздушными камерами, заполняемыми вручную с помощью источника сжатого воздуха.

Самонадувные боны делаются из поливинилхлорида или материала покрытого полиуретаном с пружинными воздушными камерами. При хранении они находятся в сжатом состоянии и заполняются самостоятельно через воздухозаборные клапана при развертывании.

Жесткие боны сделаны из жесткого или полужесткого материала, плавучесть которого обеспечивается встроенными пенопластовыми блоками, навесными блоками или выносными поплавками.

Во многих случаях может быть необходимым наскоро сделать и собрать плавающий барьер из подручных материалов, например бревен или тикстроппых ремней (Рисунок 3.1).

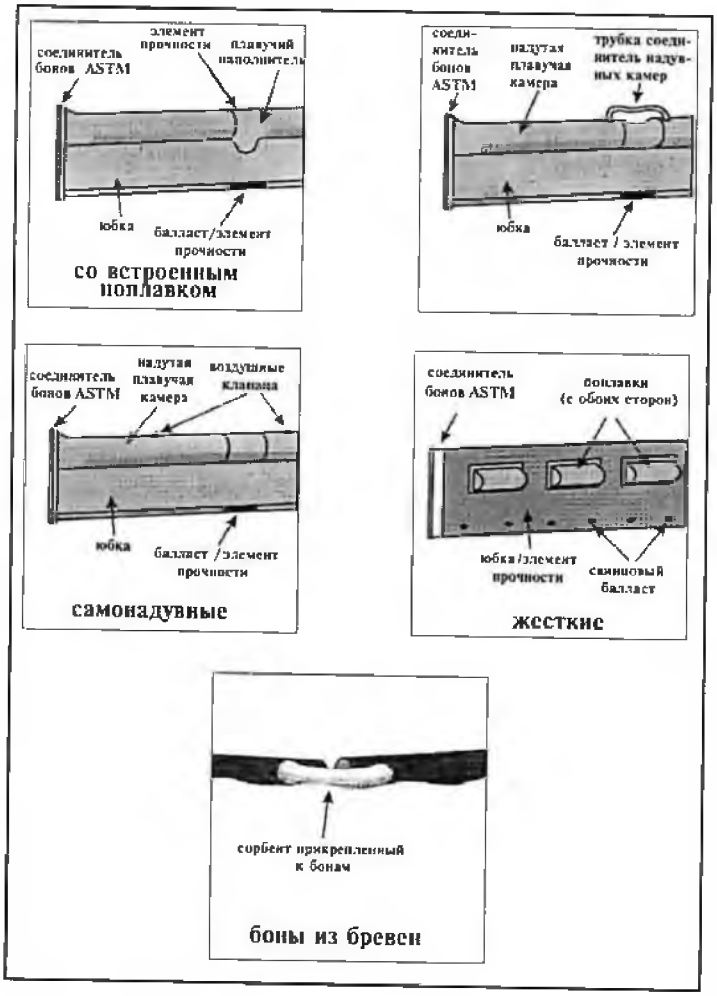

Рисунок 3.1 – Типы подвижных плавающих барьеров

Если используются бревна, их следует скреплять цепями, и сорбенты или другие материалы следует поместить между концами бревен для минимизации утечки нефти. Бревна просты в использовании, долговечны и эффективны при малых течениях (менее 0,2—0,3 м/с).

Соединительное устройство ASTM является стандартным устройством, которое позволяет соединять между собой секции бонов одного или разных

типов.

Как только пятно достигло свободной воды или битого льда, нефть может быть быстро разнесена ветром и течением, что может очень затруднить ограждение, задержание и сбор.

Наличие льда замедлит распространение разлитой нефти и обеспечит некоторое задержание; однако, нефть может попасть в замерзающий лед, распространиться среди обломков льда или прилипнуть к льдинам.

Из-за этого сбор нефти становится очень затруднительным. При волнении или других явлениях турбулентности, нефть может размешаться и рассеяться в толще воды, делая сбор невыполнимым.

Поэтому, если позволяют требования безопасности, важно, чтобы механическое задержание нефти производилось как можно ближе у источника загрязнения.

