

**<sup>1</sup>Жантаев Ж.Ш., <sup>1,2\*</sup>Алпысбай М.А., <sup>1</sup>Калдыбаев А.А.,  
<sup>1</sup>Нурақынов С.М., <sup>2</sup>Зулпыхаров К.Б.**

<sup>1</sup>ДТОО Институт ионосферы, Казахстан, г. Алматы, \*e-mail: gislabkz@gmail.com

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

## **МОНИТОРИНГ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

В настоящее время остро стоит вопрос о загрязнении акваторий морей и океанов нефтью. Нефтяные разливы на море могут иметь природное происхождение (естественные выбросы нефти при разломах геологических структур, грифоны, грязевые вулканы), но в большинстве случаев они носят антропогенный характер. Целью данной работы являлось определение методики, наиболее подходящей для оперативного мониторинга нефтяных загрязнений на Каспийском море. В последние десятилетия спутники ДЗЗ, в частности радарные спутники, зарекомендовали себя одним из эффективных инструментов при выявлении нефтяных разливов на морской поверхности. Для детектирования нефтяных загрязнений на море использовались архивные снимки с европейских спутников Sentinel-1 A, B. Основным преимуществом использования этих данных является то, что архивные и актуальные данные предоставляются безвозмездно для научного сообщества. В настоящей работе приведены результаты мониторинга нефтяных загрязнений акватории Каспийского моря с применением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). По результатам проведенной работы при детектировании нефтяных сликов были определены площадь, периметр и координаты нефтяных разливов.

**Ключевые слова:** нефтяной разлив, радарные изображения, обнаружение темных пятен, спутниковый мониторинг.

<sup>1</sup>Zhantayev Zh.Sh., <sup>1,2\*</sup>Alpysbay M.A., <sup>1</sup>Kaldybaev A.A., <sup>1</sup>Nurakynov S.M., <sup>2</sup>Zulpykharov K.B.

<sup>1</sup>“Institute of Ionosphere” SLLP, Kazakhstan, Almaty, \*e-mail: gislabkz@gmail.com

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

### **Oil pollutions monitoring of the Caspian Sea**

Now the question of pollution of water areas of the seas and oceans oil is particularly acute. Oil spills at the sea can have natural origin (natural emissions of oil at breaks of the geological structures, griffins, mud volcanoes), but in most cases, they have anthropogenic character. The purpose of this work was to determine the most suitable methodology for the operational monitoring of oil pollution in the Caspian Sea. In recent decades, remote sensing satellites in particular, SAR satellites have proven to be one of the most effective tools to detect oil spills on the sea surface. Detection of oil pollution at sea was conducted using archival and the actual images from the European satellites Sentinel-1A,B. Sentinel data distribution is supported by the key advantage of a full of charge to the scientific community. This paper presents the results of oil spill monitoring in the Caspian Sea using remote sensing data. According to the results of the research carried out during the detection of oil spills the area, perimeter and coordinates of oil spills were determined.

**Key words:** oil spill, radar imagery, dark spot detection, satellite monitoring.

Жантаев Ж.Ш.<sup>1</sup>, Алпысбай М.А.<sup>1,2\*</sup>, Калдыбаев А.А.<sup>1</sup>, Нурақынов С.М.<sup>1</sup>, Зулпыхаров К.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ионосфера институты ЕЖШС, Қазақстан, Алматы қ., \*e-mail: gislabkz@gmail.com

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

### **Каспий теңізінің мұнаймен ластануын бақылау**

Қазіргі кезде теңіз бен мұхит су айдындарының мұнаймен ластануы күрделі мәселе болып отыр. Мұнай төгілуінің шығу тегі табиғи болуы мүмкін (геологиялық құрылымдар, грифондар мен

лайлы жанартаулардың жарылымы кезіндегі табиғи шығарындылар), бірақ көп жағдайда олар антропогенді сипатқа ие. Осы жұмыстың мақсаты Каспий теңізінің мұнаймен ластануын жедел бақылау үшін ең қолайлы әдістемені анықтау. Соңғы онжылдықта ЖАЗ жер серіктері, оның ішінде радарлық жер серіктер теңіз бетіндегі мұнайдың төгілуін анықтауда ең тиімді құралдардың бірі ретінде өзін көрсетті. Теңіздегі мұнаймен ластануды анықтау үшін Sentinel-1 A, B еуропалық жер серіктерінен алынған ғарыштық суреттер пайдаланылды. Бұл мәліметтерді пайдаланудың негізгі артықшылығы, яғни ағымдағы мәліметтер ғылыми қоғам үшін тегін ұсынылады. Бұл мақалада Жерді арақашықтықтан зерделеу (ЖАЗ) мәліметтерін қолдану арқылы Каспий теңізі су айдынының мұнаймен ластануын бақылау нәтижелері келтірілген. Мұнаймен ластануын суреттермен бақылау барысында алынған нәтижелер негізінде ластанудың ауданы, периметрі және координаттары анықталды.

