

Дергачева Людмила Владимировна, к.т.н., доцент
Ростовский государственный университет путей сообщения

Омельченко Дарья Алексеевна, студент
Ростовский государственный университет путей сообщения

Омельченко Елена Юрьевна, магистрант
Ростовский государственный университет путей сообщения

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИВА МАЗУТА НА МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЮ

Аннотация. Рассмотрено комплексное воздействие разливов мазута на морские экосистемы. На основе анализа аварийных ситуаций разработана система мер по восстановлению загрязненных акваторий. Предложенные решения опробованы в условиях различных типов загрязнения и климатических зон. Результаты исследования могут быть использованы при разработке планов ликвидации разливов нефти и восстановлении нарушенных экосистем.

Ключевые слова: Мазут, экосистема, разлив, восстановление, загрязнение, катастрофа, биологические методы очистки.

В последние десятилетия проблема загрязнения морских экосистем стала одной из наиболее актуальных тем в области охраны окружающей среды. Разливы мазута, как одно из самых серьезных проявлений этого загрязнения, наносят значительный ущерб морской среде, вызывая разрушительные последствия для флоры и фауны, а также нарушая баланс экосистем [1, 2]. Мазут, являясь продуктом переработки нефти, содержит множество токсичных веществ, которые способны оказывать негативное влияние на морские организмы, их среду обитания и общее состояние экосистемы.

Причины разливов мазута могут быть разнообразными, включая человеческие ошибки, технические неисправности, природные катастрофы и военные действия. В большинстве случаев разливы происходят в результате аварий на танкерах, повреждений трубопроводов или при хранении нефти на берегу.

В декабре 2024 года в Черном море произошла катастрофа в Керченском проливе во время шторма затонуло грузовое судно «Волгонефть-212», а его «сестра» «Волгонефть-239» столкнулась с проблемами и оказалась в дрейфе. В результате разлива тысяч тонн мазута произошло серьезное загрязнение, нанеся ущерб экосистеме: пострадали птицы и дельфины, а пляжи Анапы оказались покрыты нефтью (рисунок 1). В декабре 2024 года затонули два танкера, перевозившие вместе более 8,55 тысяч тонн мазута. Сколько попало в море, точно неизвестно, но приводятся цифры в 3-4 тысячи тонн.

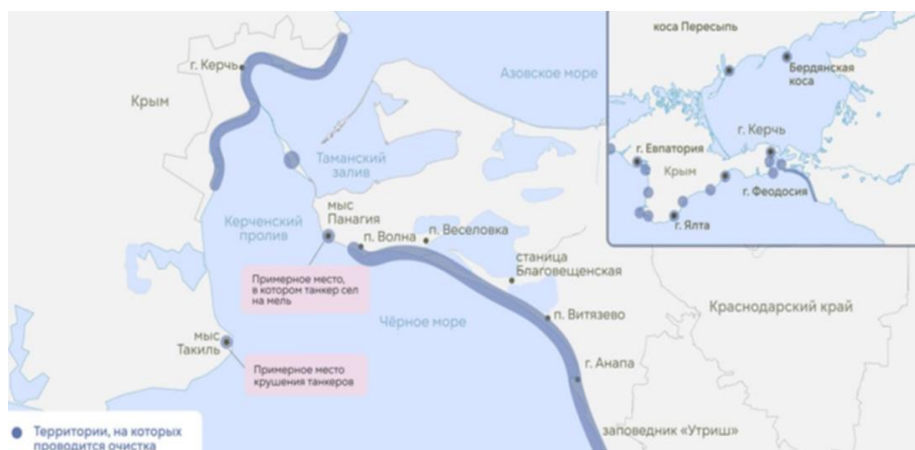


Рис. 1 – Карта ЧС в Черном море – районы разлива мазута на побережье 2024 г



Инцидент с разливом мазута в декабре 2024 г. провоцирует многофакторное загрязнение водной среды, что приводит к массовой гибели морских организмов. Токсичные компоненты, включая полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), накапливаются в живых тканях, вызывая мутации и нарушения репродукции. Снижение фотосинтетической активности и уничтожение растительности нарушают экологический баланс, изменяя структуру биологических сообществ. Для прибрежных регионов, зависимых от рыболовства и туризма, последствия катастрофические – закрытие рыболовных угодий и утрата туристической привлекательности пляжей, ведут к экономическому спаду. Восстановление экосистем после разлива может потребовать десятилетий, что делает подобные инциденты крайне разрушительными для местных сообществ.

