Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему «Оценка риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов»

Исполнитель Дрозд Ксения Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Ph.D
(ученая степень, ученое звание)

Семеошенкова Вера Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой _____
(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«10» мая 2026 г.

Санкт-Петербург
2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....4

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ.....7

1.1. Географическое положение.....7

1.2. Климатические условия.....8

1.3. Геология.....8

1.4. Гидрологический режим.....10

1.5. Гидрохимия.....12

1.6. Биоразнообразие.....13

1.7. Экономика.....14

ГЛАВА 2. РАЗЛИВЫ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ.....18

2.1. Классификация нефти и нефтепродуктов по ГОСТ Р 51858–2020. Поведение нефти при разливе.....18

2.2. История и анализ разливов нефти в российской акватории Черного моря 20

2.3. Способы устранения нефтяного загрязнения.....22

2.4. Последствия разливов нефти и нефтепродуктов.....26

ГЛАВА 3. ОБЗОР МЕТОДИК КАРТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕР ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТИ.....30

3.1. Методика картирования экологической чувствительности Журавель и Чурсиной.....30

3.2. Методика Всемирного фонда дикой природы (WWF Oil Net).....33

3.3. Сравнительный анализ методик.....35

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ.....37

4.1. Расчет индекса чувствительности по методике В.И. Журавель и Н.В. Чурсиной (2001).....37

4.2. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Крыма.....41
4.2.1. Оценка показателей в категории «Природопользование».....41
4.2.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»41
4.2.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям».....43
4.2.4. Уточненный сводный индекс для Крыма.....43
4.3. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Керченского района.....43
4.3.1. Оценка показателей в категории «Природопользование».....43
4.3.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»44
4.3.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям».....45
4.3.4. Уточненный сводный индекс для Керченского района.....45
4.4. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Кавказского района.....46
4.4.1. Оценка показателей в категории «Природопользование».....46
4.4.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»46
4.4.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям».....47
4.4.4. Уточненный сводный индекс для Крыма.....48
4.5. Рекомендации по уменьшению ущерба.....48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....52

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Аварийные разливы нефти в морской среде могут происходить на любой стадии добычи, хранения или транспортировки нефти и нефтепродуктов. Причинами подобных инцидентов являются утечки из прибрежных хранилищ и трубопроводных систем, а также судоходные аварии, посадка судна на мель и разрушение танкеров. Учитывая высокую природную ценность, хрупкость экосистем и социально-экономическую значимость прибрежной зоны российского сектора Черного моря, любые техногенные инциденты могут привести к необратимым последствиям для окружающей среды, биоресурсов и населения региона.

Актуальность работы обусловлена, тем что прибрежная зона российского сектора Черного моря представляет собой территорию с антропогенной нагрузкой. В регионе сосредоточены крупные портовые узлы – Новороссийск, Туапсе, Керчь – и развитая туристическая инфраструктура, включающая курорты в городах: Сочи, Геленджик, Анапа и Ялта. Высокая интенсивность судоходства, особенно танкеров класса «река–море», пересекающих Керченский пролив, в сочетании с уязвимостью прибрежных экосистем, могут негативно воздействовать на уникальные природные комплексы, такие как колонии мидий, места обитания и миграции дельфинов, осетровых и других охраняемых видов. Существует повышенный риск возникновения аварийных разливов нефти.

Крупные разливы 2007 и 2024 годов в Керченском проливе стали наглядным примером катастрофических последствий: массовая гибель дельфинов и птиц, загрязнение донных отложений, длительные запреты на рыболовство, убытки туристической отрасли и высокие затраты на ликвидацию последствий. Эти события подчеркивают необходимость системного подхода к оценке уязвимости прибрежных территорий и разработке мер оперативного реагирования. Картирование экологической чувствительности позволяет

выявить наиболее уязвимые участки, оптимизировать размещение средств ликвидации разливов и повысить эффективность природоохранных мероприятий.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается проблема аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в прибрежной зоне российского сектора Черного моря. Проводится анализ воздействия нефтяных разливов на экологические и социально-экономические компоненты, рассчитывается индекс экологической чувствительности (ИЭЧ) и разрабатываются рекомендации по минимизации ущерба от возможных экологических катастроф.

Предметом исследования является экологическая чувствительность прибрежной зоны российского сектора Черного моря к аварийным разливам нефти.

Объектом исследования выступает прибрежная зона российского сектора Черного моря в границах от Крымского полуострова до города Адлер.

Целью работы является оценка экологической чувствительности прибрежной зоны российского сектора Черного моря к аварийным разливам нефти и разработка научно обоснованных рекомендаций по предотвращению и минимизации возможного ущерба.

Задачи исследования:

1. Провести физико-географическую характеристику российского сектора Черного моря с акцентом на географическое положение, климат, геологию, гидрологический режим, гидрохимию, биоразнообразие и хозяйственную деятельность;

2. Проанализировать историю и экологические последствия крупнейших аварий с разливом нефти в российской акватории (2007 и 2024 гг. в Керченском проливе), а также существующие методы ликвидации нефтяных загрязнений;

3. Осуществить обзор методик картирования экологической чувствительности к разливам нефти, включая подходы Журавель и Чурсиной (2001) и WWF Oil Net;

4. Выполнить районирование прибрежной зоны на три ключевых участка – Крымский, Керченский и Кавказский – с учетом природных и антропогенных особенностей;

5. Рассчитать индекс экологической чувствительности (ИЭЧ) для каждого района по методике Журавель и Чурсиной с учетом типа берега, биологической ценности и антропогенной нагрузки;

6. Определить уровни уязвимости районов и разработать практические рекомендации по снижению рисков и последствий аварийных разливов, на основе полученных данных.

Структура работы соответствует предмету, цели, задачам и логике исследования и состоит из введения, 4 основных глав, включающих в себя параграфы, заключения, списка источников и литературы.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

1.1. Географическое положение

Черное море – море бассейна Атлантического океана, лежащее между Европой и Азией, к востоку от Балкан, к югу от Восточно-Европейской равнины, к юго-западу от Кавказа. Основной источник пресных вод реки Дунай, Днепр и Дон. Средняя глубина воды составляет 1240 метра, максимальная глубина – 2210 метров. Площадь моря – 422 000 км^2 [1].

Отличительной чертой моря является практически полное отсутствие жизни на глубинах более 150–200 м из-за насыщенности глубинных слоев воды сероводородом.

Ключевыми географическими объектами российского сектора являются Керченский пролив, соединяющий Черное и Азовское моря, а также крупные заливы и бухты: Цемесская, Геленджикская, Гудаутская и другие, показанные на рис. 1.1 Протяженность российского побережья Черного моря превышает 450 км.

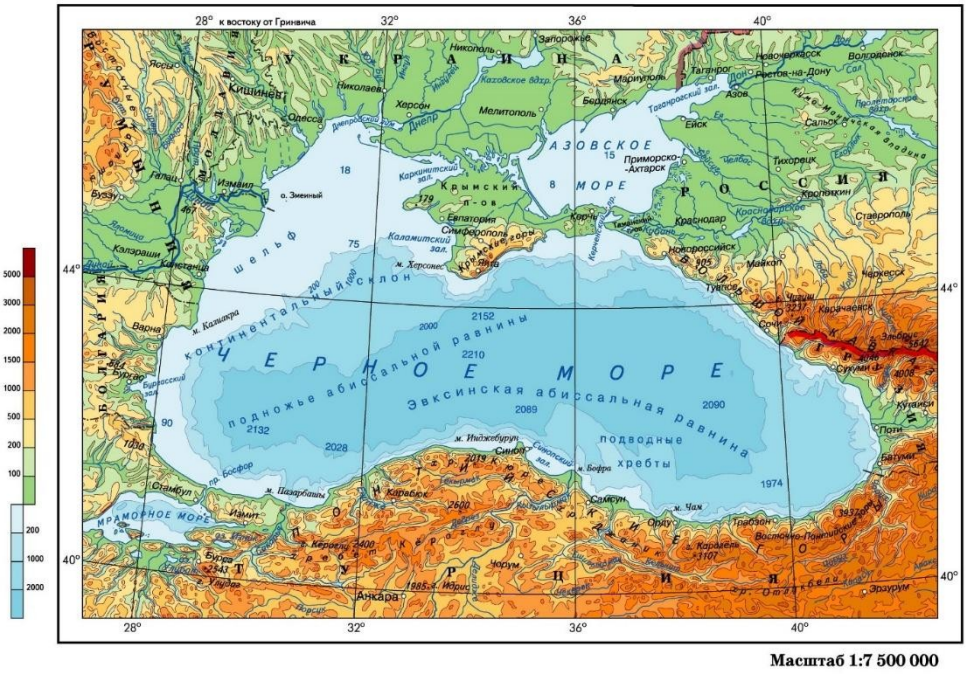


Рисунок 1.1. Карта Черного моря

1.2. Климатические условия

Над Черным морем в основном преобладает континентальный климат, но благодаря водным массам становится более мягким. Побережье Кавказа и южный берег Крыма защищены горами от холодных северных ветров, поэтому формируются две основные зоны: мягкий средиземноморский климат на севере и влажный субтропический на юго-востоке.

Зима достаточно мягкая. Средняя температура января на южном побережье редко опускается ниже +5°С, на северной части приблизительно -1… -3°С, в отдельные годы может опускаться до -10°С и ниже. Снег периодически выпадает в северных районах моря.

Летом ясная, сухая, жаркая погода с преобладанием слабых ветров с северо-запада. Средняя температура за июль в среднем от 22–23°С на северо-западе до 24–25°С на востоке.

Атмосферные осадки распределены по морю неравномерно. На южном побережье годовой слой осадков 600–700 мм, на северо-западном около 300 мм.

В период с ноября по март особую опасность представляют северо-восточные штормы силой 7–9 баллов, что существенно затрудняет работы по ликвидации разливов и вызывает интенсивное вертикальное перемешивание водных масс, способствуя распространению загрязнений на большие глубины.

1.3. Геология

Рельеф отличается значительной сложностью. На рис. 1.2 выделяется широкая шельфовая зона (глубина до 150–200 м), материковый склон и глубоководная котловина. Российский сектор Черного моря характеризуется относительно широким шельфом в районе Таманского полуострова и узким шельфом у южного берега Крыма.

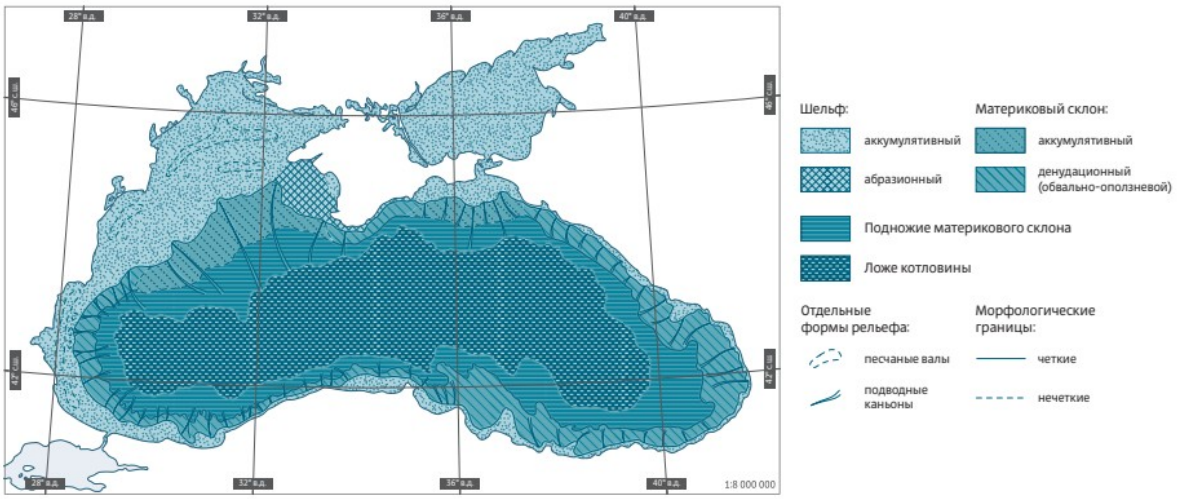


Рисунок 1.2. Геоморфологическая схема дна Черного моря [5]

Прибрежная зона представлена на рис. 1.3 различными типами берегов, абразионные берега – скалистые участки, подверженные активному разрушению волнами. Аккумулятивные берега – песчаные и галечные пляжи, формирующиеся за счет накопления наносов. Лагунно-лиманные берега – участки с мелководными лагунами и лиманами, часто отделенные от моря песчаными косами.