**Түйін сөздер:** мұнайдың төгілуі, радарлық суреттер, қара дақтарды анықтау, жер серіктік бақылау.

## Введение

В настоящее время остро стоит вопрос о загрязнении территории Каспийского моря, которая буквально насыщена объектами нефтяной промышленности. Нефтяные загрязнения на акватории Каспия образуются в результате производственной деятельности: добыче нефтепродуктов на морских и прибрежных месторождениях, прокладки трубопроводов, транспортировки нефтепродуктов и т.д. Все это приводит к загрязнению вод, снижению фотоактивной радиации, гибели фауны и флоры. Экологическими службами портов, терминалов и оперирующими компаниями делается все возможное для исключения попадания нефтепродуктов в морскую среду, однако это касается только акваторий соответствующих портов. Постоянный и оперативный мониторинг нефтяного загрязнения вод за пределами этих акваторий не проводится. Следовательно, организация мониторинга районов добычи на шельфе и транспортировки углеводородов является на сегодняшний день актуальной задачей для Каспийского региона.

Для мониторинга могут использоваться различные инструменты, такие как суда, самолеты и спутники. Суда оснащенные специализированным оборудованием могут обнаружить нефтяные слики в морях, но охватывая небольшую область. Самолеты и спутники с радиолокаторами синтезированной апертурой в настоящее время часто используется для выявления нефтяных загрязнений на водной поверхности, так как нефть выглаживает обычно взволнованную водную поверхность и, как следствие, изображения получают высококонтрастными. Контролировать разливы нефти на Каспийском море, разбросанные на гигантской площади (более 377,155 тысячи квадратных километров),

традиционными наземными методами практически невозможно, а использование аэро - наблюдений дорого и может осуществляться только на ограниченных локальных участках. Поэтому космический мониторинг является самым эффективным методом своевременного обнаружения нефтяных разливов в условиях Каспийского моря с его большой территорией.

Исходя из вышеизложенного, следует, что методы дистанционного зондирования являются основным средством получения информации на больших площадях с высоким пространственным разрешением в реальном масштабе времени. Использование данных спутникового дистанционного зондирования открывает возможность обнаружения нефтяных загрязнений, локализации и установления источников загрязнения. Анализ получаемой информации позволит оперативно отслеживать экологическую обстановку на континентальных и морских нефтяных месторождениях, оценивать площадь и степень ее загрязненности и исследовать физические процессы, определяющие перенос загрязнения.

Возможность обзора в короткие сроки огромных акваторий, а также повторных наблюдений одного и того же региона с небольшим интервалом времени делают использование космической информации наиболее дешевым, оперативным и объективным методом экологического мониторинга морей.

В последние годы ряд исследований был сосредоточен на выявлении нефтяного загрязнения в Каспийском море с использованием технологий ДЗЗ. В работе (Вагапов, 2016: 256) рассмотрены автоматическое обнаружение разливов нефти на основе радарных изображений для моделирования траекторий разливов нефти. (Ivanov, 2012:1020) в своей работе рассмотрел методы распознавания разнообразных сликов и пленоч-

ных загрязнений, отображающихся на радарных изображениях и проблемы, связанные с идентификацией и классификацией нефтяных загрязнений на море. В текущей работе, мы приняли полуавтоматизированный метод, предложенный (Solberg et al. 2004), поскольку он использует простой алгоритм и необходимые параметры легко доступны.

Задача определения нефтяных загрязнений на поверхности моря с использованием радарных данных зависит от многих факторов (скорость ветра или состояние морской поверхности, режима и формы съемки, вида загрязняющего вещества и др.). Синтетические поверхностно активные вещества могут определяться при скоростях ветра 3-6 м/с, а пленки нефти и нефтяных продуктов при ветре от 3м/с до 10 м/с. Нефтяные пленки при больших скоростях ветра разрушаются и в зоне перемешивания воды с нефтью из-за ветра появляется нефтяная эмульсия. С помощью радарных снимков можно наблюдать и выявлять форму, положение и размер пленок, а при проведении повторных съемок детерминировать скорость и направление движения пленок.

Кроме того, на космоснимках также, как и нефтяные пленки и слики темными пятнами отображаются внутренние волны, вихревые структуры, апвеллинг, штилевые зоны, ветровая тень, дождевые ячейки, фитопланктон и биогенные пленки. Это явление называется «look-alike». Различить их от настоящих нефтяных сликов является самой главной задачей оператора (Brekke, 2005: 10; Mityagina, 2015:96380; Fiscella, 2000:3562; Kubat, 1998:200).

#### **Исходные данные и методы исследования**

Для детектирования нефтяных разливов на Каспийском море были рассмотрены различные источники данных и наиболее подходящий для мониторинга были выбраны радарные снимки со спутников Sentinel-1A, B. за период апрель-июнь 2018 г.

Sentinel - Европейский спутник дистанционного зондирования Земли, который входит в ОГ КА по глобальному мониторингу окружающей среды и безопасности “Copernicus” (предыдущее название GMES). Sentinel-1 оснащен одним радиолокационным прибором с синтезированной апертурой в диапазоне C (C-SAR), работающим в диапазоне C (центральная частота 5,405 ГГц). Она включает в себя правую фазированную антенну с активной фазированной решеткой, обеспечивающую быстрое

сканирование по высоте и азимуту для режима TOPS. Прибор C-SAR поддерживает работу в двойной поляризации: HH + HV, VV + VH. Sentinel-1 работает в четырех эксклюзивных режимах:

- StripMap (SM);
- Интерферометрическая широкая полоса (IW);
- Сверхширокий валок (EW);
- Волновой режим (WV).