Катастрофа, подобная 2024 г, уже было в 2007 г, и примерно в том же районе. Тогда затонули три сухогруза, сели на мель две баржи, разломился надвое танкер «Волгон нефть-139», получил повреждения танкер «Волган нефть-123», в воду попало 6,8 тыс. т гранулированной серы и около 1,3 тыс. т мазута. При штормовом ветре (28–32 м/с в районе Керчи) южного и юго-западного направлений пятна мазута дрейфовали к северу – северо-востоку от места аварии (рисунок 2), высота волн достигала тогда высоты 4 м [3].



Рис. 2 – Распространение нефтяного загрязнения из района аварии в Керченском проливе вдоль побережий Черного и Азовского морей в 2007 г

Согласно модельным расчетам Росгидромета и результатам наблюдений, уже через 6 ч после начала утечки они достигли о. Тузла, через сутки – косы Чушка, через двое суток – северного побережья Таманского полуострова. Наибольшее количество нефтепродукта было выброшено на дамбу и остров Тузлинской косы и на западное побережье косы Чушка [4].

Катастрофы с танкерами в 2007 и 2024 гг объединяет то, что большая часть нефтепродуктов попала в акваторию Черного моря. После первой аварии, в 2007 г, море восстанавливалось в течение 10 лет. По оценкам аварии 2024 года, ущерб и объем работ по ликвидации последствий катастрофы будет кратно больше, чем в 2007 году.

При оценке качества поверхности вод суши используется методика Гидрохимического института, которая позволяет производить однозначную оценку качества воды, основанную на сочетании уровня загрязнения воды по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ и частоты их обнаружения [5]. Для каждого ингредиента на основе фактических концентраций рассчитывают баллы превышения ПДК – K_i и повторяемости случаев превышения H_i , а также общий оценочный балл B_i :

$$K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}; H_i = \frac{N_{\text{ПДК}}}{N}; B_i = K_i \cdot H_i,$$

где C_i – концентрация в воде i -того ингредиента;

ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -того ингредиента;

$N_{\text{ПДК}}$ – число случаев превышения ПДК;

N – общее число анализов.

Расчет показателей на основе данных в 2007 году:

$$K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} = \frac{1,56}{0,05} = 31,2$$

$H_i = 1$ – во всех измерениях проб было превышение

$$B_i = K_i \cdot H_i = 31,2 \cdot 1 = 31,2$$

Расчет показателей на основе данных в 2024 году:

$$K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} = \frac{3,15}{0,05} = 63$$

$H_i = 1$ – во всех измерениях проб было превышение

$$B_i = K_i \cdot H_i = 63 \cdot 1 = 63$$

На основе проведенных расчетов КИЗ, можем сделать вывод, ссылаясь на (таблица 1),

что:

- ☐ В 2007 году класс загрязненности воды был 5, что является очень грязной водой;
- ☐ В 2010 году, после проведенных мероприятий по очищению и восстановлению экосистемы, класс загрязненности воды стал 2, что является слабо-загрязненной водой;
- ☐ В 2024 году класс загрязненности воды был 5, что является очень грязной водой.