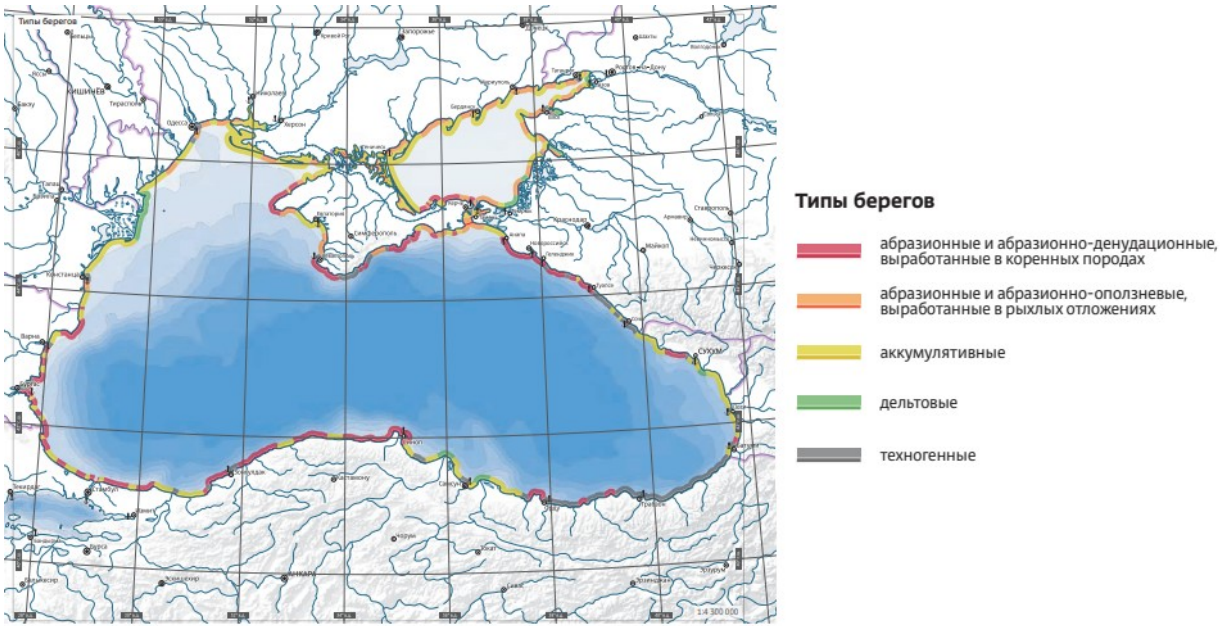


Рисунок 1.3. Типы берегов Черного моря [5]

1.4. Гидрологический режим

Циркуляция вод в Черном море носит циклонический характер, как можно увидеть на рис. 1.4. Основным является Черноморское течение, движение которого идет против часовой стрелки вдоль берега. В прибрежной зоне формируются локальные круговороты и апвеллинги.

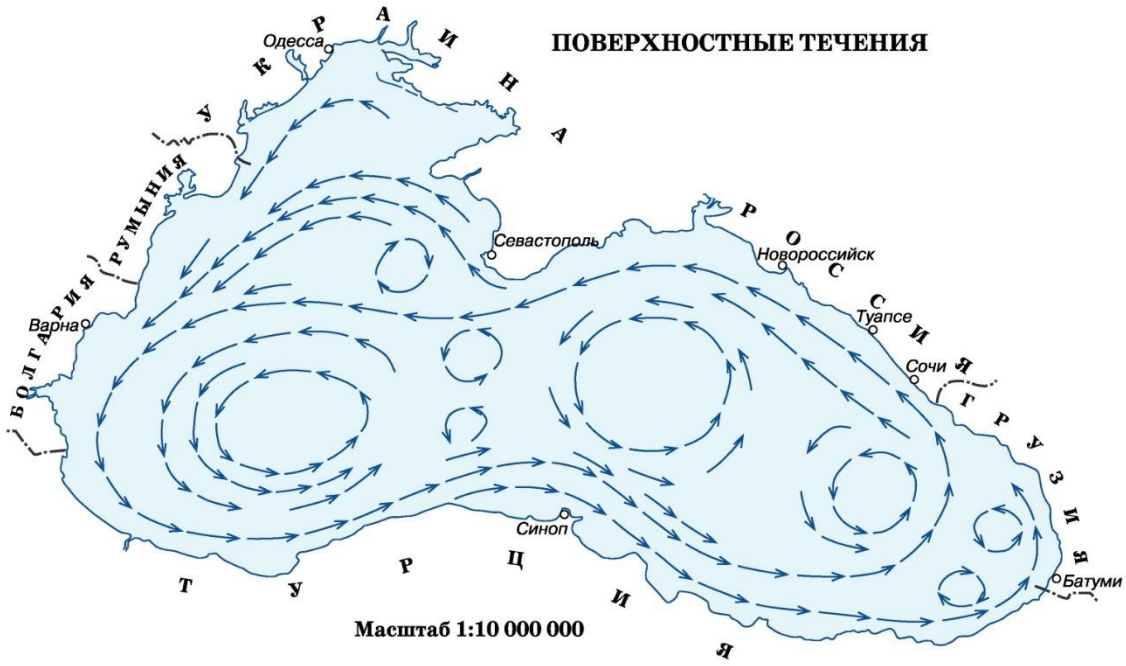


Рисунок 1.4. Карта поверхностных течений Черного моря

Температура поверхности моря на рис. 1.5 зимой опускается до 0...+9 в зависимости от района моря, летом повсюду прогревается до 23–26°С. С ростом глубины температура уменьшается и на уровне от 50–100 м располагается холодный промежуточный слой, а основная масса воды ниже 100–150 м имеет температуру 8,5–9,2°С.

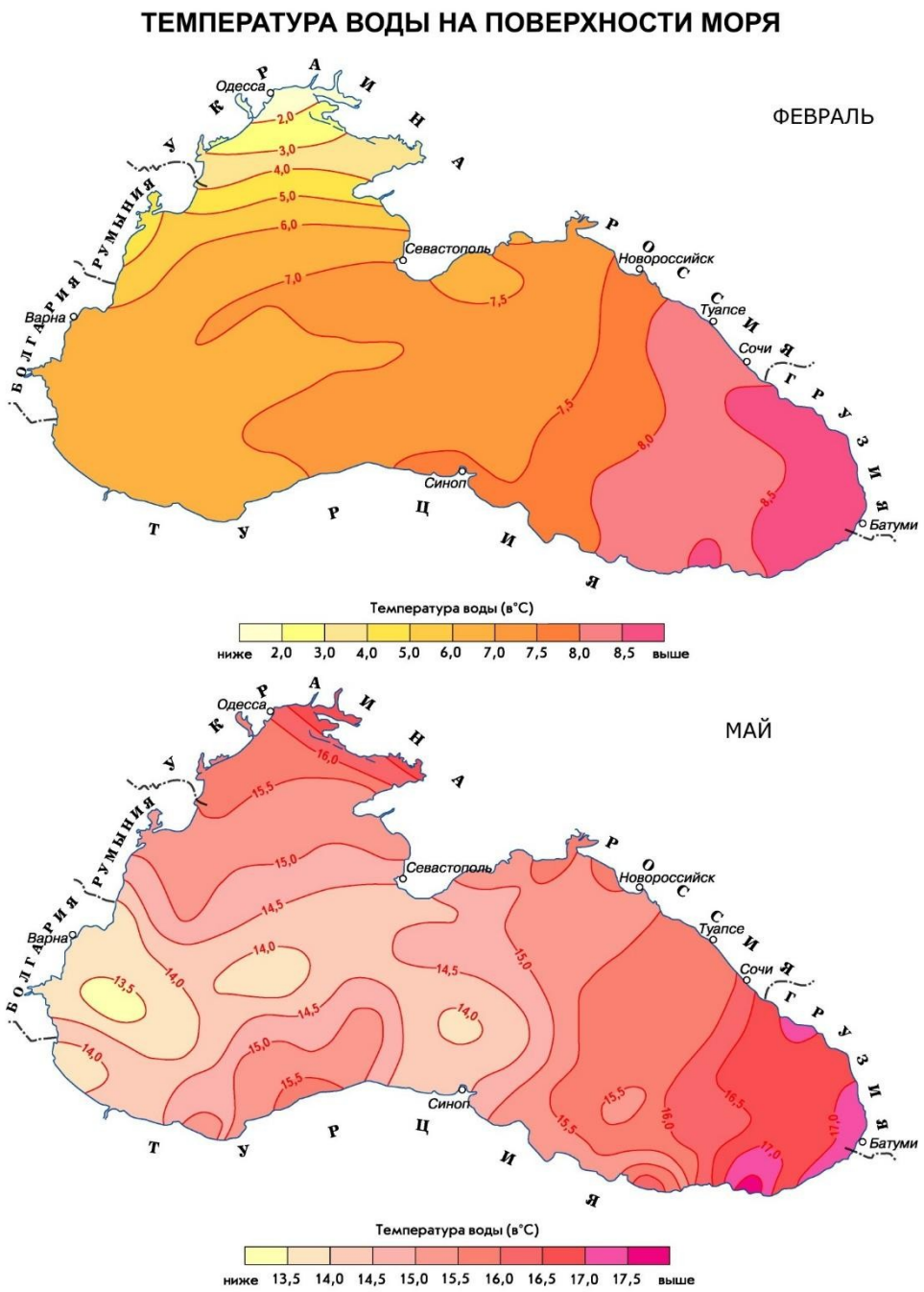


Рисунок 1.5. Карта распределения температуры воды на поверхности Черного моря

Соленость в большей части акватории моря измеряется в пределах 17,5–18,3 ‰, что видно на рис.1.6, но с увеличением глубины от 100 м и глубже постепенно возрастает, в придонном слое 22,0–24,0 ‰. В приустьевых районах крупных рек снижается до 2–10 ‰.