ESA PDGS регулярно перерабатывает продукты Sentinel-1 L0 до геофизических продуктов L2: продуктов Level 2 Ocean (OCN). Этот продукт состоит из 3 субпродуктов:

- Поле Океанского Ветра (OWI);
- Ocean Swell Spectra (OSW);
- Поверхностная радиальная скорость (RVL).

Данные, относящиеся к OWI, получены из продукта GRD, обработанного внутри компании. Данные, относящиеся к RVL (и OSW, для режима SM и WV), получены из продукта SLC, обработанного внутри компании. Эти внутренние продукты не доступны. EW и IW не имеют компонента OSW.

Преимуществом радарной съемки является возможность получение данных в любую погоду и вне зависимости от освещения солнца (Рис. 1). Радарные спутники позволяют получать радарные изображения земной поверхности и находящихся на ней объектов независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности местности с детальностью, сравнимой с аэрофотоснимками (Topouzelis, 2008: 6643; Solberg, 2012:2933; Marghany, 2001:193). Как видно снимок со спутника Landsat-8 покрыт облаками, и мы не можем получить информацию. А снимок со спутника Sentinel-1 дает нам информацию о местности несмотря на облачность.

При обнаружении нефтяных разливов на море учитывается целый комплекс дополнительных данных и факторов. Многие из этих факторов затрудняют распознавание нефтяных загрязнений на морской поверхности, но больше всего это гидрометеорологические условия. Хотя гидрометеорологические условия могут затруднять процессы дешифрования, но с учетом дополнительных данных о скорости приводного ветра и течений, методика определения нефтяных разливов с использованием радарных снимков оказалась эффективной для решения задач мониторинга загрязненности нефтью моря. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики данных с различных источников.

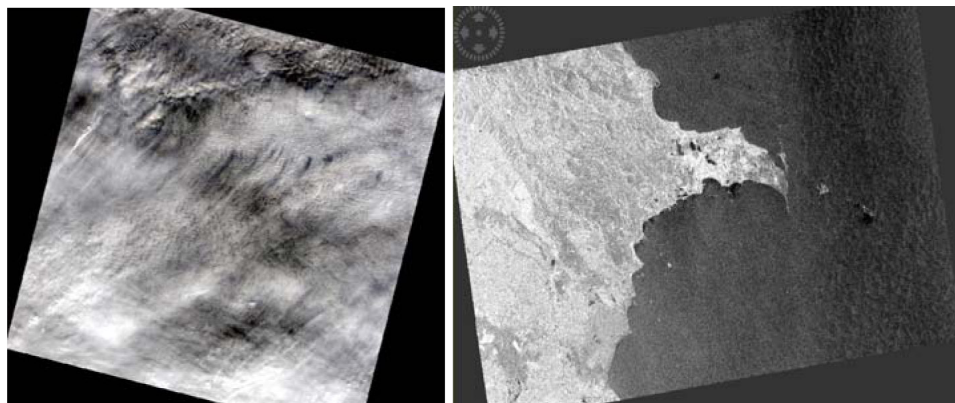


Рисунок 1 – Космоснимки Каспийского моря (1) Landsat-8, (2) Sentinel-1 на 21.12.2018 г.

Таблица 1 – Обоснование использования радарных изображений для детектирования нефтяных загрязнений

	Радарный спутник	Тепловой инфракрасный (ТИК)	Коротковолновый инфракрасный (ТВИК)/ ближний инфракрасный (БИК)	Видимый (ВИД)
Дневной свет	Работает днем и ночью	Работает днем и ночью при ясном небе	Работает только в часы дневного света (ВИД, БИК) Работает только при дневном свете и закате (ТВИК)	
Облачность	Работает при облачном небе	Работает только при ясном небесограниченной областью		
Сложные метеоусловия	Работает при облачности, в дождь и туман	Неработает в сложных метеоусловиях	ТВИК работает в затуманенных или пасмурных условиях	Неработает в сложных метеоусловиях
Состояние моря	Не подходит в условиях слишком спокойного моря (<3м/с) или бурном море со скоростью ветра >12 м/с		Неработает при сильном волнении моря	
Лед	Не подходит в условиях открытой воды с концентрациями льда >30% или на льду		Работает во многих ледовых условиях, кроме случаев, если нефть герметизирована во льду или находится под ними	

С помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой высокого разрешения возможно осуществлять локальный мониторинг районов морской нефтедобычи на шельфе, морских путей перевозки нефти, оперативно контролировать места аварий танкеров, экологическую обстановку во внутренних морях, в портах и в местах сброса сточных вод. Уже созданы и успешно работают геоинформационные системы для мониторинга нефтяного загрязнения Средиземного моря, районов нефтедобычи на шельфе Северного и Баренцева морей. Для решения задачи обнаружения и локализации нефтяных загрязнений на морской поверхности, а также для определения типа загрязнения необходи-

мо привлекать дополнительную информацию, поскольку визуальный анализ радиолокационных снимков не позволяет достаточно надежно классифицировать наблюдаемые пятна.

