

^{1,2}Деева Ю.В., ^{2,3}Алпысбай М.А., ^{2,3}Калдыбаев А.А., ^{1,2}Гаврук С.В.

¹АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, г. Алматы

²ДТОО «Институт ионосферы», Казахстан, г. Алматы, e-mail: gislabkz@gmail.com

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В настоящей работе рассмотрено применение объектно-ориентированного анализа (OBIA-Object-based Image Analysis) к многоспектральным оптическим данным среднего разрешения спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B с целью обнаружения нефтяных разливов на поверхности акватории Каспийского моря. Sentinel-2A,B – европейские спутники дистанционного зондирования Земли, которые входят в космическую группировку спутников по Глобальному мониторингу окружающей среды и безопасности «Copernicus». Преимущество использования этих данных в их предоставляемости потребителям на бесплатной основе, в их разрешении и доступности в режиме реального времени. В качестве примера проанализированы два случая разлива нефти на акватории Каспийского моря, в районе месторождений «Нефтяные Камни» и «Кашаган». Целью данной работы являлось определение мест и границ нефтяных загрязнений в акватории казахстанского сектора Каспийского моря с помощью мультиспектральных космических снимков. Для данной работы применялся анализ OBIA, который включает в себя процесс сегментации (разделения) для определения соседних объектов на изображениях, имеющих аналогичные спектральные характеристики и форму. Он состоял из нескольких этапов, в результате выполнения которых определяются нефтяные загрязнения на морской поверхности.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, объектно-ориентированный анализ, многоспектральные снимки среднего разрешения.

^{1,2}Deeva Yu.V., ^{2,3}Alpysbay M.A., ^{2,3}Kaldybaev A.A., ^{1,2}Gavruk S.V.

¹JSC National Centre for Space Research and Technology, Kazakhstan, Almaty

²SLLP «Institute of Ionosphere», Kazakhstan, Almaty, e-mail: gislabkz@gmail.com

³Al-Farabi Kazakh National university, Kazakhstan, Almaty

Method for detecting oil spots on the sea surface by means of multispectral satellite imagery

In this paper, we consider the application of object-based image analysis (OBIA) to the multispectral optical data of the average resolution of the Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites in order to detect oil spills in the Caspian Sea. Sentinel-2 are European satellites for remote sensing of the Earth, which is part of the satellite constellation for global monitoring of the environment and security «Copernicus». The advantage of using these images in their availability to consumers free of charge, in their resolution and availability in real time. As an example, we analyzed two cases of oil spills in the Caspian Sea, in the area of the Oil Rocks and Kashagan fields. The purpose of this work was to determine the places and boundaries of oil pollution in the waters of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea using multispectral optical satellite images. For this work, an OBIA analysis was used, which is a segmentation process to identify neighboring objects in images that have similar spectral characteristics and shape. It consisted of several stages, as a result of which oil pollution on the sea surface is determined.

Key words: oil pollution, object-based image analysis, multispectral images of medium resolution.

^{1,2}Деева Ю.В., ^{2,3}Алпысбай М.А., ^{2,3}Калдыбаев А.А., ^{1,2}Гаврук С.В.

¹«Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ, Қазақстан, Алматы қ.

²«Ионосфера институты» ЕЖШС, Қазақстан, Алматы қ., e-mail: gislabkz@gmail.com

³Эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

Теңіз бетіндегі мұнай дақтарын мультиспектралды спутниктік суреттер көмегімен анықтау әдісі

Бұл жұмыста суреттің нысандық-бағдарлау анализін (OBIA – Object-based Image Analysis) Sentinel-2A және Sentinel-2B серіктерінен алынған көп спектралды орташа рұқсатты оптикалық мәліметтерге пайдалану арқылы Каспий теңізінің бетіндегі мұнаймен ластануларды анықтау мақсатында орындалған үдерістер қарастырылды. Sentinel-2A, B «Copernicus» атты қоршаған ортаның ғаламдық мониторингісі мен қауіпсіздігі бойынша жұмыс жасайтын серіктердің ғарыштық тобына кіретін Жерді арақашықтықтан зерделеудің еуропалық спутнигі. Аталған мәліметтерді пайдаланудың артықшылығы – тұтынушыларға тегін түрде ұсынылуы, олардың жоғары рұқсаттылығы және шынайы уақыт режимінде пайдаланушыларға қолжетімділігі. Мысал ретінде Каспий теңізінің су айдынында мұнайдың төгілуінің екі жағдайы, яғни атап айтқанда «Мұнай тастары» мен «Қашаған» кен орындарының аудандарында талдама жасалды. Бұл жұмыстың мақсаты Каспий теңізінің қазақстандық су айдыны секторындағы мұнаймен ластанулардың орнын және шекараларын мультиспектралды оптикалық ғарыштық суреттер арқылы анықтау болып табылады. Мақсатқа жету үшін OBIA анализі пайдаланылды, оған сәйкес суретте ұқсас спектралдық сипаттамаға және пішінге ие көрші нысандарды анықтау үшін сегментация (саралау) үдерісін қолданады. Ол бірнеше кезеңнен тұрды, оны орындау нәтижесінде теңіз бетіндегі мұнаймен ластанулар анықталады.