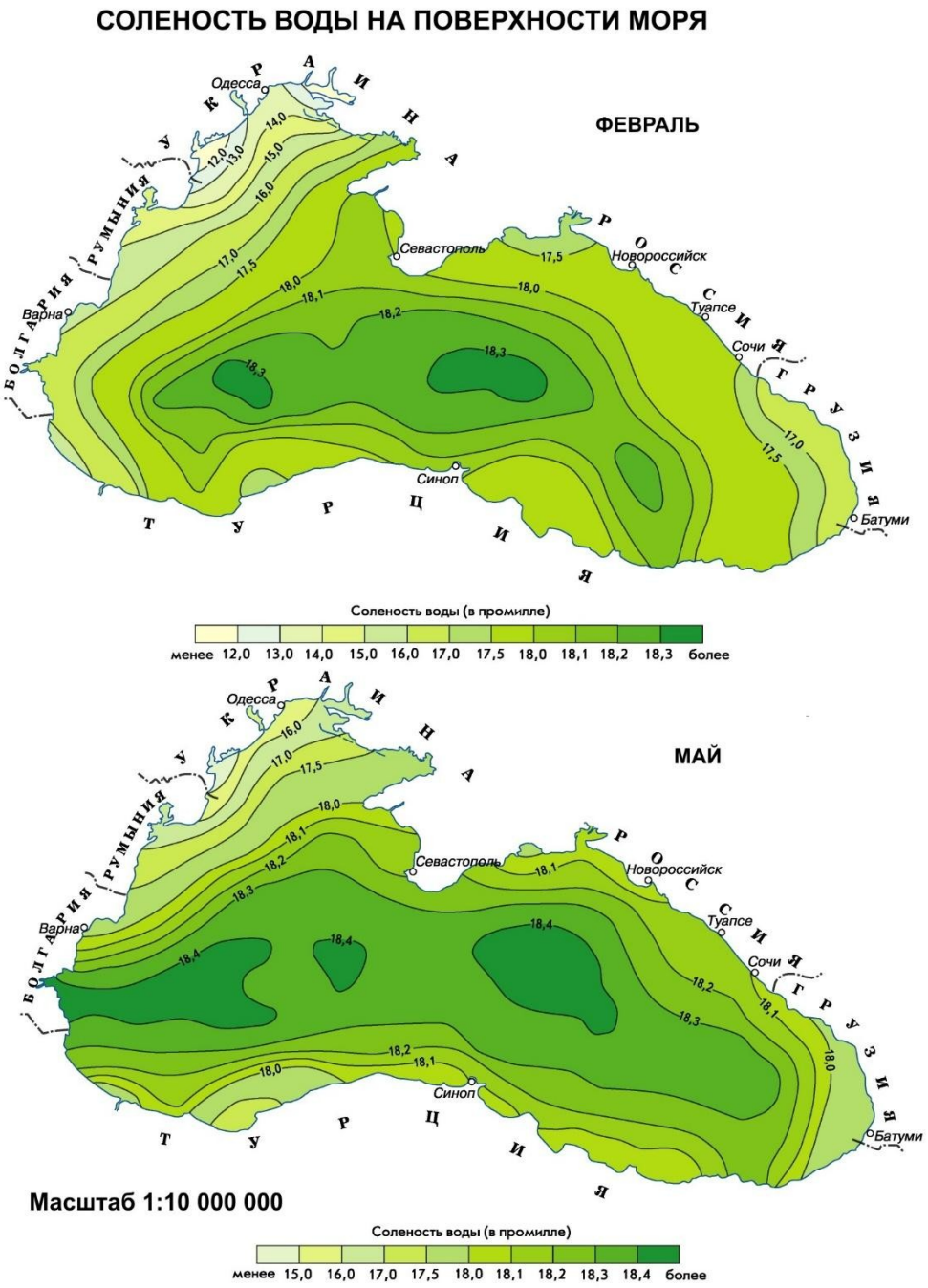


Рисунок 1.6. Карта распределения солености воды на поверхности Черного моря

Стоит отметить, что важной деталью является ограниченный слабый водообмен с Мировым океаном через пролив Босфора, что приводит к высокой степени изоляции морской среды и замедлению процессов самоочищения.

1.5. Гидрохимия

Гидрохимия Черного моря своеобразна и заключается в постоянном присутствии сероводорода в глубинных водах. На глубине около 25 м фиксируется максимальная концентрация кислорода (свыше 8 мл/л). С увеличением глубины содержание кислорода снижается до полного исчезновения на 150 м. Дальше начинается распространение сероводорода, концентрация которого растет по мере приближения ко дну достигая 8–10 мг/л.

1.6. Биоразнообразие

Черное море имеет относительно невысокое видовое разнообразие в сравнении с другими морями. Это подтверждается несколькими факторами: низкая соленость воды, ограниченный слой пригодный для жизни и ограниченный водообмен со Средиземным морем, но некоторые виды периодически заходят через пролив Босфор и Дарданеллы.

Флора

Флора Черного моря включает 270 видов многоклеточных зеленых, бурых, красных донных водорослей и не менее 600 видов фитопланктона.

Доминирующие водоросли:

- Цистозира – бурые многолетние крупные водоросли, образуют густые «подводные леса»;
- Ульва, зостера, кладофора и энтероморфа – зеленые пластинчатые водоросли, быстро разрастающиеся на мелководье;
- Филлофора – красные водоросли, доминирующие на глубине от 10 до 60 м.

Фитопланктон составляет основу трофической цепи и представлен жгутиконосцами, динофлагеллятами, диатомовыми водорослями, кокколитофоридами и другими.

Фауна

Фауна Черного моря насчитывает около 2500 видов, преимущественно мелководных и прибрежных форм.

Зоопланктон и бентос: мидии, устрицы, гребешок Flexopecten glaber ponticus, рапана, крабы, креветки, актинии и губки.

Медузы: корнерот и аурелия.

Ихтиофауна: многочисленны бычки, азовская и черноморская хамса, кефали, ставрида, скумбрия, луфарь, мерлуза, сарган, морской конек. Природоохранное и промысловое значение имеют осетровые (белуга, севрюга, осетры) и черноморский лосось. Из опасной рыбы можно выделить: морской дракончик, черноморская скорпена-ерш, морской кот (скат с ядовитыми шипами на хвосте).

Морские млекопитающие: три вида дельфинов – белобочка, афалина, азовский дельфин (морской свиньей) и белобрюхий тюлень.

Орнитофауна: чайки, бакланы, буревестники, утки-нырки, а также другие зимующие и гнездящиеся.

Многие виды Черного моря имеют высокий природоохранный статус и занесены в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Черного моря.

Уязвимость к нефтяному загрязнению

Экосистема моря обладает повышенной чувствительностью к разливам нефти и нефтепродуктов, а из-за низкой скорости самоочищения моря значительно увеличивается последствия загрязнения.

1.7. Экономика

Транспортное значение

Черное море имеет ключевую роль в транспортной системе Российской Федерации, выступая коридором для экспорта нефти и нефтепродуктов, углеводородов, зерна, металлов и других грузов.

Особое значение стоит придать транспортировке нефти и нефтепродуктов. Основными портами российского побережья является Новороссийск и Туапсе. При высокой интенсивности танкерных перевозок по акватории, особенно в

районе Керченского пролива существенно повышается риск аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

По дну Черного моря проходит газопровод «Турецкий поток», обеспечивающий поставки российского газа в Турцию и далее в Европу. Море является частью международного транспортного коридора TRACECA (Европа – Кавказ – Азия) и Панъевропейских транспортных коридоров. Важное место занимают контейнерные и железнодорожно-паромные перевозки.

Промышленное рыболовство

Промышленное рыболовство в Черном море ориентировано на добычу кильки (шпрота), хамсы, кефали, ставриды и скумбрии (показано на рис. 1.7. и рис. 1.8.). В последние десятилетия объемы вылова значительно сократились из-за перелова, браконьерства и ухудшения экологического состояния акватории.

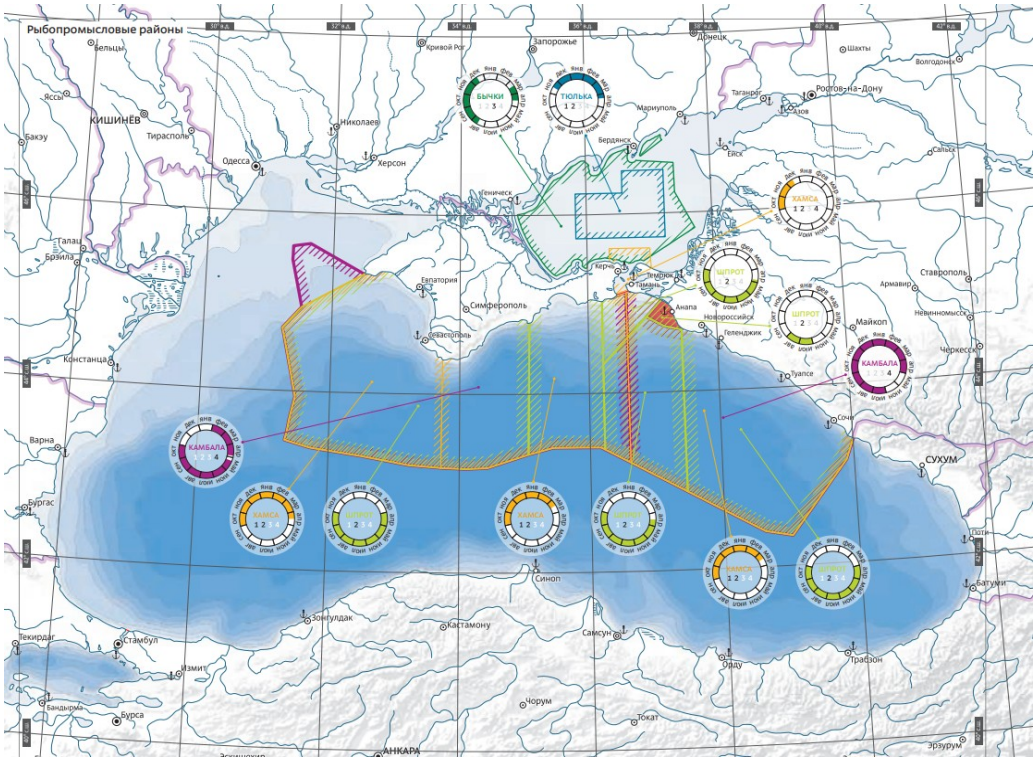


Рисунок 1.7. Карта рыбопромысловых районов Черного моря [5]

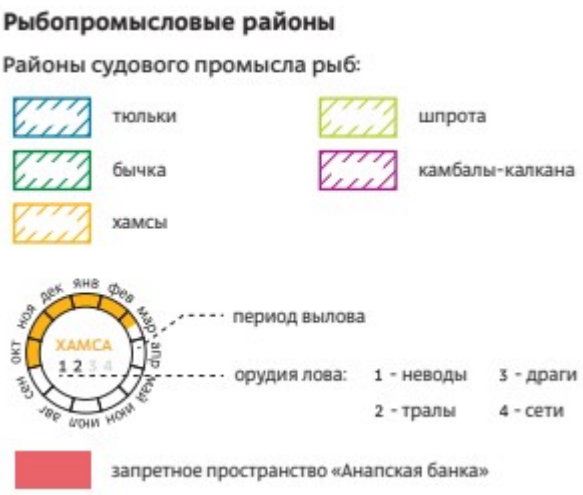


Рисунок 1.8. Условное обозначение рисунка 1.7

Рекреационное значение

Благоприятные климатические условия способствовали превращению российского побережья Черного моря (Анапа, Геленджик, Сочи и др.) в главный курортный регион страны. Благодаря мягкому субтропическому климату, продолжительному купальному сезону и обилию природных лечебных факторов - минеральных вод и грязей, с развитой сетью санаториев и пансионатов привлекает множество туристов для различного вида отдыха.

Особенности Черного моря – ограниченный водообмен через проливы, постоянное присутствие сероводорода на глубинах свыше 150 м, циклоническая система течений со сложными рельефами дна, с глубоководными впадинами и подводными хребтами создают условия, при которых загрязняющие вещества не рассеиваются, а накапливаются в прибрежных и донных зонах. Это все в совокупности с высоким биоразнообразием прибрежной экосистемы, включая водоросли, колонии мидий и места обитания редких видов, приводят к повышенной экологической уязвимости региона.

Российский сектор Черного моря подвержен значительной транспортной нагрузке, из-за интенсивного танкерного судоходства, перевозящим нефть и нефтепродукты. Формируя зону с повышенным риском аварийных разливов. Специфические природные условия, такие как низкие температуры в зимний

период, частые шторма, а также склонность тяжелых фракций нефти, к осаждению на дно способствуют переходу загрязнителей в донные осадки, где они могут сохраняться годами, что резко снижает эффективность естественных процессов самоочищения и затрудняет восстановление экосистем.

Полученные сведения о природных особенностях и антропогенных воздействиях составляют основу для оценки экологического риска при аварийных разливах нефти и помогают в выделение наиболее уязвимых участков прибрежной зоны, подлежащих приоритетной охране.

ГЛАВА 2. РАЗЛИВЫ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

2.1. Классификация нефти и нефтепродуктов по ГОСТ Р 51858–2020. Поведение нефти при разливе

Нефть (от тур. neft, через перс. «нефт»; восходит к аккадскому «напатум» — вспыхивать, воспламенять), горючее полезное ископаемое; маслянистая жидкость со специфическим запахом, состоящая из углеводородов и неуглеводородных компонентов, распространенная в осадочной оболочке Земли. Согласно ГОСТ Р 51858–2020 «Нефть. Общие технические условия», нефть подразделяется на классы, типы, группы и виды. Классификация происходит в зависимости от содержания серы и от плотности и выхода фракции [3].