Разлившаяся в море нефть образует плёнки различной толщины, так как нефть и продукты её переработки представляют собой сложные смеси и очень скоро перестают существовать как исходные субстраты. В море нефть находится в различных миграционных формах: поверхностных пленках (сликах): эмульсиях (типа «нефть в воде» и «вода в нефти»); нефтяных агрегатах и комочках; в растворенной форме; сорбированной взвесями и донными осадками; аккумулярованной водными организмами. Кро-



ме того, плёнки антропогенного происхождения на поверхности моря образуют не только нефть и продукты её переработки, но и различные технические и бытовые масла, жирные кислоты и спирты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), содержащиеся в бытовых, промышленных и канализационных стоках.

На распространение плёнок по поверхности моря влияют два процесса: перенос (дрейф) под действием ветра, волн и течений и самопроизвольное растекание по поверхности. При сильном ветре пятно разрушается и в слое ветрового перемешивания возникает нефтяная эмульсия (причём водная эмульсия со временем оседает на дно). В отличие от ПАВ/СПАВ, нефть никогда не растекается до мономолекулярных слоёв, а её плёнки имеют большую толщину. Тонкие плёнки СПАВ обычно наблюдались при скоростях ветра 3-6 м/с, пятна нефти – при ветре до 12 м/с.

Кроме того, на космоснимках также, как и нефтяные плёнки и слики темными пятнами отображаются внутренние волны, вихревые структуры, апвеллинг, штилевые зоны, ветровая тень, дождевые ячейки, фитопланктон и биогенные плёнки. Это явление называется «look-alike». Различить их от настоящих нефтяных сликов является самой главной задачей оператора. На радиолокационных снимках можно достаточно точно определить положение, форму и размер пятен; при повторных съёмках – направление и скорость дрейфа.

Технологии дистанционного зондирования для определения разливов нефти на море были рассмотрены многими авторами. (Solberg, 1999:1920) представили автоматический статистический подход, а (de Souza, 2006:729) использовали интеллектуальную систему для определения нефтяных пятен. (Del Frate, 2000:2283) определили нефтяные загрязнения спомощью машинного обучения данных ERS-SAR. (Montali, 2006:24) применил метод обучаемой классификации для детектирования разливов нефти на радарных изображениях, а (Solberg, 2008:360) для мониторинга нефтяных загрязнений комбинировала спутниковые данные и авиационное наблюдение. (Espedal, 1999:50) использовал информацию об истории ветра для обнаружения разливов нефти.

Таким образом существует множество способов детектирования нефтяных загрязнений по радарным снимкам, которые могут быть разбиты на три основные группы:

1) Методы, основанные на экспертной оценке, представляющие собой визуальный

анализ радарногоснимкаобработчикомс привлечением набора критериев соответствия;

2) Интерактивные методы, заключающиеся в предварительной автоматизированной обработкеснимка и его дальнейший анализ сактивным участием обработчика;

3) Автоматизированные методы, представляющие собой выполнимые модули или программные средства, автоматически распознающие нефтяные плёнки на снимке без участия обработчика.

Методы экспертной оценки и полуавтоматизированные методы в настоящее время являются наиболее распространёнными. При использовании данных методов изначально производят предварительную обработку спутниковых снимков, а затем визуальное или машинное выделение темных пятен, похожих на нефтяное загрязнение. Но даже при использовании методов экспертных оценок, включающих в себя тот или иной набор критериев соответствия, существует некоторая вероятность того, что в качестве нефтяного слика будет дешифровано выглаживающие морской поверхности иной природы.

Изображения высокого разрешения, сформированные радарными в результате облучения поверхности Земли когерентными волнами, обычно разрушены мультипликативным шумом, известным как спекл-шум. Этот вид шума возникает вследствие интерференционного взаимодействия зондирующих импульсов, отраженных земной поверхностью. Радарный сигнал оценивается по величине отношения сигнал/шум и для большинства орбитальных сенсоров характеризуется высоким амплитудным значением. Спекл-шум представляет серьезную проблему при классификации радарных изображений методами, разработанными для оптических изображений. Далее была проведена фильтрация изображений для исключения всех шумов. Как видно на рисунке 2, снимок после фильтрации стал более четким без шумов.