Таблица 1

Классификация загрязнения поверхностных вод

Величина комбинаторного индекса загрязнения воды	Класс загрязнения воды				
	1 (условно-чистая)	2 (слабо-загрязненная)	3 (загрязненная)	4 (грязная)	5 (очень грязная)
При отсутствии ЛПЗ	1	1–2	2,1–4	4,1–10	10
1 ЛПЗ	0,9	0,9–1,9	1,9–3,6	3,7–9,0	9,0
2 ЛПЗ	0,8	0,8–1,6	1,7–3,2	3,3–8,0	9,0
3 ЛПЗ	0,7	0,7–1,4	1,5–2,8	2,9–7,0	7,0
4 ЛПЗ	0,6	0,6–1,2	1,3–2,4	2,5–6,0	6,0
5 ЛПЗ	0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	2,1–5,0	5,0

Для очистки водных экосистем от мазута используются следующие методы [6]:

☐ Механический способ – этот метод основывается на использовании различных устройств, таких как боновые барьеры, которые устанавливаются на поверхности воды для ограничения распространения нефтяного пятна. Боны могут быть выполнены из различных материалов, включая пластик и текстиль, и предназначены для удержания мазута в определенной зоне, что позволяет затем провести его сбор с помощью специальных насосов или скиммеров. Скиммеры представляют собой устройства, которые могут извлекать мазут из воды, используя различные принципы, включая адгезию и капиллярные силы.

☐ Химические методы очистки – эти технологии основаны на использовании различных химических реагентов, которые способны взаимодействовать с мазутом, изменяя его физико-химические свойства. Например, применяются специальные сорбенты, которые могут поглощать углеводороды, или эмульгаторы, которые способствуют образованию стабильных эмульсий, что упрощает процесс удаления мазута из воды.



□ Биологические методы очистки – бактерии и грибы, обладающие способностью к биодegradации, могут эффективно разлагать углеводороды на менее токсичные соединения. Биологические методы являются экологически чистыми и могут быть эффективными при масштабных загрязнениях, однако они требуют времени для достижения результатов и могут быть менее эффективными в холодной воде или при низких концентрациях кислорода.

На сегодняшний день большое внимание привлекают биологические методы очистки водных объектов от нефти и нефтепродуктов, преимуществами которых являются эффективность, экономичность, экологическая безопасность и отсутствие вторичных загрязнений. Для этих целей применяют водные организмы-фильтраторы (малошестинковые черви, мидии), водные растения (эйхорния, водный мох, элодея, ряска, уруть, рдест, роголистник) и углеводородокисляющие микроорганизмы (рисунок 3) [7].

Последним принадлежит ведущая роль в процессе очистки воды, т.к. только они способны разлагать нефть и ее производные до безопасных конечных продуктов – углекислого газа и воды. Углеводороды, попадающие в водные экосистемы, являются источниками углерода и энергии для углеводородокисляющих микроорганизмов, тем самым способствуя увеличению их численности при наличии благоприятных условий для роста и развития.



Рис. 3 – Создание выростных участков для передержки субстратов с биоматериалом и санитарная водоросливая плантация в губе Оленья

В свою очередь, микроорганизмы, используемые для ликвидации нефтяных разливов на воде, являются пищей для планктона и других организмов, поддерживая, таким образом, определенные трофические связи.

Ферромагнитная жидкость – (ФМЖ, магнитная жидкость, феррожидкость, феррофлюид, рисунок 4) – жидкость, сильно поляризующаяся в присутствии магнитного поля. В природе не существует, это искусственно созданная жидкость. Состав: коллоидная система из ферромагнитных или ферримангнитных частиц нанометровых размеров, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости, в качестве которой обычно выступает органический растворитель или вода [8].

Выводы:

1. В ходе проведения мониторинга экологической ситуации в акватории Черного моря выявлен ряд существенных методологических проблем, затрудняющих получение достоверных данных о масштабах загрязнения.
2. Основными сложностями являются фрагментарность собираемой информации, отсутствие единой методологии измерений и противоречивость получаемых показателей от различных исследовательских групп. Существующие методы оценки экологического ущерба демонстрируют значительные расхождения в результатах, что затрудняет принятие оперативных управленческих решений.