Использование задерживающих бонов в разрозненном льду более затруднительно, чем в условиях свободной поды.

В целом, во льду требуются сверхпрочные или более долговечные боны, для того чтобы выдержать дополнительную нагрузку. На свободной воде и в легких ледовых условиях задерживающие боны часто могут использоваться при течениях менее 0,5 м/с. Использование бонов, однако, обычно невозможно при концентрации льда свыше 60—70 %.

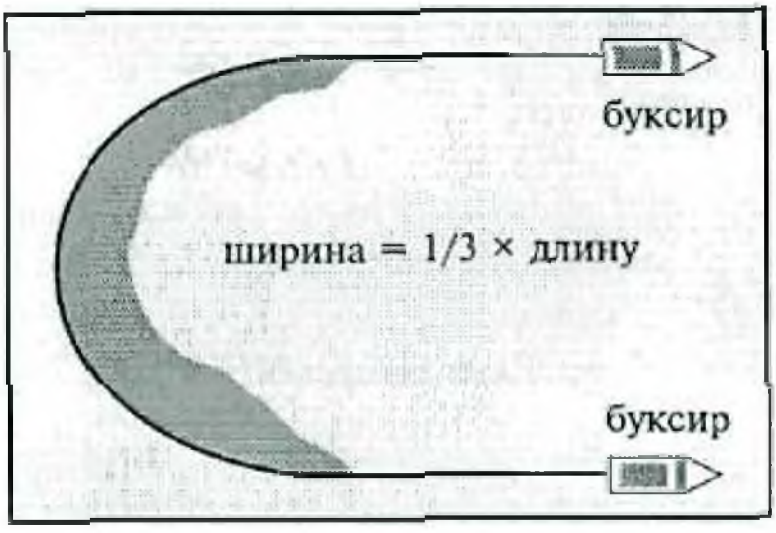

Рисунок 3.2 – U-образная ловушка

В идеале боны могут использоваться для полного ограждения источника разлива. Если имеется опасность взрыва вблизи источника разлива или разлив смещается, боны могут использоваться для сбора нефти ниже по течению от точки разлива.

Однако, в случае невозможности обеспечения безопасности персонала при ведении работ, работы по ликвидации разлива проводить нельзя.

Боны могут использоваться для задержания и сбора нефти в различных конфигурациях. Два судна могут буксировать боны при сборе, выстраивая их как ловушку или в форме латинской буквы U. Боны могут дрейфовать вниз по течению, находиться в неподвижном положении или передвигаться вверх по течению по отношению к источнику разлива.

Боны могут буксироваться в J-образной конфигурации, которая отводит нефть к скиммеру, и позволяет проводить одновременное задержание и сбор.

Боны могут развертываться в V-образной конфигурации с использованием трех судов и скиммера или двух судов и буксируемого скиммера. Конфигурация V может применяться совместно с конфигурациями U и J.

Рисунок 3.3 – Боны V-образной конфигурации

Таблица 7 показывает применимость каждого из четырех основных типов боновых заграждений при разной форме их использования в спокойной, закрытой и свободной воде, а также в битом льду.

Таблица 7 оценка применимостиосновных типов боновых заграждений при разной форме их использования

Применение бонов		Со встроенным поплавком	Принудительно - надуваемые	самонадувные	Жесткие
Спокойная вода	U/V	У	Х У	У	П
	J	Х	Х	П	У
Закрытая вода	U/V	Х	Х У	У	П
	J	Х	Х	П	У
Свободная вода	U/V	У	Х	П	П
	J	Х	Х	П	П

Цель использования стационарных барьеров – остановить и сконцентрировать движущуюся нефть для сбора, не препятствуя течению воды. Обычно, такие барьеры используются в качестве устройств для контроля разлива на реках, каналах или протоках, где имеются сооружения, через которые должна пройти нефть. Большинство стационарных барьеров делаются из подручных материалов.