Далее была выполнена предварительная обработка снимков, включающая в себя набор стандартных последовательных процедур, таких как радиометрическая коррекция, геометрическая коррекция поорбитальным данным и др. процедуры. Затем на основании имеющегося экспертного опыта использовали набор критериев, которые достаточно полно характеризует обнаруженное пятно. В работах (Skoelv, 1993; Fingas, 2011) сформулирован поэтапный подход к визуальному дешифрированию сликов. Процедура выделения состоит из ряда последователь-

льных этапов, в процессе которых оператор опирается на следующие критерии:

- Линейные размеры слика (его длина, ширина, отношение первого ко второму);
- Площадные характеристики слика;
- Радиолокационный контраст – слик-чистая вода;
- Характеристики границы слика (четкая, размытая, перьевидная);
- Скорость и направление ветра в момент съёмки;

- Гидродинамические условия;
- Наличие вблизи слика других зон выглаживания морской поверхности, связанных с явлениями в атмосфере, с подводной топографией и геологией;
- Положение слика относительно нефтяной инфраструктуры: судовых трасс, скважин, платформ, островов, портов;
- Наличие вблизи слика морских судов;
- Повторяемость снимков у одного источника и/или во времени и т.д.



Рисунок 2 – Космоснимок Каспийского моря до и после фильтрации

После визуального дешифрования с помощью программы задав определенные параметры в зависимости от обнаруженного слика и других природных факторов определялись нефтяные слики на водной поверхности. Далее обнаруженные программой пленки и слики сравнивались с визуальным дешифрованием. При определении снимков учитывались данные о направлении и скорости ветров. Так как движение нефтяного пятна по поверхности моря обусловлено действием ветра, течений и волн. Перемещение нефтяного разлива по поверхности моря определяется приводным ветром, как непосредственно, так и опосредованно, через дрейфовые течения и волновой перенос. В боль-

шинстве моделей распространения нефти в море скорость переноса нефтяного пятна по поверхности моря задается параметрически через ветровой коэффициент. Нефть, как и поверхностная вода, движется со скоростью, составляющей несколько процентов от скорости ветра. По приблизительным оценкам, скорость перемещения нефтяных пленок составляет 60% от скорости течения и 2–4% от скорости ветра.

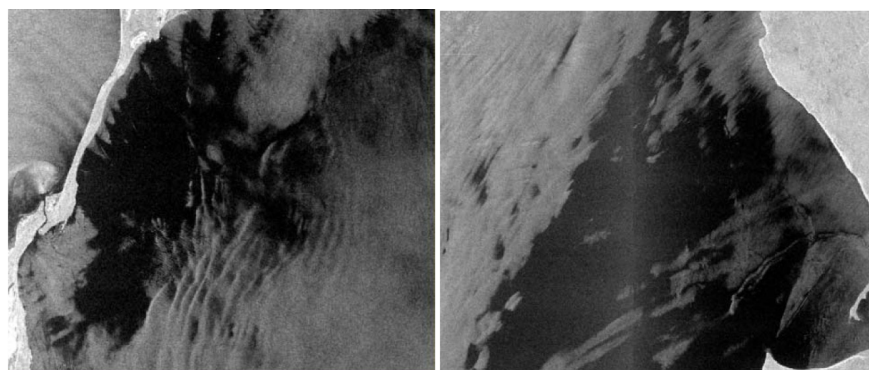
Как видно из таблицы 2, метеоусловия очень сильно влияют на слики и пленочные образования на морской поверхности. Кроме того учитывание расположения исследуемого района помогает определить слики различного происхождения и различить их нефтяных загрязнений.

**Таблица 2** – Сlikoобразующие явления в атмосфере и океане, их поверхностные проявления и условия отображения на РЛИ

Явление	Поверхностные проявления	Места наблюдения	Условия наблюдения	Значения УЭПР, дБ	Градиент, дБ/100 м
Биогенные пленки, пленки ПАВ	Серии длинных многокилометровых полос в поле течений	В прибрежных зонах и районах апвеллинга	Исчезают при скорости ветра >5 м/с	От -24 до -15	1,5 -3,0 и 5
Ледяное сало	Темные области различной формы средних размеров	Главным образом вблизи края ледовых полей, но также и в открытом море	При ветре ≤5 м/с в осеннее-зимний период	От -24 до -14	1-2
Штилевые зоны	Темные области различной формы и размеров	повсеместно	Скорость ветра >2-3 м/с	От -26 до -28	0,3-0,5
Ветровая тень	Темные области вблизи побережья	Вблизи суши, гористых побережий и островов	Наблюдается при скоростях ветра до 15 м/с	От -24 до -12	1,5-3,0
Дождевые ячейки	Яркие ячейки с темными пятнами посередине	В тропических и субтропических районах	Сильный дождь и ветер	От -24 до -8	0,1-0,3
Внутренние волны	Серии квазипараллельных темных (часто ярких и темных) полос	В основном на шельфе	Скорость ветра до 8 м/с	От -24 до -8	1,4-5,0
Взаимодействие на сдвигах скорости	Отдельные узкие, искривленные полосы переменного контраста	На границах интенсивных течений	Скорость ветра до 10-12 м/с	От -24 до -8	0,4-1,0
Апвеллинг	Темные области крупных размеров	В зонах дивергенций поверхностных течений, вблизи побережий	Скорость ветра до 6-8 м/с	Предположительно: от -24 до -15	0,2-0,4

На рисунке 3 показаны примеры вышеизложенной информации. Здесь отчетливо видны районы с низкой скоростью ветра, которые

могут быть дешифрованы как нефтяные загрязнения при нехватке опыта у пользователя.