Классификация в зависимости от содержания серы:

Класс 1 – Малосернистая (массовая доля серы до 0,6 %);

Класс 2 – Сернистая (Св. 0,60 до 1,80 % включ.);

Класс 3 – Высокосернистая (Св. 1,80 до 3,50 % включ.);

Класс 4 – Особо высокосернистая (Св. 3,50 %);

Классификация по плотности (типы):

Тип 0 – особо легкая (плотность при +20° не более 830,0 кг/м3);

Тип 1 – легкая (830,1 – 850,0 кг/м3);

Тип 2 – средняя (850,1 – 870,0 кг/м3);

Тип 3 – тяжелая (870,1 – 895,0 кг/м3);

Тип 4 – битуминозная (более 895,0 кг/м3);

В ходе дальнейшей работы будет рассмотрены две аварии в Керченском проливе 2007 и 2024 года. Преимущественно в данном районе был разлив тяжелого нефтепродукта – мазут марки М-100, который относится к типу 3 (тяжелая) из-за высокой плотности (от 890,0 кг/м3) при стандартной температуре +20°.

Поведение нефти и нефтепродуктов при разливе

Сразу после разлива нефти в водную среду она подвергается ряду природных процессов, которые можно объединить общим названием «выветривание» проиллюстрированного на рис. 2.1. Данные процессы быстро и непрерывно изменяют поведение нефти и распространяют ее на значительные расстояния от места разлива. Их интенсивности и характер зависят от типа нефти (физические и химические свойства), а также от экологических условий места разлива.

Основные процессы выветривания:

- Распространение – растекание нефти на поверхности воды сразу же после разлива, скорость данного процесса зависит от количества и вязкости самой нефти;
- Испарение – летучие компоненты нефти испаряются в атмосферу, скорость зависит от температуры воздуха и скорости ветра;
- Дисперсия – раздробление нефти и перемешивание с верхними слоями воды, зависит от состава нефти и условий моря;
- Растворение – скорость и степень растворения зависят от состава, температуры воды, распространения, турбулентности и степени дисперсии;
- Эмульгирование – поглощение нефтью воды образует водонефтяные эмульсии, что может вызвать увеличение объема загрязнения;
- Фотоокисление – окисление за счет солнечного света и вступление углеводородов в реакцию с кислородом, образование растворимых веществ или стойких смол;
- Биоразложение – ряд морских микроорганизмов способны метаболизировать нефтесодержащие соединения, зависит от характеристики нефти, наличие кислорода, биогенных веществ и температуры

● Седиментация – взаимодействие диспергированных капель нефти с седиментными частицами и органическими веществами, в результате происходит запустевание капель и медленное опускание на морское дно [4].

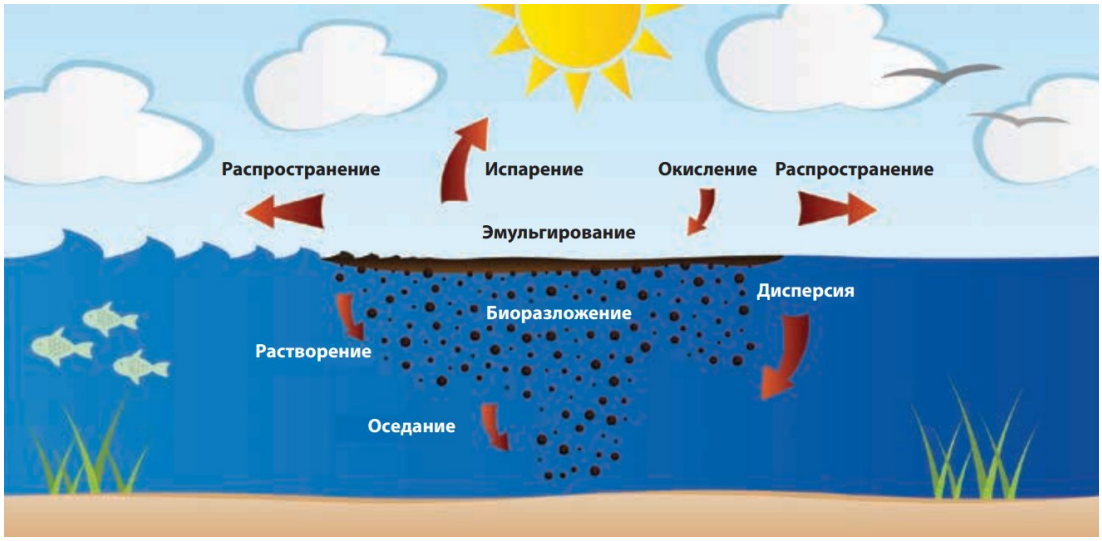


Рисунок 2.1. Процессы выветривания, действующие на нефть в море [4]

В Черном море тяжелый нефтепродукт типа мазут отличается низкой летучестью и высокой устойчивостью к выветриванию, что характеризует длительное загрязнение береговой линии и донных осадков.

2.2. История и анализ разливов нефти в российской акватории Черного моря

Черное море является одним из важных районов транспортных перевозок с высокой интенсивностью судоходства. Регион играет крупную роль в транспортировке российской нефти в южном направлении. Из-за высокой интенсивность движения судов, в частности танкеров класса «река-море» акватория Керченского пролива и прибрежная часть Краснодарского края, особенно в условиях штормовой погоды имеет повышенный шанс возникновения аварийных разливов.

Наиболее значимые инциденты:

Ноябрь 2007 г., Керченский пролив. В ходе сильного шторма произошел разлом танкера «Волгонефть – 139», в море попало от 1300 до 2000 тонн мазута.

С последующим загрязнением более 100 км береговой линии России. Данный инцидент стал одним из крупнейших экологических катастроф начала XXI века.

15 декабря 2024 года, Керченский пролив. Разлом двух танкеров «Волгонефть – 239» и «Волгонефть – 212» во время шторма с силой 7 баллов. По различным оценкам экспертов в водную среду попало от 2400 до 4000 тонн мазута. Загрязнено более 50 км береговой линии Краснодарского края, что видно на рис. 2.2, значительно пострадал курортный сезон на будущий 2025 год, введен режим чрезвычайной ситуации федерального уровня. Массовая гибель морских млекопитающих (более 70 дельфинов) и орнитофауны (более 15 тысяч особей). Оценка экологического ущерба Росприроднадзором составил 84,8 млрд рублей.

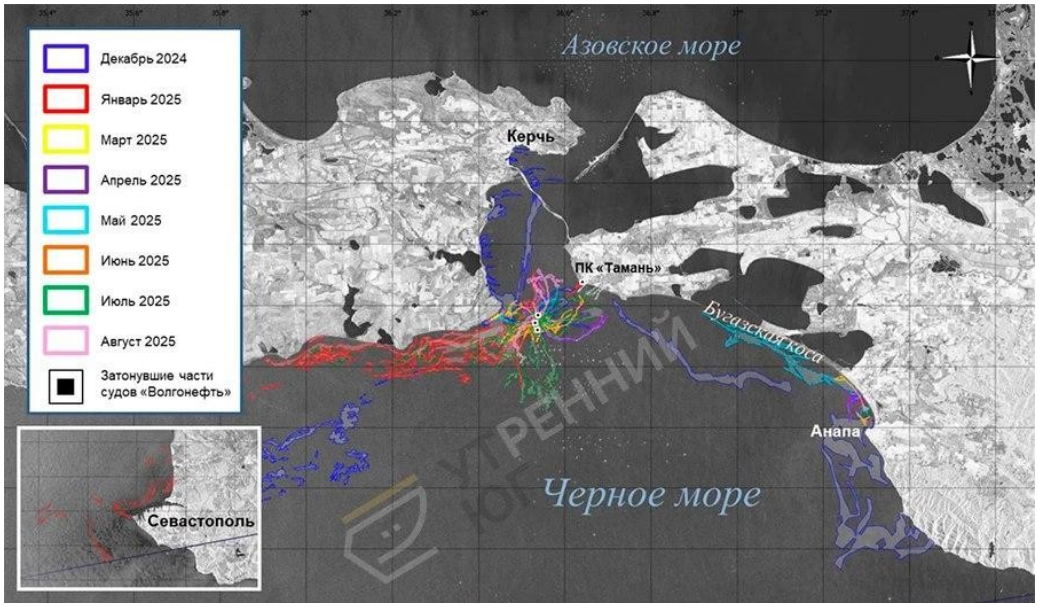


Рисунок 2.2. Интегральная карта пленочных загрязнений, выявленных по радиолокационным изображениям поверхности моря в Керченском проливе, акватории его предпроливья, районе г. Севастополь (на врезке) и северо-восточной части Черного моря в результате аварийных разливов мазута в период с декабря 2024 г. по конец августа 2025 г. Автор: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН).

Разлив 2024 года во многом повторил сценарий аварии 2007 года. Использование устаревших танкеров класса «река-море», также экстремальные штормовые условия и устойчивость тяжелого мазута к естественному разложению. Значительная вязкость и плотность топлива привели к длительному сохранению нефтепродуктов в морской среде, сильному загрязнению береговой линии и донных отложений, а также к массовой гибели представителей морской фауны.

В особенности негативные последствия разливов были ухудшены гидролого-гидрохимическими условиями Черного моря. Такие как, сероводородный слой на глубине от 150 до 200 м, ограниченный водообмен с Мировым океаном через пролив Босфора, высокая биологическая продуктивность шельфовой зоны. В результате, аварийные разливы оказали комплексное негативное влияние на морские экосистемы, социально-экономическую сферу и международный имидж страны.

2.3. Способы устранения нефтяного загрязнения

При ликвидации последствий разлива мазута в акватории Черного моря применялись различные методы включая механические, химические, биологические и инновационные. Некоторые из существующих были адаптированы, другие находились в стадии разработки или тестирования, другие – применялись в ограниченном масштабе. Эффективность и безопасность технологий зависели от конкретных условий (тип загрязнения, глубина, погодные условия и т. д.).

Механические методы:

- Боновые заграждения. Локализуют нефтяное пятно, предотвращая его распространение (рис.2.3).



Рисунок 2.3 Боновые заграждения постоянной плавучести модели БЗм-10

- Сбор с поверхности воды с помощью скиммеров. Устройства собирают нефтяные пятна с поверхности воды, после чего нефть откачивают в емкости для утилизации.
- Механизированный сбор со дна моря. Морспасслужба применяла переносные высокопроизводительные пожарные мотопомпы с эжекторами. Мазут поступал по шланголиниям в специальный контейнер на борту технического судна. На глубине процессом руководил водолаз [11].
- Ручной сбор на берегу. Волонтеры и специалисты собирали загрязненный песок лопатами, а затем вывозили его в пункты временного хранения. Для сортировки грунта применялись специальные установки, например, вибрационные установки для разделения песка и нефтепродуктов.

Химические методы:

- Использование сорбентов. Специальные вещества (поверхностно-активные вещества) распыляли по нефтяному пятну для поглощения углеводородов.
- Диспергенты (рис. 2.4). Способ применения: распыление с судов или самолетов. Требует точного расчета дозы и тщательного мониторинга.

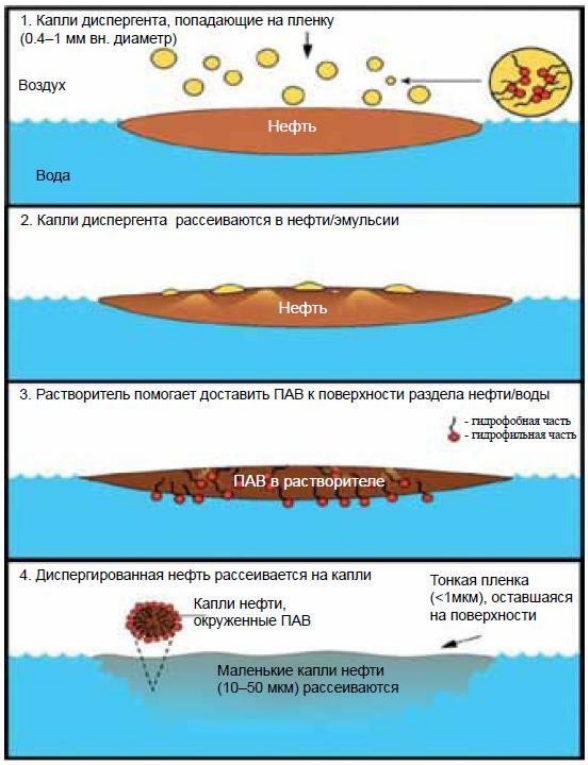


Рисунок 2.4. Схема работы диспергента

Биологические методы:

- Активация микроорганизмов в грунте. Ученые Пермского государственного национального исследовательского университета разработали технологию, при которой специальным устройством (многоканальным скважинным инъектором) в грунт и воды вводится кислород для активации микроорганизмов, способных разлагать нефтепродукты.
- Использование биопрепаратов на основе бактерий. Ученые Кубанского государственного университета искали бактерии, способные эффективно утилизировать мазут марки М-100.
- Применение фукусовых водорослей. Сотрудники Мурманского морского биологического института предложили использовать водоросли для утилизации нефтепродуктов: углеводородокисляющие бактерии на их поверхности способствуют переработке остатков мазута.