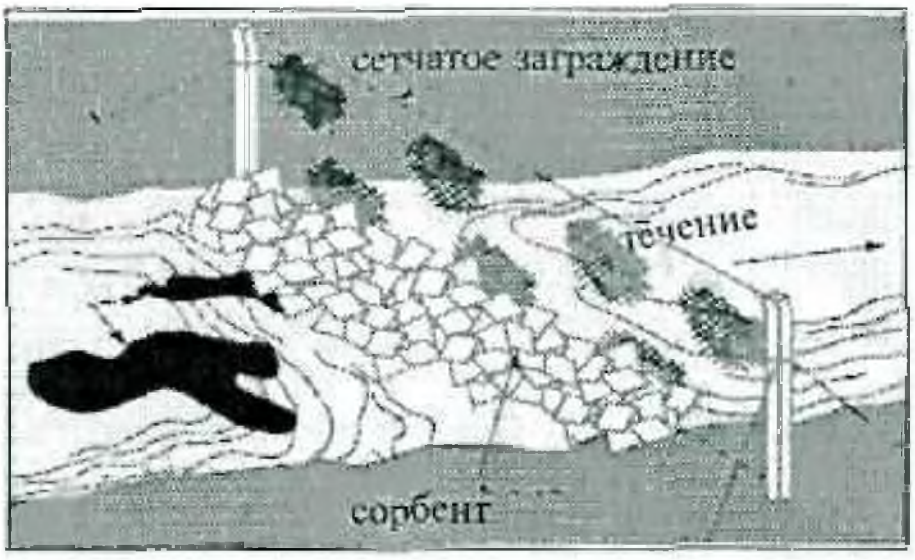

Рисунок 3.4 – Фильтрующие ограждения

На небольших реках или ручьях с медленным течением, металлическая сеть или невод, закрепленные на растяжках в качестве держателя сорбентов может контролировать движение нефти.

Вторая сеть может устанавливаться немного выше по течению от первой и служить в качестве экрана для мусора. Сорбирующие материалы могут располагаться между двумя сетями.

Двойное ограждение особенно подходит в каналах, где пол действием прилива направление течения меняется.

Для смены загрязненных или пропитавшихся сорбентов без утечки нефти, ниже или выше по течению от второго экрана могут быть установлены дополнительные ограждения.

Использование фильтрующих ограждений ограничивается ледовыми условиями.

Подводные барьеры предназначены для ограждения, задержания и/или сбора нефти, которая находится ниже водной поверхности. Они предназначены для использования в условиях открытой воды.

При наличии достаточного свободного водного пространства для установки бонов для сбора затонувшей нефти могут использоваться боны-тралы.

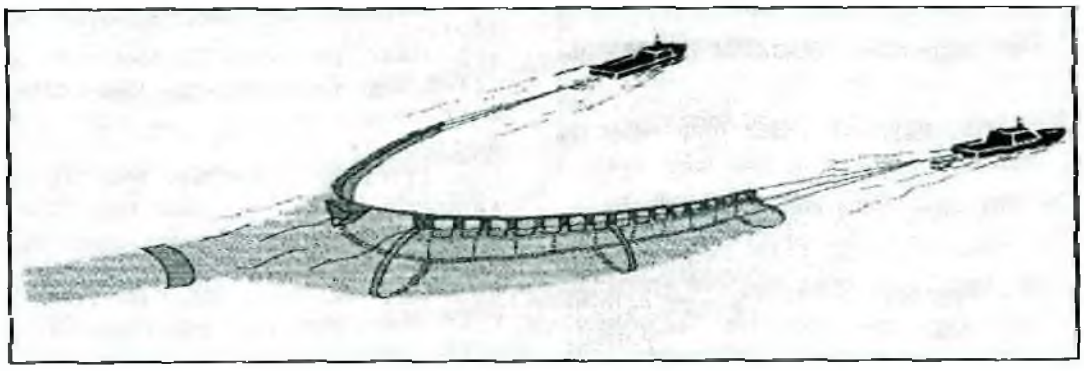

Рисунок 3.5 – Боны-тралы для поверхностной и затонувшей нефти

При скорости буксировки 1—2 м/с затонувшая и плавающая нефть нагнетается в туннели сетки (по одному с каждой стороны), которые простираются на 4 метра ниже стандартного задерживающего бона. Нефть

затем продвигается вдоль туннелей ч воронку расположенную в конце бона. В ряд может быть скреплено до 8 воронок, каждая содержит 2-4 тонны нефти и может быть заменена при наполнении.