**Рисунок 3** – Примеры look-alike, которые часто встречаются в областях с низкой скоростью ветра

### Результаты и обсуждения

Общественный интерес к проблеме загрязнения нефтью возникает главным образом во вре-

мя катастрофических танкерных катастроф. Тем не менее, нефть и нефтепродукты разливаются на месте в любое время, и это должно послу-

жить предупреждением о том, что такие инциденты могут рассматриваться как опасные для окружающей среды. Нефтяные разливы вызывают загрязнение морской воды, берегов и пляжей, которые могут сохраняться в течение нескольких месяцев и представлять угрозу для морской экосистемы. Картографирование загрязнений, выявление его источников и прогноз распространения в настоящее время имеет огромное значение.

Наши результаты включают карту разливов нефти, созданную на основе спутниковых данных для всей акватории Каспийского моря. Нами определены области наиболее сильного загрязнения поверхности из-за разгрузки судов. Однако иногда суда сбрасывают нефтесодержащие сточные воды несколько раз по маршруту на расстояния в десятки километров. Под влиянием ветра и волн, слики широко распространяются на поверхности. В этом случае могут быть обнаружены нефтяные пятна площадью в десятки квадратных километров. Долгосрочные наблюдения показывают, что незаконные сбросы с судов стали очень распространенным явлением в Каспийском море, и в совокупности они могут нанести большой ущерб морским экосистемам, чем отдельные разливы нефти в результате аварии танкера.

Одна из важнейших задач, рассматриваемой в нашем исследовании, является обнаружение нефтяного загрязнения, вызванного естественными утечками углеводородов со дна моря, с использованием спутниковых данных. Вероятность того, что проявления природных углеводородов на радарных снимках будут интерпретированы как сбросы с судов или биогенные пленки, высока. Поэтому мы рекомендуем сравнивать спутниковые снимки с картой возможных источников регулярного загрязнения (глубоководные сбросы сточных вод, устья рек, подводные грязевые вулканы и т.д.), чтобы уменьшить вероятность обнаружения «ложных объектов» во время мониторинга.

Наши наблюдения показывают, что основным источником загрязнения поверхности открытого моря в районе Абшеронского и Бакинских архипелагов в Каспийском море является распространение нефти, вызванное добычей нефти и бурением нефтяных скважин, оттоком нефти при разрывах трубопроводов, а также оттоком нефти из естественных просачиваний из морского дна. Кроме того, большое влияние на распространение нефтяных разливов оказывают морские течения по сравнению с местными ветрами. Система поверхностных течений в

районе Нефтяных Камней довольно сложна и нестабильна и характеризуется самыми высокими скоростями течений в Каспийском море. Следует подчеркнуть, что задачи спутникового мониторинга загрязнения морской поверхности и состояния моря тесно связаны, поскольку загрязняющие вещества становятся частью морской среды и развиваются в соответствии с ее внутренними механизмами.

Подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности, выявленных в ходе спутникового мониторинга Каспийского моря, представляют собой утечки и сбросы судов вод, содержащих нефтепродукты. Катастрофические разливы нефтепродуктов, прежде всего, при авариях танкеров, происходят довольно редко, и, как правило, не остаются без внимания прессы и общественности. Гораздо чаще загрязнение поверхности моря происходит при рутинных операциях на судах. В открытом море причинами сбросов являются эксплуатационные сливы, утечки, повреждения судового оборудования, аварии и др. В ожидании загрузки танкеры зачастую промывают свои танки. Таким образом, основными источниками загрязнений, поступающих с судов, являются промывочные, балластные, а также льяльные воды из помещений грузовых насосов.

В ходе работ обработки радиолокационных снимков было обнаружено несколько нефтяных сликов которые разлили судна на водную поверхность. Карта нефтяного загрязнения акватории Каспийского моря за период с 1 апреля по 20 июня 2018 года приведена на рисунке 4.

Из приведенной на рисунке 5 обобщенная карта интенсивности нефтяного загрязнения, можно выделить два основных района наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности Каспийского моря, это район Апшеронского полуострова, и юго-западная часть Каспия. Наибольшее суммарное значение площадей нефтяного загрязнения на акватории Каспийского наблюдались за период с 1-8 апреля (6 км<sup>2</sup>), а наименьшее - 21-31 мая (0,2 км<sup>2</sup>). Уменьшение площадей в мае могло быть связано с метеорологическими явлениями, такими как штиль или усиление ветра до 10 м/с и более, которые создают условия, при которых нефтяной слик очень трудно детектировать. Наибольшее значение суммарной площади нефтяного загрязнения территории охваченной мониторингом в период 11-20 мая (76,5 км<sup>2</sup>) объясняется большими выбросами нефти в районе буровых вышек Апшеронского полуострова.



