

Антропогенные нефтесодержащие разливы в Арктике: спутниковый мониторинг на примере Печорского моря

География

Котлевский Дмитрий Олегович, 11 класс, МБОУ «СОШ № 78»,

г. Северск, Томской области

Научный руководитель: Королёва Оксана Васильевна, учитель географии и
ОПД, директор МБОУ «СОШ № 78» г.Северска, Томской области

Введение

Арктика является одним из наиболее уязвимых и хрупких экологических регионов планеты, характеризующимся уникальной природной средой и богатым биоразнообразием. В последние десятилетия активизация нефтяной и газовой промышленности в этом регионе привела к увеличению рисков возникновения антропогенных разливов нефти, что угрожает экологическому балансу и здоровью местных экосистем. Особенно остро проблема стоит в Баренцевом море, где сходятся основные судоходные пути и расположены важные промышленные объекты, связанные с транспортировкой нефти.

Текущие методы мониторинга нефтяных разливов зачастую недостаточно эффективны из-за сложных климатических условий, ограниченных возможностей наземных и морских наблюдений. В связи с этим возникает необходимость внедрения современных технологий дистанционного зондирования, таких как радиолокационная спутниковая съемка, которая позволяет осуществлять постоянный и точный контроль за состоянием окружающей среды.

Человеческая деятельность, связанная с транспортировкой и перегрузкой нефти в Печорском море, создает высокий экологический риск. Оценки показывают, что возможные разливы могут загрязнить до 100 000 км² акватории, включая побережья Скандинавии, Кольского полуострова, Белого моря и Новой Земли протяженностью более 4000 км. Учитывая развитую сеть судоходных путей и перегрузочных комплексов, риск аварий и разливов возрастает, что особенно опасно для хрупкой арктической экосистемы. Воздействие человека в

виде нефтяных разливов угрожает экологическому балансу региона и требует постоянного мониторинга для предотвращения экологической катастрофы.

Объектом исследования в данной работе являются радиолокационные спутниковые снимки Баренцева моря.

Предметом рассмотрения послужили нефтеразливы в акватории исследуемого моря, а также зоны их распространения.

Проблема работы заключается в отсутствии систематического мониторинга нефтесодержащих разливов методами дистанционного зондирования Земли.

Актуальность видится в том, экосистемы Арктики крайне чувствительны к загрязнению. Нефтесодержащие разливы могут привести к серьезным повреждениям морской фауны и флоры, а также нарушить традиционный образ жизни коренных народов региона. Учитывая удаленность и сложные климатические условия акватории Печорского моря, спутниковый мониторинг представляет собой высокоэффективный инструмент для обнаружения и анализа нефтяных разливов, позволяя дистанционно охватывать большую территорию в короткие сроки. В последние годы объем перевозок нефти через Печорское море увеличивается благодаря росту добычи на Приразломном месторождении. Ожидается, что до 2030 года общий объем перевозок нефти и СПГ может увеличиться в 2-4 раза. В наиболее благоприятном сценарии транспортировка нефти и СПГ по акватории Печорского моря может превысить 60 миллионов тонн в год.

Целью нашей работы является выявление хронических зон нефтесодержащих разливов в акватории Печорского моря с помощью радиолокационных спутниковых снимков.

Данная цель обусловила постановку следующих **задач**:

1. Изучить специфику Печорского моря и воздействие человека на акватории Арктического региона.
2. Выявить дистанционно нефтяные загрязнения при помощи радиолокационной спутниковой съемки.

3. Идентифицировать источники нефтесодержащих загрязнений.

4. Провести анализ масштабов загрязнений и экологического ущерба.

5. Создание картосхемы нефтеразливов и статистики масштабов загрязнений за 2023-2025 гг.

Материалы: Спутниковые данные — радиолокационные снимки со спутника Sentinel-1 (ESA), обеспечивающие мониторинг в условиях облачности и низкой освещенности; ГИС-программа (QGIS) для обработки, анализа и визуализации геопространственных данных.

Нами была выдвинута рабочая **гипотеза**, которая звучит так: Использование спутниковых снимков вместе с AIS-данными способствует быстрому, раннему и оперативному выявлению нефтяных загрязнений и установлению судов-нарушителей.