Другие конструкции включают V-образную конфигурацию бонов с подвешенными к их низу и присоединенными к обеим сторонам бонов сетям.

На твердой поверхности, чтобы перегородить поток и остановить растекание нефти, могут быть построены барьеры из снега, земли или других материален. В отличие от стационарных барьеров, снежные и земляные барьеры не предназначены для отделения нефти от протекающей воды.

Анализ современных подходов к ликвидации нефтяных разливов показал, что эффективность мероприятий определяется своевременным применением комплексных решений, адаптированных к конкретным условиям загрязнения. Наибольшую результативность демонстрируют комбинированные технологии, сочетающие механические, физико-химические и биологические методы очистки. Особое значение приобретает использование инновационных разработок, таких как интеллектуальные боновые системы, нанострктурированные сорбенты и усовершенствованные биопрепараты.

Практический опыт подтверждает необходимость дифференцированного подхода к выбору методов ликвидации в зависимости от типа нефтепродукта, масштабов загрязнения и особенностей пострадавшей экосистемы. Важнейшим аспектом остается разработка превентивных мер и региональных планов реагирования, позволяющих минимизировать экологический ущерб. Перспективы развития данной области связаны с внедрением автоматизированных систем мониторинга и принятия решений, обеспечивающих оперативное реагирование на аварийные ситуации.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить комплексное представление о проблеме нефтяного загрязнения в береговой части Черного моря, его последствиях для экосистем и современных методах борьбы с нефтеразливами. Анализ физико-химического состава нефти показал, что ее многокомпонентная природа и сложный углеводородный состав определяют высокую токсичность и устойчивость в окружающей среде. Особую опасность представляют тяжелые фракции нефти, включая смолы и асфальтены, которые способны сохраняться в донных отложениях десятилетиями, выступая постоянным источником вторичного загрязнения.

Исследование динамики концентраций нефтепродуктов в донных отложениях северо-восточной и юго-восточной частей Черного моря выявило четкую пространственно-временную дифференциацию загрязнения. Период 1993-2010 годов характеризовался максимальными уровнями загрязнения, особенно в районах интенсивной хозяйственной деятельности - Керченском проливе, Цемесской бухте и акваториях крупных портов. Хотя в последующий период (2016-2020 гг.) наблюдалось некоторое снижение средних концентраций, локальные очаги загрязнения сохранились, что свидетельствует о кумулятивном характере накопления нефтяных углеводородов в донных отложениях.

Особое внимание в работе уделено экологическим последствиям нефтяного загрязнения. Установлено, что даже незначительные концентрации нефтепродуктов способны вызывать нарушения в функционировании морских экосистем. Наибольшую уязвимость демонстрируют прибрежные биотопы, где нефть накапливается в донных отложениях и включается в трофические цепи. Длительное воздействие углеводородов приводит к изменениям в структуре бентосных сообществ, снижению биоразнообразия и нарушению репродуктивных функций гидробионтов.

Анализ методов локализации и ликвидации нефтяных разливов показал,

что наиболее эффективным подходом является комбинация механических, физико-химических и биологических методов. При этом ключевое значение имеет оперативность реагирования и учет специфики конкретного нефтепродукта и условий разлива. Современные технологии, такие как интеллектуальные боновые системы и биоремедиация, позволяют значительно снизить экологический ущерб, однако их применение требует тщательного планирования и адаптации к региональным условиям.

Проведенное исследование подчеркивает необходимость совершенствования системы экологического мониторинга в Черноморском регионе, разработки национальных нормативов содержания нефтепродуктов в донных отложениях и создания комплексных планов реагирования на аварийные разливы. Особое внимание следует уделить районам с хроническим загрязнением, где требуется разработка специальных программ по восстановлению экосистем.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для природоохранных органов, нефтедобывающих и транспортных компаний, научных организаций. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение долгосрочных эффектов нефтяного загрязнения, разработку новых методов биоремедиации и создание прогнозных моделей распространения нефтепродуктов в морских экосистемах. Реализация этих мер позволит минимизировать антропогенное воздействие на уникальные экосистемы Черного моря и обеспечить их устойчивое функционирование в условиях возрастающей хозяйственной нагрузки.