Инновационные и экспериментальные методы:

● Технология «Аэрощуп» Томского государственного университета (рис. 2.5). Принцип: пузырьки воздуха отделяют загрязнители на дне водоема, поднимая их на поверхность для дальнейшего сбора. Технологию адаптировали для использования в морских условиях с применением телеуправляемых подводных аппаратов [13].



Рисунок 2.5. Плавучая платформа «Аэрощуп», созданная биологами Томского госуниверситета (ТГУ)

● Биобоны. Это конструкции из нейлоновых нитей, на которые заселены колонии бактерий, способных утилизировать нефтепродукты. Технология тестировалась на загрязненных участках побережья.

● Технология сепарации для удаления нефтепродуктов из песка, разработанная учеными СКФУ. Включает использование промывочных растворов (карбоната калия, хлорида натрия, гидроксида натрия и их комбинации) для очистки песка.

● Метод на основе магний-аммоний-фосфата (МАФ), разработан Пермским Политехом. Минерал связывает нефтепродукты, превращая их в твердые каменистые образования, которые оставались на поверхности и

упрощали сбор. Технология также обогащает почву элементами, способствующими восстановлению растительного покрова [12].

- Применение всех видов методов позволило снизить масштабы ущерба, но из-за зимнего периода на Черном море выявились ограничения по работе с тяжелым мазутом.

2.4. Последствия разливов нефти и нефтепродуктов

Разливы тяжелых нефтепродуктов, в частности мазута марки М-100 привели к масштабным и долгосрочным изменениям во всей окружающей среде. Из-за специфических условий в Черном море негативный эффект был увеличен в разы. Последствия данных катастроф можно разделить на три основных группы:

Экологические последствия:

- Низкая летучесть и высокая плотность мазута объясняют его длительное присутствие в экосистеме. При выветривании он активно эмульгирует и подвергается седиментации, в последствии оседая на дно и покрывая береговую линию плотной коркой.
- Воздействие на орнитофауну. В первую очередь страдают птицы. Мазут склеивает перья, лишая теплоизоляционных и водоотталкивающих свойств. Попадают в организм, при попытке очищения оперения, что вызывает смертельное отравление токсичными компонентами. В результате катастроф погибало множество птиц, преимущественно зимующие в акватории.
- Ущерб морским млекопитающим. В 2024-2025 гг. зафиксирована массовая гибель более 70 черноморских дельфинов. Пленка мазута забивала дыхала и вызывала асфиксию, а растворенные фракции попадали в организм вызывая тяжелые интоксикации.
- Разрушение бентосных и береговых экосистем. Тяжелые фракции мазута опускались на морское дно, при низких температура становились плотными и вязкими, образуя компактные массы. Длительное время сохраняясь в донных отложениях и вызывая отравления у бентосных организмов, которые

служат кормовой базой для рыб. На побережье мазут может десятилетиями блокировать доступ кислорода к грунту, уничтожая водоросли и нарушая естественные процессы по самоочищению.

Социально-экономические последствия:

- Ущерб носил комплексный характер. Он состоял из прямых финансовых потерь государства и бизнеса, так и глубокие социальные потрясения у населения прибрежных районов. Например, оценка экономического ущерба Росприроднадзором после инцидента в 2024 году составила 84,8 млрд рублей.
- Экономические последствия:
- Кризис туристического сектора. Поскольку авария произошла зимой большая часть береговой линии Краснодарского края была загрязнена тяжелыми мазутными фракциями, то к 2025 году значительная часть пляжей оставалась непригодной, что привело к колоссальным убыткам инфраструктуры.
- Убытки рыбохозяйственного комплекса. Был введен запрет на вылов в загрязненной акватории. Токсическое загрязнение мест нерестилищ и гибель молоди нанесли долгосрочный удар по рыболовецким хозяйствам региона.
- Расходы на ЛАРН (Ликвидацию аварийных разливов нефти. Привлечение волонтеров, Морспасслужбы, использование судов, закупка сорбентов, внедрение инновационных технологий и ручной сбор тысяч тонн загрязненного грунта, его дальнейшая транспортировка и утилизация отходов.

Социальные последствия:

- Влияние на здоровье населения. Участники ликвидации и жители прибрежных районов при вдыхании паров или прямого контакта с веществом подвергались риску острых и хронических отравлений. В следствии в регионе спровоцирован рост заболеваний органов дыханий, кожных патологий и так далее.
- Социальная напряженность. В прибрежных поселках вблизи жилых зон были организованы сбор и транспортировка тысячи смеси песка и мазута,

что вызвало протест населения из-за опасения загрязнения грунтовых вод и колодцев.

- Разрушение локального рынка. Запрет на рыболовство в районе лишило дохода не только крупные хозяйства, но и самозанятое население, провоцирую рост безработицы.

Политические последствия:

- Необходимая реформа стандартов судоходства. На правительственном уровне актуализировался вопрос о полном выводе из эксплуатации устаревших судов. Были ужесточены регламенты выдачи разрешения на выход судов из портов в осенне-зимний период и увеличены штрафы за игнорирование штормовых предупреждений.
- Геополитические риски. Риск выноса мазутных пленок в исключительные экономические зоны соседних государств вызывает риски потенциальной дипломатической напряженности. Нанесен серьезный ущерб международному имиджу страны.
- Серьезная нагрузка на систему государственного управления. Из-за введения режима чрезвычайной ситуации понадобилась прямая мобилизация ресурсов федерального центра, МЧС и региональных властей. Выделение субсидий из Резервного фонда на поддержку пострадавшего населения.

Аварийные разливы тяжелых нефтепродуктов, в частности мазута марки М-100, представляют собой одну из наиболее опасных экологических угроз для Черного моря. Согласно классификации по ГОСТ Р 51858-2020, мазут М-100 относится к тяжелым нефтепродуктам, что определяет его характерные свойства: крайне низкую летучесть, высокую вязкость и устойчивость к естественным процессам деградации. Эти особенности способствуют длительному сохранению в водной среде, его осаждению на дно, с прилипанием к прибрежным объектам

Физико-химические процессы, сопровождающие разлив – эмульгирование, осаждение, прилипание на частицах взвесей – в условиях

слабого водообмена Черного моря и его четко выраженных водных слоев приводят к тому, что загрязнение не рассеивается, а накапливается в прибрежной зоне. Отсутствие эффективного выноса загрязненных вод за пределы акватории превращает разлив в затяжной экологический кризис регионального масштаба.

Крупнейшие аварии, произошедшие в Керченском проливе в 2007 и 2024 годах, стали наглядными примерами масштабного экологического ущерба. В результате разливов были поражены обширные участки акватории и побережья, что привело к массовой гибели морских организмов. Загрязнение донных осадков нарушило трофические цепи и затруднило восстановление экосистем на десятилетия. Социально-экономические последствия проявились в виде остановки рыболовства, уничтожения прибрежной инфраструктуры и краха туристической отрасли в прибрежных регионах.

Учитывая уязвимость экосистемы Черного моря, а также ограниченные возможности самоочищения и высокую антропогенную нагрузку. Мы можем выделить наиболее уязвимые участки, разработать планы реагирования на разливы и оптимизировать размещение защитных барьеров с дальнейшей минимизацией последствий аварий.

ГЛАВА 3. ОБЗОР МЕТОДИК КАРТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕР ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТИ

Оценка рисков для экосистем требует комплексного подхода, который учитывает все особенности Черного моря, описанные ранее. В этой главе будут рассмотрены и сравнены ключевые методики с акцентом на все вышеописанные условия.

3.1. Методика картирования экологической чувствительности Журавель и Чурсиной

Первая методика – В.И. Журавель и Н.В. Чурсиной (2001) [17] является одной из наиболее детально проработанных отечественных методик оценки и картирования экологической чувствительности прибрежных зон к аварийным разливам нефти. Подробно анализирующая все особенности прибрежных акваторий.

1. Постановка задач

Целью картирования является выявление наиболее уязвимых прибрежных акваторий и участков побережья, подлежащих первоочередной защите от нефтяных разливов и ценные с экологической и с социально-экономической точки зрения

2. Понятие экологической чувствительности

Под определением «экологическая чувствительность» понимается степень уязвимости оцениваемых объектов по отношению к данному антропогенному воздействию. В основном задача оценки – создание обоснованной системы приоритетов для определения важности и очередности защитных мероприятий.

Экологическая чувствительность оценивается по трем основным категориям:

Социально-экономическая значимость (природопользование) – использование территории местным населением (рыболовство, марикультура, рекреация, объекты культуры);

Биологическая ценность – роль объекта в экосистеме, наличие редких и охраняемых видов, путей миграции, мест нереста и воспроизводства;

Геоморфологическое строение – физическая подверженность загрязнению и способность берега удерживать нефть.

3. Методика расчета и весовые коэффициенты

Для получения сводного индекса экологической чувствительности (ИЭЧ) применяется взвешенная сумма баллов по трем категориям с использованием следующих весовых коэффициентов:

- Природопользование – коэффициент 2,0;
- Биологическая чувствительность – коэффициент 1,75;
- Подверженность нефтяным загрязнениям – коэффициент1,5.

Уровни уязвимости по сводному индексу:

- Низкая чувствительность – от 0 до 5,25 баллов;
- Средняя чувствительность – от 5,25 до 15,75 баллов;
- Высокая чувствительность – от 15,75 до 31,5 баллов.

Участки с высокой чувствительностью подлежат защите в первую очередь.

4. Процесс картирования и сбор данных

Картирование проводится в масштабах от 1:1 000 000 (региональный уровень) до 1:100 000 и крупнее (детальный уровень). Картографированию подлежат:

- Границы и типы береговых зон;
- Розы ветров, преобладающие течения и границы ледового покрова;
- Биологические ресурсы и миграционные пути;
- Районы рыбного промысла и зоны ограничения применения диспергентов и сжигания нефти.

Карты составляются по сезонам (ледовый период, весна, лето, осень), при необходимости составляются дополнительные карты с наиболее значимыми с экологической точки зрения месяцами.

5. Источники информации

Используются результаты инженерно-экологических изысканий, научные публикации, данные мониторинга, фондовые материалы и сведения о социально-экономическом использовании территории. При недостатке данных проводятся специальные геолого-экологические исследования (морфология берега, литология отложений, состояние экосистем).

6. Типизация береговых зон

Производится по степени подверженности нефтяным загрязнениям и определяется совместным влиянием некоторых факторов: гидрологические, биологические и геолого-геоморфические.

Основные параметры типизации:

- Гидродинамика – определяет скорость самоочищения (высокоэнергетические зоны очищаются быстро, низкоэнергетические – крайне медленно);
- Наклон приливной зоны – крутой наклон способствует отражению волн, плоский – длительному удержанию нефти;
- Тип пород и проницаемость – определяет глубину проникновения нефти;
- Биологическая населенность – наиболее уязвимы зоны с высокой плотностью растений и донных организмов.

Выделяются 10 типов береговых зон (в порядке возрастания с увеличением подверженности нефтяным загрязнениям):

Тип 1 – Открытые непроницаемые вертикальные берега (скалы, бетонные набережные). Высокая энергия волн. Нефть не проникает, удаляется природными процессами за недели.

Тип 2 – Открытые непроницаемые наклонные берега (абразионные платформы). Нефть задерживается на линии прилива от недель до месяцев.