В ходе исследования использовались следующие **методы**:

- Наблюдение: радиолокационные спутниковые снимки позволяют эффективно проводить наблюдения нефтеразливов на исследуемой территории.
- Измерение: современные технологии в области оптической и радиолокационной спутниковой съемки и её пространственного анализа допускают выявлять размеры и площадь того или иного разлива нефти.

Научная значимость работы состоит в том, что результаты исследования могут применяться для своевременного выявления хронических зон нефтеразливов и предотвращения крупных аварий, способных разрушить местную экосистему.

ГЛАВА 1. Анализ текущего состояния на рынке

В России изучением спутниковых радиолокационных снимков и мониторингом разливов нефти и нефтепродуктов занимается несколько организаций, включая ООО "Газпром нефть шельф" (оператор месторождения "Приразломное"), а также специализированные сервисные компании, занимающиеся экологическим мониторингом и ликвидацией разливов нефти.

Несколько институтов РАН проводят мониторинг Печорского моря, в том числе Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Арктический и

антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ). ААНИИ, в частности, занимается мониторингом ледовых условий в замерзающих морях, включая Печорское. Также в мониторинге участвуют другие организации, такие как Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Геологический институт РАН, Географический факультет МГУ и Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии.

ГЛАВА 2. Влияние нефтесодержащих разливов на акваторию

Последствия разливов нефти на морских обитателей.

В морских экосистемах основными местами обитания, подверженными воздействию, являются приливные и сублиторальные отложения и, в меньшей степени, толща воды. Разлитая сырая нефть может быть генотоксична для рыб, особенно на ранних стадиях жизни (например, личинок сельди). Эксперименты *in vitro* с клетками крови показали, что различные виды сырой нефти также генотоксичны для взрослых морских рыб. Генотоксичность рыбы объясняется содержанием в ней сырой нефти. В естественных условиях даже при низких концентрациях полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) происходит значительное повреждение ДНК [4].

Сырая нефть генотоксична для морских двустворчатых моллюсков, что показано как в полевых условиях и в лабораторных экспериментах. Чувствительность к сырой нефти снижается с возрастом, особенно чувствительны свежеоплодотворенные эмбрионы [4].

Нефтесодержащие разливы в акватории

Как только нефть попадает в морскую среду, она подвергается воздействию ряда природных процессов, известных как «выветривание». Эти процессы меняют поведение нефти и распространяют большую ее часть в другие части окружающей среды. Значение каждого процесса на распространение нефти зависит от экологических условий и типа нефти. Распространение нефти оказывает огромное влияние на механизм и масштабы экологических последствий.

Выветривание и распространение нефти в арктических условиях затруднены, главным образом из-за низких температур. Низкая температура приводит к тому, что нефть, попавшая в окружающую среду, теряет свою прежнюю текучесть, и образует локализованную пленку нефти. Толщина слоя нефтяной пленки в арктических условиях намного больше, нежели в условиях южных морей [6].

Испарение

Большая часть видов свежей нефти содержит определенное количество низкомолекулярных углеводородов. Когда эти углеводороды попадают в море или на берег, они начинают сразу испаряться в атмосферу под влиянием движения воздуха и температуры окружающей среды. Этот процесс постепенно увеличивает вязкость разлитой нефти, а также уменьшает объем и токсичность остающейся нефти. Если нефть остается на поверхности в течение многих часов или дней, то в результате процесса выветривания может остаться липкий осадок с относительно низкой токсичностью. Доля остатков нефти может варьироваться от почти нулевой до почти полного объема первоначально разлитой нефти.

Распространение и перемещение нефтеразливов в условиях арктических вод

Пролитая на поверхность моря нефть будет распространяться даже без влияния приливов и ветра.

Скорость распространения зависит от точки текучести и вязкости нефти: легкая нефть будет распространяться очень быстро вне зависимости от температуры моря, тяжелые масла будут распространяться медленнее, а толщина пленки будет оставаться большой дольше, особенно в холодных морях, где это может также привести к снижению скорости дисперсии. Животные, которым требуется выплывать на поверхность для дыхания, попадут под влияние нефтяного пятна, а скорость и направление ветра и приливов будут оказывать воздействие на продольное и поперечное распространение пятна.