1. Анализ научных работ, посвященных степени загрязнения вод нефтью в период с 1993 по 1998 год, выявил, что максимальные показатели (до десятикратно превышающие предельно допустимые концентрации) наблюдались в районе Керченского предпроливья. Вероятно, это связано с нахождением в данной акватории якорной стоянки, используемой для перегрузки различных видов грузов, а также с высокой интенсивностью движения судов. Загрязнение нефтью водной среды в Керченском

предпроливье остается значительным, с превышением предельно допустимых концентраций в среднем в пять-шесть раз..

2. Изучение средних показателей загрязнения причерноморской акватории в период с 1999 по 2008 годы демонстрирует относительно благоприятную ситуацию – 1.2 ПДК за исключением отдельных зон Анапы, Туапсе и Дагомыс, где наблюдалось устойчивое превышение предельно допустимых концентраций нефтепродуктов в 2-3 раза.

3. По результатам исследований донных отложений на побережье Кавказа ср за 2006-2010 гг:

- Концентрации ПАУ на участке Анапа-Новороссийск: 1.69-12.3 мкг/кг сухой массы;
- Среднегодовые концентрации: 28.6-41 мкг/кг сухой массы;
- Значительное превышение (в 3-4 раза) концентраций ПАУ на участке Южная Озереевка-Туапсе.

Период 2016-2020 гг.:

- Канцерогенные ПАУ составляли 33.8-90% от суммы идентифицированных соединений;
- Доля бенз(а)пирена: 0.7% от суммы ПАУ (при встречаемости более 90%);
- Преобладание техногенных соединений по всей прибрежной акватории Черного моря;
- Основные идентифицированные ПАУ: флуорантен, хризен, бенз(b)флуорантен, флуорен, трифенилен.

Значительный вклад в загрязнение вносит судоходство, особенно на участке Анапа-Новороссийск, где проходит путь к крупнейшему порту России – Новороссийску

4. Анализ данных за период с 2016 по 2020 годы показал, что пиковые концентрации углеводородов в поверхностных водах вблизи Абраусского полуострова наиболее часто фиксируются в весенний и осенний периоды. Превышение порогового значения концентрации в 0.05 мг/л преимущественно

отмечается на глубоководных станциях, расположенных вдоль линии, идущей от Цемесской бухты (в окрестностях Новороссийского порта).

5. Состав полициклических ароматических углеводородав в воде:

- В водах прибрежной акватории преобладают 2-4-ядерные полиароматические углеводороды (ПАУ), такие как фенантрен, флуорантен, нафталин и флуорен. Их общая концентрация составляет более 80% от общей концентрации ПАУ.

- По результатам анализа ПАУ, в донных отложениях преобладают «тяжелые» 4-6-ядерные которые образуются в основном в результате пиролитических процессов. Их доля составляет в среднем 64%, а встречаемость в 2-4 раза выше, чем в воде.

- Доля СВ в общей концентрации: В тех пробах, где СВ были обнаружены, их доля составляла 10-30% от суммы нефтяных компонентов.

Рекомендации и предложения:

Особое внимание следует уделить разработке и внедрению эффективных мер по предотвращению и ликвидации разливов нефти, а также на повышение экологической ответственности предприятий, осуществляющих деятельность, связанную с добычей, транспортировкой и переработкой нефти.

Список литературы

1. Аренс, В.Ж., Саушин, А.З., Гридин, О.М., Гридин, А.О. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений. - М., РАЕН, Интербук, 1999, 121 с.

2. Барабашин, Т.О., Кораблина, И.В., Павленко, Л.Ф. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 3–4. 227с.

3. Барабашин, Т.О., Павленко, Л.Ф., Кораблина, И.В. Факторы влияния транспортировки нефти на экологическое состояние водных объектов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2020. № 1. 413с.