Тип 3 – Песчаные пляжи (мелко- и среднезернистый песок). Проникновение нефти незначительное (менее 10 см). Легко очищаются.

Тип 4 – Песчаные пляжи (крупнозернистый песок). Проникновение до 25 см. Высокий риск захоронения нефти.

Тип 5 – Смешанные песчано-гравийные пляжи. Умеренная проницаемость (до 50 см). Самоочищение только во время сильных штормов.

Тип 6 – Крупнообломочные берега (гравий, галька, валуны). Проникновение нефти до 1 метра. Самоочищение крайне медленное.

Тип 7 – Открытые плоские приливные осушки (песок + ил). Нефть вредна для бентоса.

Тип 8 – Закрытые непроницаемые крутые берега. Низкая энергия волн – медленное самоочищение.

Тип 9 – Закрытые илистые приливные осушки. Очень высокая чувствительность. Очистка практически невозможна.

Тип 10 – Заболоченные берега (марши, дельты). Наивысшая чувствительность. Нефть сохраняется годами. Очистка часто наносит больший вред, чем загрязнение.

3.2. Методика Всемирного фонда дикой природы (WWF Oil Net)

Методика WWF Oil Net (Oil Spill Response Sensitivity Mapping) представляет собой научно обоснованный международный подход к созданию карт, предназначенный для планирования действий при разливах нефти и минимизации ущерба для уязвимых экосистем.

1. Постановка задачи и цель

Карты чувствительности (Sensitivity Maps) определяют, какие участки побережья и акватории наиболее уязвимы к загрязнению нефтью. Основная цель методики – определить приоритеты защиты экосистем, выбрать оптимальные

методы очистки и оперативно определять, откуда в первую очередь необходимо собирать нефть при аварии.

2. Основные принципы и структура оценки

Методика WWF Oil Net опирается на применение ГИС-технологий и комплексную оценку трех основных блоков:

Тип береговой линии: Берега классифицируются по 10-балльной шкале от 1 (низкая чувствительность) до 10 (высокая чувствительность) в зависимости от способности к самоочищению.

Биологические ресурсы: Картируются места обитания, нерестилища, пути миграции и сезонные скопления уязвимых видов (рыбы, морские млекопитающие, колонии птиц).

Социально-экономические объекты: Учитываются пляжи рекреационного назначения, объекты аквакультуры, водозаборы, зоны рыболовства и места культурного наследия.

3. Классификация карт

В рамках методики создаются карты трех уровней:

1 Стратегические карты – обзорные, для долгосрочного планирования и анализа рисков на региональном уровне.

2 Тактические карты – детализированные (масштабы обычно 1:25 000 - 1:50 000), предназначенные для оперативного использования спасательными штабами при ликвидации конкретного разлива.

3. Оперативные (полевые) карты – наиболее детальные, создаваемые или обновляемые непосредственно во время инцидента для координации действий бригад на местности.

4. Роль и практическое значение

Наличие заранее подготовленных карт позволяет спасательным службам немедленно начинать защитные мероприятия вокруг самых чувствительных участков, существенно сокращая время реагирования. Также WWF активно использует данную методику для обоснования создания «зон, свободных от

нефти» – особо уязвимые акватории, где добыча и транспортировка должна быть ограничена или запрещена.

3.3. Сравнительный анализ методик

Из описанного выше, методики Журавель и Чурсиной (2001) и WWF Oil Net имеют различные подходы к оценке экологической чувствительности прибрежных зон. Для выбора наиболее подходящей методики оценки уязвимости прибрежных зон необходимо определить преимущества и недостатки применительно к специфическим условиям Черного моря.

Как и говорилось ранее Черное море имеет ряд особенностей, влияющих на оценку риска:

- Высокая интенсивность танкерных перевозок;
- Ограниченный водообмен и сероводородное заражение глубин, что замедляет биодеградацию нефти;
- Высокая социально-экономическая значимость (курортный регион, туризм, рыболовство);
- Уязвимость эндемичных видов и прибрежных биоценозов.

Сравнение методик:

Таблица 3.3 Сравнение методик

Методика	Преимущества	Недостатки
Журавель и Чурсина	Высокая практическая направленность, простота расчета	Меньше внимания глубоководным процессам
WWF Oil Net	Сезонность, использование ГИС	Требует большого объема данных

Для данной работы преимущественно будет использована первая методика (Журавель и Чурсиной), которая является более универсальной и концентрируется на объекте оценки, в то время как вторая методика (WWF Oil Net) является более разносторонней. Оба метода преследуют схожие цели и задачи, но различаются в деталях реализации и подходах к разработке карт экологической чувствительности.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

4.1. Расчет индекса чувствительности по методике В.И. Журавель и Н.В. Чурсиной (2001)

На основе данных из открытых источников была выполнена оценка экологической чувствительности. Оценка основных категорий и показателей, согласно методике В.И. Журавель и Н.В. Чурсиной (2001) [17], включают в себя установленные числовые показатели в баллах (таблица 4.1).

Таблица 4.1. Расчет индекса чувствительности

Категории и показатели		Баллы
Природопользование		
Использование биологических и природных ресурсов местным населением	Области прибрежного рыболовства, добычи бентосной фауны, промысла морских животных, объекты морской культуры	2 балла
	Прибрежные источники пресной воды (прибрежная разгрузка грунтовых вод), прибрежные месторождения строительных материалов	1 балл
	Биологические и природные ресурсы не используются человеком	0 баллов
Социально экономические и культурные аспекты	Места культурного и исторического значения	2 балла
	Промышленное оборудование, портовые сооружения и сооружения для спорта и отдыха	1 балл
	Социально-экономические и культурные объекты отсутствуют	0 баллов
Биологическая чувствительность		
Наличие редких и охраняемых видов	На территории встречается охраняемый вид с 1-ым или 2-ым охранным статусом, два охраняемых вида с 3-им охранным статусом	2 балла
	На территории встречается охраняемый вид с 3-им и 4-ым охранным статусом	1 балл
	На территории не встречаются охраняемые виды	0 баллов

Продолжение таблицы 4.1. Расчет индекса чувствительности

Природоохранный статус территории	Международный охранный статус, государственный заповедник, биосферный заповедник	2 балла
	Другой природоохранный статус	1 балл
	Отсутствует	0 баллов
Области концентрации животных	Большие колонии птиц (более 100 птиц), области обитания сухопутных и морских животных (более 10 животных)	2 балла
	Колонии птиц (от 10 до 100 птиц), области обитания сухопутных и морских животных (менее 10 животных)	1 балл
	Колонии птиц (менее 10 птиц), единичные животные	0 баллов
Биологическое разнообразие	Критерий биологического разнообразия – более 0,7	2 балла
	Критерий биологического разнообразия от 0,3 до 0,7	1 балл
	Критерий биологического разнообразия – менее 0,3	0 баллов
Биологически важные территории	Территория воспроизводства и развития молодых организмов	2 балла
	Пути миграции зверей и (или) птиц	1 балл
	Территория не является биологически важной	0 баллов
Подверженность нефтяным загрязнениям		
Типы береговых зон по степени подверженности нефтяным загрязнениям	10-9 типы	3 балла
	7-8 типы	2 балла
	4-6 типы	1 балл
	1-3 типы	0 баллов
Наличие ранее загрязненных территорий	Участки береговых зон с ранее выявленным загрязнением	1 балл
	Загрязнения отсутствуют	0 баллов

Примечание к таблице: Для определения биологического разнообразия используется критерий биологического разнообразия К, который определяется

как расчетная величина соотношения суммарного количества видов животных (млекопитающих, птиц, донных организмов, рыб) и растений на исследуемой территории к максимальному количеству видов, обитающих в береговой зоне каждого моря с учетом климатической зональности.

При оценке индекса чувствительности на ледовый период категория «Подверженность нефтяным загрязнениям береговых зон» не используется.

Определение индекса чувствительности:

Для каждой категории вычисляется суммированием баллов чувствительности входящих в него параметров:

$$ESI(k) = \sum P(i) ,$$

где: ESI (k) - индекс чувствительности для к-ой категории, к - категория чувствительности (k = 1,2,3,) P(i) - соответственно параметр, определяющих к-ю категорию: балльная оценка параметра;

Сводный индекс чувствительности объекта вычисляется как взвешенная сумма частных индексов:

$$ESI = \sum w(k) * ESI(k),$$

Где: ESI - сводный индекс чувствительности объекта, $w_к$ - вес k-й категории.

В качестве первого приближения рекомендуется использовать следующие значения:

- с учетом первостепенной важности защиты образа жизни и хозяйственной деятельности местного населения, использующего ресурсы береговой зоны (рыболовство, марикультура), наивысший коэффициент 2,0 присваивается категории "природопользование";
- категория "биологическая чувствительность" принимается к оценке с коэффициентом 1,75;
- для категории "подверженность нефтяным загрязнениям" устанавливается коэффициент 1,5.

Указанные весовые коэффициенты допускают уточнение для каждого конкретного прибрежного района [17].

Для дальнейшей работы было проведено районирование российского сектора Черного моря. На основании физико-географических условий и истории аварийных разливов было выделено три района представленные на рис. 4.1 ниже:

Крым (1) – характеризуется высоким биоразнообразием, наличием особо охраняемых природных территорий, с преобладанием абразионных и галечных берегов и значительной рекреационной нагрузкой.

Керченский район (2) – район наиболее интенсивного танкерного судоходства, в котором произошли наиболее крупнейшие разливы нефти. Выделяется своей мелководностью, лиманно-лагунными берегами и повышенной уязвимостью донных осадков к загрязнению тяжелыми фракциями нефти.

Кавказский район (3) – регион максимальной портовой инфраструктуры, характеризующийся узким шельфом, субтропическим биоразнообразием и рекреационной зоной международного значения (Сочи).

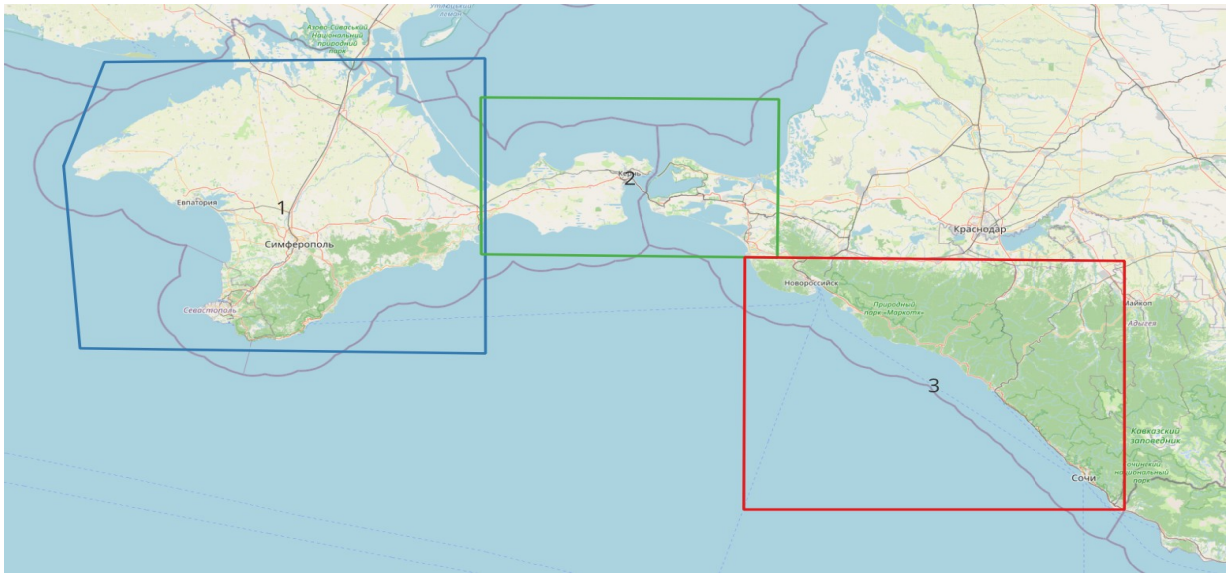


Рисунок 4.1. Районирование российского сектора Черного моря для оценки экологической чувствительности прибрежной зоны: 1 – Крым, 2 – Керченский район, 3 – Кавказский район

4.2. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Крыма

4.2.1. Оценка показателей в категории «Природопользование»

Использование биологических и природных ресурсов местным населением. В прибрежных зонах Крыма развита любительское и промышленное рыболовство (ставрида, барабулька, кефаль, сарган, морской ерш (скорпена), черноморский лосось (кумжа), луфарь, камбала). Вблизи Севастополя и Евпатории активно развиваются объекты марикультуры (черноморских мидий и тихоокеанских (крымских) устриц). Данный показатель на основе методики (таблица 4.1) оценивается – **2 балла.**

Социально экономические и культурные аспекты. На полуострове расположены объекты культурного и исторического наследия (Замок Ласточкино гнездо, Воронцовский и Ливадийский дворцы, Херсонес Таврический (объект Всемирного наследия ЮНЕСКО), Судакская крепость и другое). Рекреационная инфраструктура – многочисленные пляж, санаторно-курортные комплексы. Показатель оценивается – **2 балла.**

Суммарный балл по категории «Природопользование» (баллы без коэффициента): $2+2=4$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (2,0): $4*2,0=8$ **баллов**.