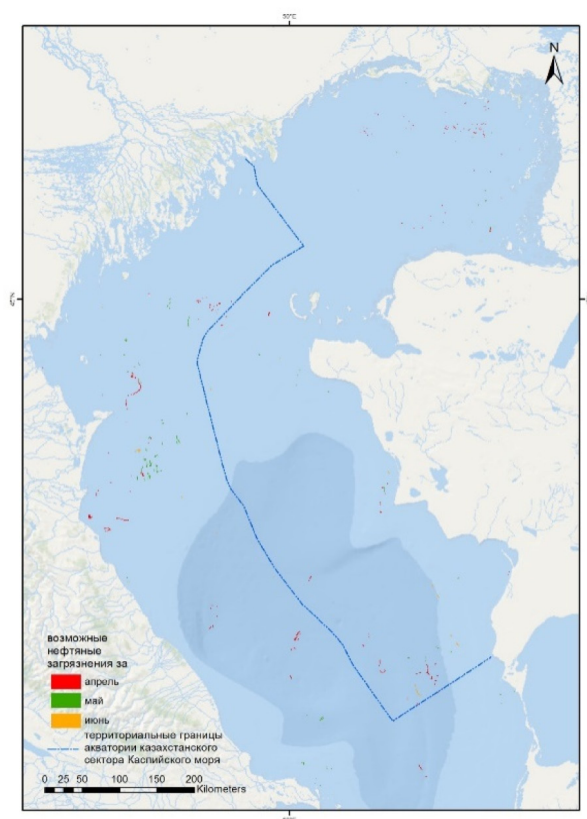


Рисунок 4 – Карта нефтяного загрязнения акватории Каспийского моря за период с 1 апреля по 20 июня 2018 года

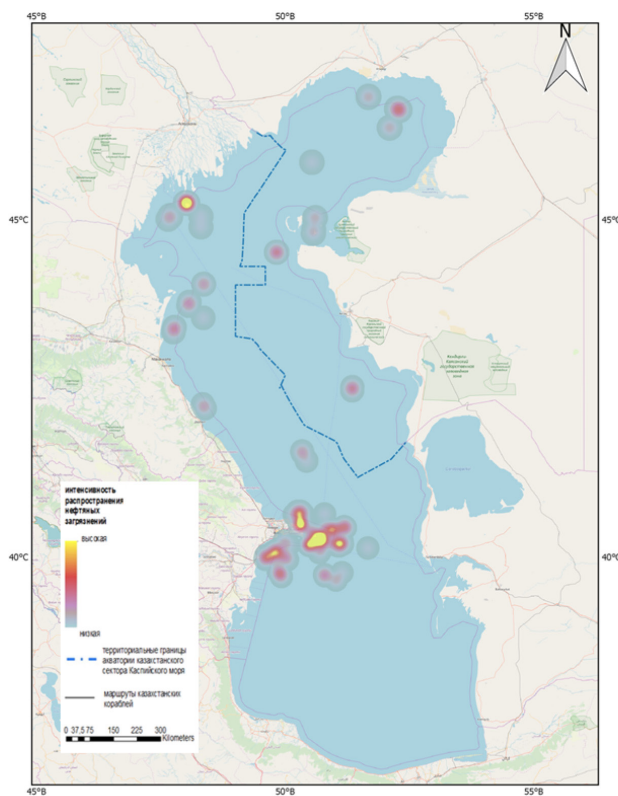


Рисунок 5 – Карта интенсивности нефтяного загрязнения акватории Каспийского моря за период с 1 апреля по 20 июня 2018 года

По результатам проведенной работы при детектировании нефтяных пленок и сликов с использованием радарных снимков были определены площадь, периметр и координаты нефтяных разливов. Как показано на рисунке 5, в основном очаг нефтяных разливов были расположены близ нефтяных скважин и трасс транспортировки нефтяных продуктов, этому свидетельствует карта интенсивности загрязнения акватории

### Выводы

Существует огромное количество методов, которые можно использовать для детектирования нефтяных загрязнений на территории месторождений. В данном исследовании, мы доказали, что используя радарные снимки, можно безошибочно определить участки с нефтяными загрязнениями. Данное исследование показало результативность использования ДДЗ в детектировании нефтяных загрязнений, так же можно отметить, что нынешние технологии дистанционного зондирования позволяют достичь большего в технологии оценки масштабов загрязнения.

Большой объем проанализированных данных позволил нам сделать некоторые обобщения и получить статистически значимые результаты о пространственной и временной изменчивости различных проявлений морской поверхности на спутниковых снимках. Нами исследованы два основных типа поверхностного нефтяного загрязнения Каспийского моря: нефтяные разливы с судов и естественные просачивания нефти на морском дне. Для каждого типа загрязнения и каждого моря были определены районы регулярного загрязнения, оценены загрязненные

районы и выявлены конкретные особенности проявления. Были выявлены участки с наиболее сильным загрязнением поверхности в результате сброса нефти и нефтепродуктов с судов. Все эти районы действительно являются зонами экологической опасности.

В ходе проведения работ по мониторингу Каспийского моря был накоплен большой объем спутниковой информации. Только с апреля по июню 2018 года получено, обработано и проанализировано более 100 радарных изображений морской поверхности европейского спутника Sentinel 1A,B – 45 из них, детектировали нефтяные загрязнения. Кроме того, рассчитаны среднемесячные количества обнаруженных разливов и распределение отдельных размеров нефтесодержащих разливов.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках научного проекта О.0782 «Разработка многоцелевой аэрокосмической системы прогнозного мониторинга (МАКСМ), а также создание на ее основе сервисов комплексного представления информации предупреждения о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера в совокупности с семантическими и геопространственными данными» при финансовой поддержке «КН МОН РК».