4. Борисов, В.М., Осетрова, Н.В., Пономаренко, В.П. Влияние разработки морских месторождений нефти и газа на биоресурсы Баренцева моря: Методические рекомендации по оценке ущерба рыбному хозяйству. - М.: Экономика и информатика, 2001. 272 с.

5. Виноградова, О.К. Наступление на Черное море // Политика и управление. 2011. № 9. 370с.

6. Воробьев, В.Л., Акимов, В.А., Соколов, Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. - М.: Ин-октаво, 2005. 368 с.

7. Жукова, С.В., Шишкин, В.М., Подмарева, Т.И. Особенности формирования режима течений Темрюкского залива Азовского моря в летний период 2008–2014 гг. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2016. №2. 220с.

8. Иванов, А.Ю., Кучейко, А.А., Филимонова, Н.А. Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ // Исследование Земли из космоса. 2017. № 2. С. 250.

9. Караев, С., Шыхалиев, К. Экологические проблемы транспортировки нефти и нефтепродуктов и новые методы очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов. – Ганновер, 2014, 424 с.

10. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2018 / Под ред. А.Н. Коршен- ко. - М.: Наука, 2019. 190 с.

11. Кленкин, А.А., Агапов, С.А. Динамикараспределения нефтепродуктов в воде и донных отложениях Азовского и Черного морей после аварии судов в Керченском проливе // Водные ресурсы. 2011. Том 38. № 2. 422с.

12. Кленкин, А.А., Корпакова, И.Г., Павленко, Л.Ф. и др. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: ФГУП АзНИИРХ, 2007. 324 с.

13. Лаврова, О.Ю., Митягина, М.И. Спутниковый мо-ниторинг пленочных загрязнений поверхности черного моря // Исследование земли из космоса, 2012, № 3, 480с.

14. Мирошина, Е.А., Петренко, М.Т., Зимнова, В.А. Динамика развития сырьевого экспорта РФ с 2016 по 2020 год на примере сырой нефти // Молодой ученый. 2020. №20 (310). 442с.

15. Митягина, М.И., Лаврова, О.Ю., Бочарова, Т.Ю. Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. 449с.

16. Нельсон-Смит, А. Нефть и экология моря; Прогресс - М., 2008. - 304 с.

17. Немировская, И.А. Углеводороды в экосистеме Белого моря // Океанология. – 2005. – 45. – № 5. – 688с.

18. Немировская, И. А., Аникиев, В. В., Теобальд, Н., Раве, А. Идентификация нефтяных углеводородов в морской среде при использовании различных методов анализа // ЖАХ. – 1997. – 52. – № 4. – 396с.

19. Немировская, И. А., Бреховских, В. Ф. Генезис углеводородов во взвеси и в донных осадках северного шельфа Каспийского моря // Океанология. – 2008. – 48, № 1. – 158 с.

20. Немировская, И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки) - М.: Научный мир, 2013. 432 с.

21. Немировская, И.А. Уровни и генезис углеводородов в прибрежных

районах российского сектора Черного моря//Труды ГОИН. 2019.№220. С.243.

22. Павленко, Л. Ф., Скрыпник, Г. В., Кленкин, А. А. Корпакова, И. Г. Загрязнение Азовского моря полиароматическими углеводородами // Вопросы рыболовства. – 2008. – 9. – №4 312 с.

23. Патин, С.А. Нефть и экология континентального шельфа. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. - М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.

24. Ровинский, Ф. Я., Теплицкая, Т. А., Алексеева, Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 224 с.

25. Сарнавский, Д.В. Сабодаш, О.А. Особенности распределения нефти при аварийных разливах в ледовых условиях Арктики // Евразийский Союз Ученых — публикация научных статей в ежемесячном научном журнале. Технические науки. 2018. Т.49. № 1. 267 с.

26. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Чёрного моря / Гл. ред. И.Ф. Глумов, М.В. Кочетков. – М.: Недра, 1996. – 502 с.

27. Чернова, Т. Г. Углеводородные ассоциации в экосистеме Чёрного моря // Океанология. – 1993. – 33, № 1. – 235 с.