4.2.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»

Оценка проводится по пяти показателям с последующим нормированием суммы к 5 баллам (в соответствии с методикой).

Наличие редких и охраняемых видов. В акватории обитают виды, занесенные в Красную книгу Российской Федерации: белобрюхий тюлень (категория 1 – исчезающий), черноморский лосось (категория 2). Встречается также черноморская кумжа (категория 3). Показатель оценивается – **2 балла**.

Природоохранный статус территории. На территории полуострова расположены Карадагский государственный природный заповедник, мыс

Мартьян (ботанический заказник), Ялтинский горно-лесной заповедник и ряд заказников регионального значения. Показатель оценивается – **2 балла**.

Области концентрации животных. В районе Лебяжьих островов расположена одна из крупнейших орнитологических территорий (колоний водоплавающих и околоводных птиц) здесь гнездиться свыше 5000 пар птиц. Наиболее распространенные – цыпляки, бакланы, цапли, чайки (серебристая и Черноголовая), розовый пеликан (занесен в Красную книгу России). У мыса Фиолент и в Балаклавской бухте регулярно наблюдаются сезонные скопления черных морских свиней (дельфин-афалин), группы численностью более 10 особей фиксируются в прибрежной зоне или на удалении нескольких километров. Показатель оценивается – **2 балла**.

Биологическое разнообразие. Фитобентос характеризуется высоким видовым разнообразием насчитывает более 200 видов водорослей (цистозтира, филлофора, ульва, кладофора). Зообентос представлен мидиями, устрицами, крабами, рапаной. Ихтиофауна насчитывает около 150 видов рыб. Критерий биологического разнообразия – более 0,7. Показатель оценивается – **2 балла**.

Биологически важные территории. В районе Севастопольской бухты, Каркинитского и Феодосийского заливов расположены нерестилища кефали, ставриды и камбалы-калкан. Зона южного берега Крыма служит важным районом нагула молоди многих видов рыб. Пути миграции дельфинов проходят вдоль всего южного побережья. Показатель оценивается – **2 балла**.

Суммарный балл «Биологическая чувствительность»: $2+2+2+2+2=10$ **баллов**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (1,75): $10*1,75=17,5$ **баллов**.

4.2.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»

Типы береговых зон. С учетом доминирования типов 1, 3 и 6, а также наличия высокочувствительных участков типов 8 и 9. Было решено присвоить показателю – **2 балла**.

Наличие ранее загрязненных территорий. Периодически на берегах Крымского полуострова фиксируются нефтяные загрязнения. Из-за интенсивности судоходства и деятельности портовой инфраструктуры. Показатель оценивается – **1 балл**.

Суммарный балл по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям» : $2+1=3$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (1,5): $3*1,5=4,5$ **балла**.

4.2.4. Уточненный сводный индекс для Крыма

Баллы по категории «Природопользование»: 8 баллов

Баллы по категории «Биологическая чувствительность»: 17,5 баллов

Баллы по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»: 4,5 балла

$$ESI = 8 + 17,5 + 4,5$$

$$ESI = 30$$

Уровень уязвимость: **Высокий** (от 15,75 до 31,5) – ESI = 30

4.3. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Керченского района

4.3.1. Оценка показателей в категории «Природопользование»

Использование биологических и природных ресурсов местным населением. В Керченском районе развито промысловое рыболовство: черноморская хамса (осенне-зимней лов), черноморская тюлька, керченская сельд, кефаль, султанка, ставрида. Через пролив проходит миграционный коридор для нагула хамсы. Ведется добыча природных строительных материалов – ракушечника, основные карьеры на Таманском полуострове. Показатель оценивается – **2 балла.**

Социально экономические и культурные аспекты. В районе находятся порты Керчь, Кавказ и Тамань, есть паромная переправа. На Таманском

полуострове курортные поселки и пляжи Анапы. Культурные объекты – Пантикапей и крепость Ени-Кале. Показатель оценивается – **1 балл.**

Суммарный балл по категории «Природопользование» (баллы без коэффициента): $2+1=3$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (2,0): $3*2,0=6$ **баллов**.

4.3.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»

Наличие редких и охраняемых видов. На Акватории Керченского пролива и Таманского полуострова обитают охраняемые виды, включенные в Красную книгу России: белуга (категория 1 – исчезающий вид), русский осетр и севрюга (категория 2 – сокращающиеся в численности), черноморская афалина (категория 3), азовская кумжа (категория 2 – сокращающиеся в численности). Показатель оценивается – **2 балла**.

Природоохранный статус территории. На крымской стороне Керченского пролива находится Опукский природный заповедник, включает в себя часть акватории Черного моря. На Таманском полуострове расположен государственный природный заказник «Запорожско-Таманski». Показатель оценивается – **1 балл**.

Области концентрации животных. На косе Чушка и Таманском полуострове отмечаются сезонные скопления водоплавающих и околоводных птиц: кулики, утки-нырки, чайки и бакланы. Во время миграции отмечается до 10 тысячей особей. В Керченском проливе в теплое время года фиксируются скопления 20-30 особей преимущественно черноморской афалины. Акватория пролива служит для дельфинов не только миграционную функцию, но и кормовую из-за высокой концентрации рыб. Показатель оценивается – **2 балла**.

Биологическое разнообразие. Фитобентос представлен в основном зелеными и красными водорослям. Ихтиофауна насчитывает около 80 видов рыб (хамса, бычки, тюлька). Критерий биологического разнообразия от 0,3 до 0,7. Показатель оценивается – **1 балл**.

Биологически важные территории. Пролив является важным районом, где проходит нерест хамсы (с апреля по август), нагул молоди осетровых и других промысловых рыб, также проходят миграционные пути в Черное море и обратно. Показатель оценивается – **2 балла**.

Суммарный балл «Биологическая чувствительность»: $2+1+2+1+2=8$ **баллов**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (1,75): $8*1,75=14$ **баллов**.

4.3.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»

Типы береговых зон. Наличие берегов типа 9 и 10 занимающие большую долю побережий. Показатель оценивается - **3 балла**.

Наличие ранее загрязненных территорий Крупные аварии в 2007 и 2024 гг. с разливом мазута почти по всей акватории пролива. Показатель оценивается **– 1 балл**.

Суммарный балл по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»: $3+1=4$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента 1,5: $4*1,5=6$ **баллов**.

4.3.4. Уточненный сводный индекс для Керченского района

Баллы по категории «Природопользование»: 6 баллов

Баллы по категории «Биологическая чувствительность»: 14 баллов

Баллы по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»: 6 баллов

$$ESI = 6 + 14 + 6$$

$$ESI = 26$$

Уровень уязвимость: **Высокий** (от 15,75 до 31,5) – ESI = 26

4.4. Оценка экологической чувствительности к разливам нефти прибрежной зоны Кавказского района

4.4.1. Оценка показателей в категории «Природопользование»

Использование биологических и природных ресурсов местным населением. В прибрежных водах слабо развито промышленное рыболовство (добыча пикши, шпрот и камбалы-калкан носит ограниченный характер). Значительное распространие получило спортивное и любительское рыболовство. Основное природопользование сосредоточено на туризме (санаторно-курортные комплексы, экотуризм, пляжный отдых), а не добыче ресурсов. Показатель оценивается – **1 балла.**

Социально экономические и культурные аспекты. Район максимальной концентрации портов: Новороссийск (крупнейший нефтеналивной в России), Туапсе Показатель оценивается – **1 балл.**

Суммарный балл по категории «Природопользование» (баллы без коэффициента): $1+1=2$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (2,0): $2*2{,}0=4$ **балла**.

4.4.2. Оценка показателей в категории «Биологическая чувствительность»

Наличие редких и охраняемых видов. В акватории района обитает черноморская афалина, внесена в Красную книгу России (категория 3 – редкие виды), также отмечается присутствие черноморской кумжи (категория 3 – редкие виды). Редко заходит белобрюхий тюлень, отнесенный к категории 1 – исчезающий вид. Показатель оценивается – **1 балла**.

Природоохранный статус территории. В регионе находится природный заказник «Большой Утриш» территория создана для защиты можжевеловых лесов и прилегающей морской акватории. На побережье расположен Сочинский национальный парк, граничит с побережьем. Показатель оценивается – **1 балл**.

Области концентрации животных. Наблюдается локальные скопления дельфинов, численностью до 10-15 особей. Колонии птиц отмечаются небольшими группами от 10 до 100 особей на отдельных участках скалистого побережья. Показатель оценивается – **1 балла**.

Биологическое разнообразие. Наиболее высокий уровень биологического разнообразия. Фитобентос представлен видами, характерными для теплых прибрежных зон: зеленые водоросли (ульва), бурые водоросли (цистозира), красные водоросли (филлофора). Они служат средой обитания и кормовой базой дня многих организмов. Ихтиофауна насчитывает более 200 видов рыб: пеламида, скумбрия, луфаль, сарган и другие. Критерий биологического разнообразия – более 0,7. Показатель оценивается – **2 балла**.

Биологически важные территории. Молодь многих рыбных видов нагуливается в прибрежных зонах – мелководье, где много корма и благоприятных условий для роста. Туапсе и Геленджикская бухта служит местом нерестилища для хека и камбалы-калкана. Также воды Кавказского побережья служат миграционным путем для многих рыб: пеламида, скумбрия, ставрида и черноморская афалина. Показатель оценивается – **1 балла** (пути миграции).

Суммарный балл «Биологическая чувствительность»: $1+1+1+2+1=6$ **баллов**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента (1,75): $6*1,75=10,5$ **баллов**.

4.4.3. Оценка показателей в категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»

Типы береговых зон. Наличие берегов типа 1, 2, 3, 4 и 6. С учетом отсутствия высокочувствительных типов. Показатель оценивается - **1 балл**.

Наличие ранее загрязненных территорий. В крупных портах Новороссийск и Туапсе фиксируются нефтяные загрязнения, связанные с перевалкой нефти. Показатель оценивается – **1 балл**.

Суммарный балл по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям» : $1+1=2$ **балла**.

Взвешенный вклад с учетом коэффициента 1,5: $2*1,5=3$ **балла**.

4.4.4. Уточненный сводный индекс для Кавказского района

Баллы по категории «Природопользование»: 4 балла

Баллы по категории «Биологическая чувствительность»: 10,5 баллов

Баллы по категории «Подверженность нефтяным загрязнениям»: 3 балла

$$ESI = 4 + 10{,}5 + 3$$

$$ESI = 17{,}5$$

Уровень уязвимость: **Высокий** (от 15,75 до 31,5) – ESI = 17,5

4.5. Рекомендации по уменьшению ущерба

На основе проведенного анализа экологической чувствительности и расчета уточненного сводного индекса уровня уязвимости сформирована карта (рис. 4.2) и составлены рекомендации по снижению риска и последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в российском секторе Черного моря.