Характерной особенностью распределения нефти является то, что они объединяются в следующие последовательные этапы:

1. гравитационно-инерционный, для которого характерны процессы образования пятна и начальное фракционное разделение нефтяных углеводородов;
2. гравитационно-вязкостный, когда поведение дисперсной фазы в дисперсионной среде определяется влиянием внешних гидрологических и метеорологических характеристик;
3. дисперсионно-пленочный, когда силы поверхностного натяжения между фазами и силы вязкости влияют на высоту слоя нефтяного пятна и начинается его биологическая и биохимическая трансформация.

Растворение

Когда нефть попадает в море, небольшая ее часть растворяется, при этом объем и скорость растворения зависит от состава нефти и вязкости. Растворимая в воде часть характеризуется непропорциональным влиянием на морские организмы, будучи более биодоступной в сравнении с другими углеводородами и зачастую более токсичной. Высокая концентрация этих углеводородов обычно характерна для воды в непосредственной близости от места разлива, при этом наблюдается быстрое распространение в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Дисперсия

Волны и другие причины колебания нефти на (или в) воде ведут к формированию капель нефти, которые смешиваются с толщей воды, при этом чем больше колебания, тем больше смешивания. Большинство типов нефти при разливе на поверхности моря, под водой или на береговой линии, в конечном итоге рассеивается. Более крупные капли, смешанные с толщей воды, быстро возвращаются обратно на поверхность, однако небольшие капли обладают меньшей плавучестью и могут не возвращаться на поверхность; они смешиваются с толщей воды в горизонтальном и вертикальном направлении. Масштабы и глубина перемешивания зависят от волнового действия и течения воды. Этот процесс потенциально может привести к загрязнению морских экосистем.

Эмульгирование

Многие виды нефти поглощают воду с образованием водонефтяных эмульсий, что может вызвать увеличение объема загрязнителя в пятикратном размере.

ГЛАВА 3. Специфика и отличительные особенности Печорского моря

Печорское море можно рассматривать как юго-восточное продолжение Баренцева моря. Его средняя глубина составляет 6 метров (20 футов), в то время как максимальная глубина достигает 210 метров (690 футов). В южной части моря течёт восточное течение Колгуева, а также его продолжение к Новой Земле, которое прерывается притоком реки Печоры. Хотя Печорское море является частью более обширного Баренцева моря, у него есть своя уникальная история развития, особенности дна и структура осадочных отложений, а также отличия в гидрологических и ледовых режимах.

В полярных регионах с круглогодичными отрицательными температурами особую значимость приобретают специфические природные процессы:

- развитие ледового покрова
- морозное выветривание
- процессы засоления
- термическая абразия

Эти факторы не только оказывают существенное влияние на формирование современного рельефа, но в ряде случаев выступают определяющими в его преобразовании.

Природно-климатическая специфика Печорского и Баренцева морей формируется под влиянием нескольких ключевых факторов:

- их расположение в высоких широтах
- воздействие теплых атлантических вод
- влияние воздушных масс умеренных широт

Такое сочетание факторов создаёт сложную систему взаимодействий, которая обуславливает значительные колебания метеорологических показателей

на протяжении года.

Спутник Sentinel-1A

Sentinel-1A – европейский радиолокационный спутник. Спутник Sentinel-1A предназначены для всепогодного, круглосуточного радиолокационного наблюдения Земли. Основное назначение — обеспечение постоянного мониторинга суши и морских акваторий, поддержка управления чрезвычайными ситуациями, слежение за льдами, деформациями земной поверхности, движением грунта, наводнениями, лесными пожарами, а также поддержка сельского хозяйства, инфраструктуры и городского планирования [8].

Ключевыми особенностями спутника являются высокая стабильность геолокации, поддержка нескольких режимов, возможность выполнения регулярных интерферометрических наблюдений для оценки деформаций поверхности с точностью до миллиметров, а также открытая и бесплатная политика распространения данных [8].

Он способен получать ночные изображения и обнаруживать небольшие движения на земле с помощью разных режимов работы [9].

Данные дистанционного зондирования Земли применимы на всех производственных циклах нефтегазовой отрасли: разведка и освоение месторождений, строительство объектов инфраструктуры, добыча, транспортировка, переработка, хранение нефтепродуктов [10].