Авторы выражают благодарность Европейскому космическому агентству за возможность доступа к снимкам спутника SENTINEL1 на сервере The Copernicus Open access Hub, а также Национальному центру климатических данных NOAA (США) за предоставление оперативных данных о поле температуры поверхности море и ветре.

### Литература

- Bayramov, Emil, and Manfred Buchroithner. "Detection of oil spill frequency and leak sources around the Oil Rocks Settlement, Chilov and Pirallahi Islands in the Caspian Sea using multi-temporal envisat radar satellite images 2009–2010." *Environmental Earth Sciences* 73, no. 7 (2015): 3611-3621.
- Bayramov E, Buchroithner M, Bayramov R. 2016. Multi-temporal assessment of ground cover restoration and soil erosion risks along petroleum & gas pipelines in Azerbaijan using GIS and remote sensing. *Environ Earth Sci.* 75:256.
- Brekke, Camilla, and Anne HS Solberg. "Oil spill detection by satellite remote sensing." *Remote sensing of environment* 95, no. 1 (2005): 1-13.
- de Souza, Danilo L., Adrião DD Neto, and Wilson da Mata. "Intelligent system for feature extraction of oil slick in sar images: Speckle filter analysis." In *International Conference on Neural Information Processing*. Springer, Berlin, Heidelberg (2006): 729-736
- Del Frate, Fabio, Andrea Petrocchi, Juerg Lichtenegger, and Gianna Calabresi. "Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data." *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 38, no. 5 (2000): 2282-2287.
- Espedal, H. A. "Satellite SAR oil spill detection using wind history information." *International Journal of Remote Sensing* 20, no. 1 (1999): 49-65.
- Fingas, M., & Brown, C. E. *Oil Spill Remote Sensing: A Review*. Oil Spill Science and Technology (2011): 111–169.

- Fiscella, B., A. Giancaspro, F. Nirchio, P. Pavese, and P. Trivero. "Oil spill detection using marine SAR images." *International Journal of Remote Sensing* 21, no. 18 (2000): 3561-3566.
- Ivanov AY, Kucheiko AA. 2016. Distribution of oil spills in inland seas based on SAR image analysis: a comparison between the Black Sea and the Caspian Sea. *Int J Remote Sens.* 37(9): 2101–2114.
- Ivanov, A. Yu, M. Yu Dostovalov, and A. A. Sineva. "Characterization of oil pollution around the oil rocks production site in the Caspian Sea using spaceborne polarimetric SAR imagery." *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* 48, no. 9 (2012): 1014-1026.
- Kubat, Miroslav, Robert C. Holte, and Stan Matwin. "Machine learning for the detection of oil spills in satellite radar images." *Machine learning* 30, no. 2-3 (1998): 195-215.
- Lavrova, Olga, and Marina Mityagina. "Satellite Survey of Internal Waves in the Black and Caspian Seas." *Remote Sensing* 9, no. 9 (2017): 892.
- Li X, Pichel W, Cheng Y, Garcia-Pineda O, Liu P, Streett D, Gallegos S. 2010. Oil spill response utilizing SAR imagery in the Gulf of Mexico. *Proceedings of SEASAR 2010 Workshop*; 2010 Apr 1; Frascati.
- Marghany, Maged. "RADARSAT automatic algorithms for detecting coastal oil spill pollution." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 3, no. 2 (2001): 191-196.
- Mityagina, Marina I., and Olga Yu Lavrova. "Multi-sensor satellite survey of surface oil pollution in the Caspian Sea." In *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2015*, vol. 9638, Q. International Society for Optics and Photonics (2015): 96380
- Montali, Andrea, Giorgio Giacinto, Maurizio Migliaccio, and Attilio Gambardella. "Supervised pattern classification techniques for oil spill classification in SAR images: preliminary results." In *SEASAR2006 Workshop, ESAESRIN, Frascati, Italy, (January 2006)*: 23-26.
- Skøelv, Å., and T. Wahl. "Oil spill detection using satellite based SAR, Phase 1B competition report." *Tech. Rep., Norwegian Defence Research Establishment* (1993).
- Solberg, AH Schistad, Geir Storvik, Rune Solberg, and Espen Volden. "Automatic detection of oil spills in ERS SAR images." *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 37, no. 4 (1999): 1916-1924.
- Solberg, Anne H. Schistad. "Remote sensing of ocean oil-spill pollution." *Proceedings of the IEEE* 100, no. 10 (2012): 2931-2945.
- Solberg, Anne HS, and Camilla Brekke. "Oil spill detection in Northern European Waters: approaches and algorithms." In *Remote Sensing of the European Seas*, Springer, Dordrecht (2008): 359-370.
- Topouzelis, Konstantinos N. "Oil spill detection by SAR images: dark formation detection, feature extraction and classification algorithms." *Sensors* 8, no. 10 (2008): 6642-6659.