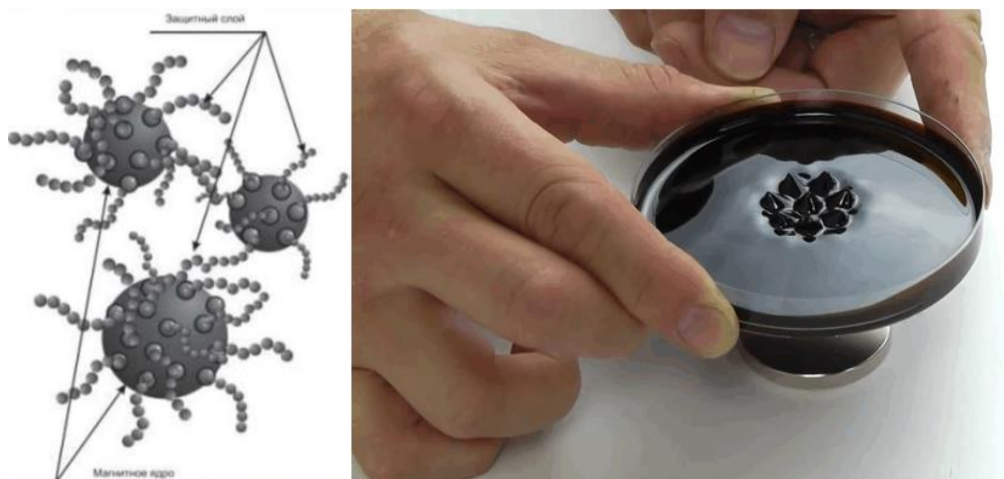


Рис. 4 – Иллюстрация ферромагнитной жидкости

3. При сравнительном анализе современных данных с показателями 2007 года выявлена более высокая достоверность последних, что может быть обусловлено применением более совершенных на тот момент методик исследования и меньшей антропогенной нагрузкой на экосистему. Это позволяет использовать данные 2007 года в качестве базового эталона при оценке текущего состояния морской среды.

4. Разливы мазута могут приводить к исчезновению отдельных видов, особенно тех, которые имеют ограниченный ареал обитания или находятся под угрозой исчезновения. Это создает дополнительные проблемы для восстановления экосистем, так как утрата одного вида может повлечь за собой цепную реакцию, влияющую на другие виды и их взаимодействия. Важно отметить, что восстановление биоразнообразия после разлива мазута требует времени и комплексного подхода, включающего как восстановление популяций, так и восстановление среды обитания.

5. Анализ экономических последствий разлива нефтепродуктов в Черном море демонстрирует комплексный характер негативного воздействия на региональную экономику и туристический сектор: прогнозируемое снижение туристического потока на 10-50% в летний сезон 2025 г., значительное сокращение загрузки средств размещения (гостиницы, отели, гостевые дома), падение спроса на сопутствующие услуги (общественное питание, развлечения, экскурсионное обслуживание).

Список литературы:

1. Авакян, А. А. Экологические последствия разливов нефти и нефтепродуктов в морских экосистемах / А. А. Авакян, И. В. Башкин // Экология моря. – 2022. – № 4. – С. 5-15.
2. The constitutional right to a favorable environment as the basis for the ecologization of modern Russian legislation / М. Kostenko, О. Lupandina, О. Dymnikova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 116. – P. 07005. – DOI 10.1051/bioconf/202411607005.
3. Керченская авария: последствия для водных экосистем / под ред. И.Г. Корпаковой, С.А. Агапова. Ростов н/Д, 2008. 229 с.
4. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Авария судов в ноябре 2007 г. Ростов н/Д, 2008. 78 с.
5. Комплексная оценка воздействия разливов мазута на морские экосистемы: сборник научных трудов / РАН. Ин-т океанологии. – Москва, 2021. – 187 с.
6. Иванов, А. В. Современные методы очистки морских акваторий от нефтяного загрязнения / А. В. Иванов // Морские технологии. – 2022. – № 2. – С. 45-52.
7. Методы биоремедиации морских экосистем после нефтяного загрязнения / под ред. П. А. Попова. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2023. – 156 с.
8. Петров, С. А. Физико-химические методы очистки морских вод от нефтепродуктов / С. А. Петров // Прикладная химия. – 2022. № 3. – С. 67-74.