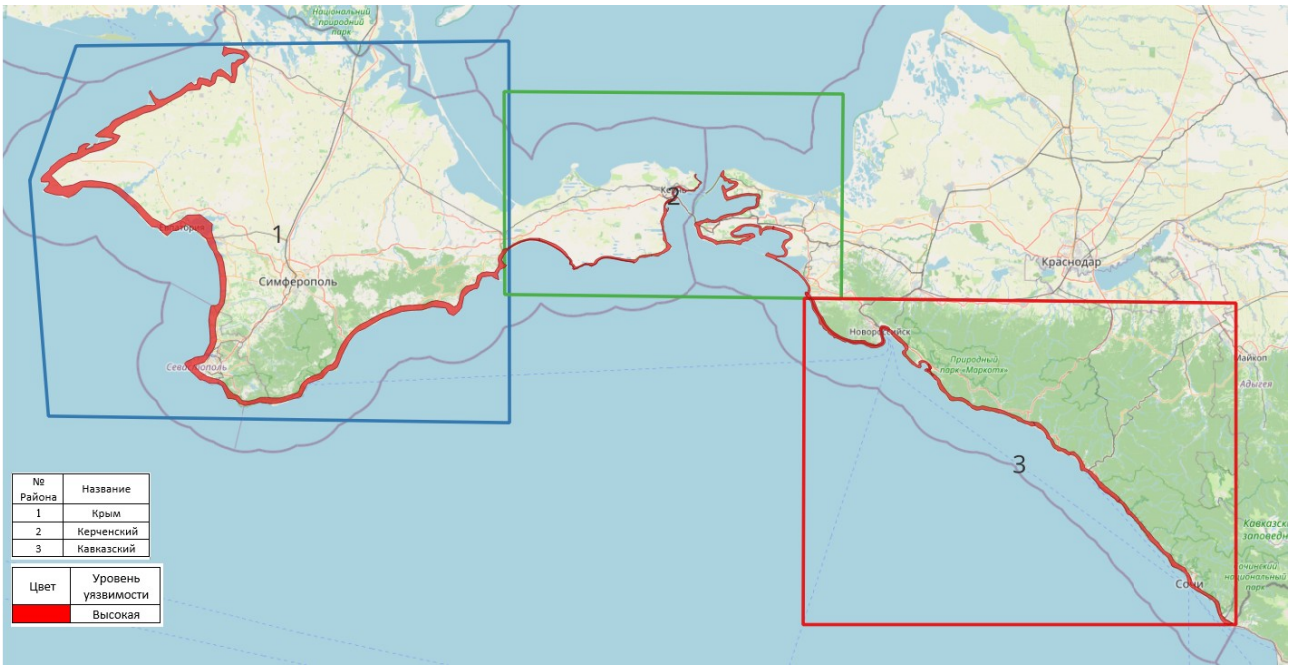


Рисунок 4.2 – Карта экологической уязвимости прибрежной зоны российского сектора Черного моря

Все три района российского сектора Черного моря характеризуются высоким уровнем уязвимости от 17,5 до 30 баллов. Прибрежные зоны этих акваторий характеризуются сложным строением берегов, на территории которых присутствуют многочисленные охраняемые виды морской фауны (осетровые,

черноморский лосось, афалина, белобрюхий тюлень) и крупные колонии птиц. Необходимо приоритетное размещение средств оперативного реагирования. Также важно создать планы ликвидации и локализации аварийных разливов нефти (ЛАРН) с учетом береговой инфраструктуры и ветро-волнового режима. Особое внимание следует уделить Таманскому полуострову (Керченский район) и бухтам южного берега Крыма (Севастопольская, Балаклавская), где самоочищение затруднено.

Учитывая опыт аварий 2007 и 2024 годов в Керченском проливе, особое внимание следует уделить ужесточению регламентов выхода танкеров класса «река-море» в осенне-зимний штормовой период. Проводить регулярные учения по ликвидации разливов с участием государственных и частных структур, а также обеспечить общественный и научный экологический мониторинг для постоянной актуализации данных по биоразнообразию и рискам. Возможно дополнительно установить информационные щиты и системы оповещения на особо охраняемых и рекреационных участках побережья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была проведена комплексная оценка экологической чувствительности прибрежной зоны российского сектора Черного моря к разливам нефти и нефтепродуктов, а также разработаны научно-обоснованные рекомендации по предотвращению и минимизации возможного ущерба.

Проведен анализ особенностей Черного моря, которые существенно усиливают последствия нефтяных загрязнений.

Рассмотрена классификация нефти и нефтепродуктов согласно ГОСТ Р 51858–2020 и процессы выветривания. Выполнен обзор крупнейших аварий в регионе и способы их ликвидации.

По итогам сравнительного изучения методологии оценки экологической уязвимости морских берегов выявлена большая результативность методики Журавель, Чурсиной и ее применение для оценки экологической чувствительности прибрежной зоны. При этом частично использована методика WWF Oil Net для дополнения ГИС моделирования.

Произведено разделение побережий на три района - Крым, Керченский и Кавказский, выполнена балльная оценка показателей по трем категориям (природопользование, биологическая чувствительность и подверженность загрязнению) и рассчитан индекс экологической чувствительности для каждого:

- Крым - 30 баллов (Высокий (от 15,75 до 31,5))
- Керченский - 26 баллов (Высокий (от 15,75 до 31,5))
- Кавказский - 17,5 баллов (Высокий (от 15,75 до 31,5))

Все исследуемые районы характеризуются высокой уязвимостью, что наглядно демонстрирует карта, построенная для визуализации полученных результатов. Высокая чувствительность связана с интенсивным судоходством, обширным распространением песчаных и илистых пляжей, присутствием эндемичных видов и значительной рекреационной нагрузкой на регион.

В рамках дальнейших исследований представляется целесообразным разработать динамические сезонные модели распространения нефти с учетом климатических изменений, а также углубить анализ долгосрочных последствий нефтяного загрязнения для бентосных сообществ и биоразнообразия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деев М. Г., Мирлин Е. Г., Баранчиков Е. В. Черное море // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. – 2016. – URL: https://bigenc.ru/c/chiornoe-more-f04e1a/?v=8479312 (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.
2. Фадеева Н. П., Бурлин Ю. К. НЕФТЬ // Большая российская энциклопедия. – 2016. – URL: https://old.bigenc.ru/geology/text/4010811 (дата обращения: 22.05.2026). – Режим доступа: свободный.
3. ГОСТ Р 51858-2020 «Нефть. Общие технические условия: национальный стандарт Российской Федерации». Введ. 01.10.2020 – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2020. – 14 с.
4. Поведение морских разливов нефти: Технический информационный документ № 2 (TIP 2) / Международная федерация владельцев танкеров по предотвращению загрязнения (ITOPF). – Лондон, 2011. – 12 с. [Пер. с англ.]. – URL:https://www.itopf.org/fileadmin/language_variants/TIP_2_2011_RU_FINAL.pdf (дата обращения: 22.05.2026). – Режим доступа: свободный.
5. Экологический Атлас. Черное и Азовское моря / ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр», Фонд «НИР». – М.: Фонд «НИР», 2019. – 464 с.
6. Соловьянов, А. А. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов-актуальная проблема России //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2021. – №. 1. – С. 5-7.
7. Владимиров В. А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия //Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4. – №. 1. – С. 217-229.

8. Кравченко, Ю. А. Современный мониторинг загрязнений вод Черного моря / Ю. А. Кравченко, Е. Б. Крицкая // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 10. – С. 37.

9. Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ / А. Ю. Иванов, А. А. Кучейко, Н. А. Филимонова [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2017. – № 2. – С. 13-25.

10. Клименко С. К., Иванов А. Ю. Загрязнение Керченского предпроливья после техногенной катастрофы и его оценки по данным ДЗЗ // Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2025. С. 237.

11. Морспасслужба начала применять новый способ сбора мазута со дна Черного моря механизированным способом [Электронный ресурс] // Морспасслужба: официальный сайт. – URL: https://morspas.ru/press-center/news/morspassluzhba-nachala-primenyat-novyy-sposob-sbora-mazuta-so-dna-chernogo-morya-mekhanizirovannym-s/ (дата обращения: 23.05.2026). – Режим доступа: свободный.

12. ПГТУ представил инновационное решение для очистки Черного моря от мазута [Электронный ресурс] // ПГТУ: официальный сайт. – URL: https://pstu.ru/media/news/pstu-17133/ (дата обращения: 23.05.2026). – Режим доступа: свободный.

13. Аэрощуп, разработанный ТГУ, стал одним из лучших проектов России [Электронный ресурс] // Аргументы и факты в Томске: официальный сайт. – URL: https://tomsk.aif.ru/society/details/aeroschup_razrabotannyy_tgu_stal_odnim_iz_luchshih_proektov_rossii (дата обращения: 23.05.2026). – Режим доступа: свободный.

14. Аэрощуп для очистки Черного моря от мазута: испытания ТГУ [Электронный ресурс] // РИА Томск: официальный сайт. – URL:

https://www.riatomsk.ru/article/20250424/aeroschup-dlya-ochistki-chernogo-morya-ot-mazuta-ispitaniya-tgu/ (дата обращения: 23.05.2026). – Режим доступа: свободный.

15. Последствия разливов мазута: экспертное мнение [Электронный ресурс] // МГРИ: официальный сайт. – URL: https://www.mgri.ru/news/posledstviya-razlivov-mazuta-ekspertnoe-mnenie-/ (дата обращения: 23.05.2026). – Режим доступа: свободный.

16. Семешенкова, В. С. Оценка экологической чувствительности прибрежно-морских зон к нефтяному загрязнению: методические рекомендации. – СПб.: РГГМУ, 2022. – 87 с.

17. Кононенко М.Р., Шилин М.Б. Стратегии планирования в комплексном управлении прибрежной зоной. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. - 152 с.

18. Стратегия развития морской деятельности России до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2010 г. № 2205-р. // URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/ doc/2073572. (дата обращения: 26.05.2026). – Режим доступа: свободный.

19. Каблов В. Ф., Иощенко Ю. П. Проблема сбора нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах //Фундаментальные исследования. – 2004. – №. 6. – С. 64-65.

20. Мохсен А. М. А., Фрумин Г. Т. Анализ риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов //Современные проблемы науки и образования. – 2009. – №. 4. – С. 76-81.

21. Карев, В. И. Оценка рисков возможных разливов нефти в море и пути их предотвращения и снижения / В. И. Карев // Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, Москва, 15–16 апреля 2003 года / Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России. – М.: ООО "Триада", 2003. – С. 256-263.

22. Савенок, В. Е. Минимизация экологического ущерба при ликвидации аварийных разливов нефти //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – №. 6. – С. 103-107.

23. Булатов, В. И. Нефть и экология: научные приоритеты в изучении нефтегазового комплекса //Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 2004. – №. 72. – С. 1-155.

24. Поварова, Л. В. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду и определение методов борьбы с ними //Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2019. – №. 01. – С. 40.

25. Шипилов Н. Ю., Гренадерова М. В. Методические подходы к оценке эколого-экономического ущерба, возникающего в результате аварийного разлива нефтепродуктов в акватории Черного моря //Экономика и природопользование на Севере. Economy and nature management in the North. – 2025. – №. 1. – С. 63-76.

26. Зайцев, Ю. П. Экологические процессы в критических зонах Черного моря: синтез результатов двух направлений исследований с середины XX до начала XXI веков / Ю. П. Зайцев, Г. Г. Поликарпов // Морской экологический журнал. – 2002. – Т. 1, № 1. – С. 33–55.

27. Маслов А. М., Орлов А. С. Анализ потенциальных экологических рисков при применении способа гидроразрыва пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 1. – С. 59–70.

28. Журавель В.В., Чурсина А.А. Методика оценки экологической чувствительности морских побережий к нефтяному загрязнению. – М.: ВНИИОкеангеология, 2018. – 84 с.

29. WWF Oil Net: Руководство по оценке чувствительности побережий к нефтяному загрязнению / Пер. с англ. – СПб.: WWF России, 2017. – 128 с.

30. Методические рекомендации по разработке планов предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в акваториях морских портов и на подходах к ним. – М.: Минтранс России, 2020. – 96 с.

31. Комплексная оценка состояния прибрежной зоны Черного моря / Под ред. А.И. Исаченко. – М.: Научный мир, 2021. – 248 с.