В России надзор за состоянием водных ресурсов осуществляет Министерство природных ресурсов и экологии. В настоящее время в рамках государственного мониторинга не проводится никаких мероприятий по оперативному обнаружению и ликвидации нефтяных разливов не катастрофических масштабов, хотя хорошо известно, что именно «фоновое» загрязнение наносит сегодня наибольший вред состоянию морской среды из-за его регулярности [11].

ГЛАВА 4. Мировой опыт выявления и фиксации нефтеразливов

7 августа 2021 года в акватории близ Новороссийска (Краснодарский край) произошел разлив нефти с греческого танкера Minerva Symphony. Инцидент

случился во время погрузочных операций на выносном причале Каспийского трубопроводного консорциума (КТК), расположенном в 5 км от береговой линии.

По официальному заявлению КТК, объем выброса составил $\sim 12 \text{ м}^3$, а площадь загрязнения — $\sim 200 \text{ м}^2$. Однако последующий анализ радиолокационных данных со спутника *Sentinel-1* (снимок от 8 августа), проведенный учеными Института океанологии и Института космических исследований РАН, выявил значительное расхождение с этими данными:

- Фактическая площадь разлива достигла 80 км^2 — что в 400 тысяч раз больше заявленной;
- Нефтяное пятно растянулось на 19 км от берега в открытое море.

В зарубежной практике использование спутникового мониторинга не ново. Европейское агентство по морской безопасности (англ. European Maritime Safety Agency, EMSA) было создано еще в 2002 году с целью осуществления мониторинга акваторий Европейского союза на наличие загрязнений. EMSA предоставляет данные (в т.ч. радиолокационные снимки) в открытом доступе, а также публикует ежегодные отчеты, в которых содержится информация о местонахождении загрязнения, предположительном веществе, способе проверки, степени оценки.

Различия радиолокационной съемки и оптической

Критерий	Оптическая съемка	Радиолокационная съемка
Влияние погоды	Затруднена при облачности, тумане, дожде.	Эффективна в любую погоду.
Частота мониторинга	Зависит от пролета спутника и облачности.	Более стабильна благодаря независимости от погоды.
Достоинства	Высокая детализация, цветовая информация, возможность мультиспектрального анализа.	Всепогодность, возможность ночного мониторинга, чувствительность к плёнкам

		на воде.
Вывод	Позволяет получать информацию о процессах, происходящих на поверхности Земли и в её атмосфере. Однако из-за облачности или в тёмное время суток оптическая съёмка не всегда даёт точные результаты.	Позволяет отслеживать нефтяные загрязнения и судовую обстановку в акваториях, получать данные о миллиметровых смещениях объектов на земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ:

1. https://arctic.fedcdo.ru/wp-content/themes/arctic/doc/ekosistemy_arktiki.pdf
2. <https://ru.investing.com/news/commodities-news/article-2705633>
3. <https://cyberleninka.ru/article/n/neftyanye-zagryazneniya-na-morskoy-poverhnosti-morya-zapadnoy-arktiki/viewer>
4. I. Marigómez, Oil, Crude // Encyclopedia of Toxicology (Third Edition), Academic Press. – 2014. – Pages 663-669.
5. КРАСНАЯ КНИГА НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА
6. Матыцин, Е. Н. Анализ поведения нефтепродуктов при аварийном разливе на объектах нефтедобычи в северных регионах Российской Федерации со сложными климатическими условиями / Е. Н. Матыцин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 40 (435). — С. 27-30. — URL: <https://moluch.ru/archive/435/95337/>.
7. Поведение морских разливов нефти
8. <https://innoter.com/sputniki/sentinel-1a-1b/>
9. <https://www.airport-technology.com/projects/sentinel-1a-environmental-monitoring-satellite/?cf-view&cf-closed>
10. <https://cyberleninka.ru/article/n/razlivy-nefteproduktov-na-vodnoy-poverhnosti-metody-analiza-dannyh-distantionnogo-zondirovaniya-zemli-pri-ih-vyyavlenii/viewer>
11. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г. Комплексный спутниковый мониторинг

морей : монография. – М. : ИКИ РАН, 2011. – 480 с.