Түйін сөздер: мұнаймен ластану, нысаналық-бағдарлау анализі, орташа рұқсатты көп спектралды суреттер.

Введение

Своевременное обнаружение нефтяных разливов имеет большое значение, как для нефте-разведки, так и для защиты окружающей среды. Мультиспектральные оптические снимки дистанционного зондирования неоднократно использовались для выявления случаев разливов нефти на морской воде (Carnesecchi, 2008: 710504-2; Palmer, 1994: 546-552; Klemas, 2010: 790-792). Было выявлено, что для обнаружения разлива нефти на поверхности моря наиболее эффективным является диапазон частот от 440 до 900 нм (Cocucci, 2010: L782509-2-L782509-7). Отблеск от нефтяного загрязнения, видимый на спутниковых снимках как серебристый, отражает свет в широкой спектральной области (Adamo, 2009: 6405-6406). Разлив тяжелой фракции нефти отражается на снимках коричневым цветом, достигая максимума в области от 600 до 700 нм, нефтяной мусс выглядит красно-коричневым и имеет пики в области ближе к 700 нм. Исследования нефтяных разливов на мелководье показало, что для сырой нефти, а также для легких фракций нефтепродуктов, тонкая пленка нефтяного разлива имеет аналогичные спектральные характеристики (Al-Hinai Khattab, 1993: 87-89). В работах (Fingas, 1997:203-204; Ли, 2008: 3937-3938), установлено, что органиче-

ские соединения в масляных и масляно-водных смесях имеют характеристики поглощения, отличные от характеристик воды и облаков. Моделирование, с варьированием оптических свойств воды и учетом различных фракций нефти, дало некоторые общие правила: очень тонкие нефтяные пленки более легко обнаруживаются вблизи зоны солнечного блика, а более толстые пленки определяются при углах обзора отличной от зоны солнечного блика (Mariano, 2011: 328-329). Детектирование пленок средней толщины зависит, главным образом, от специфических оптических свойств нефти.

Исходные данные и методы исследования

В работах (Zhao, 2014: 13761-13762; Lee, 2016: 2491-2492) предложен алгоритм распознавания пленочного нефтяного загрязнения с использованием данных DubaiSat-2 и Landsat (OLI). В работе (Kwarteng, 1998: 1652-1654) подобраны соотношения спектральных каналов для улучшения характеристик разлива нефти на спутниковых изображениях Landsat 7 ETM. Было установлено, что наилучший результат для детектирования нефтяных разливов дает разность между каналами со средней частотой 660 и 560 нм, деление каналов 660 нм на 560 нм, а также деление канала 825 нм на 560 нм, с после-

дующим проведением контролируемой по пиксельной классификации.

Объектно-ориентированный анализ изображений (OBIA) также применяется для обнаружения разливов нефти, но в основном, для радарных изображений с синтезированной апертурой (SAR). Анализ OBIA это процесс сегментации для определения соседних объектов на изображениях, имеющих аналогичные спектральные характеристики и форму. В работе (Karathanassi, 2006: 5237-5248) был применен анализ OBIA для данных спектрометра MODIS. Разработан метод OBIA для обнаружения разливов нефти с использованием мультиспектральных данных вы-

сокого разрешения, таких как Ikonos, QuickBird, RapidEye и WorldView-2, а также спутниковых изображений среднего разрешения, таких как Landsat TM в работе (Carnesecchi, 2008: 710504).

Прежде чем приступить к изложению метода обнаружения нефтяных разливов, основанном на объектно-ориентированном анализе, рассмотрим визуальную информативность многоспектральных оптических космических снимков среднего пространственного разрешения Sentinel-2A и Sentinel-2B.

На рисунке 1 представлены RGB изображения нефтяных разливов в районе «Нефтяные Камни» и «Кашаган» за 31 мая 2018 года.

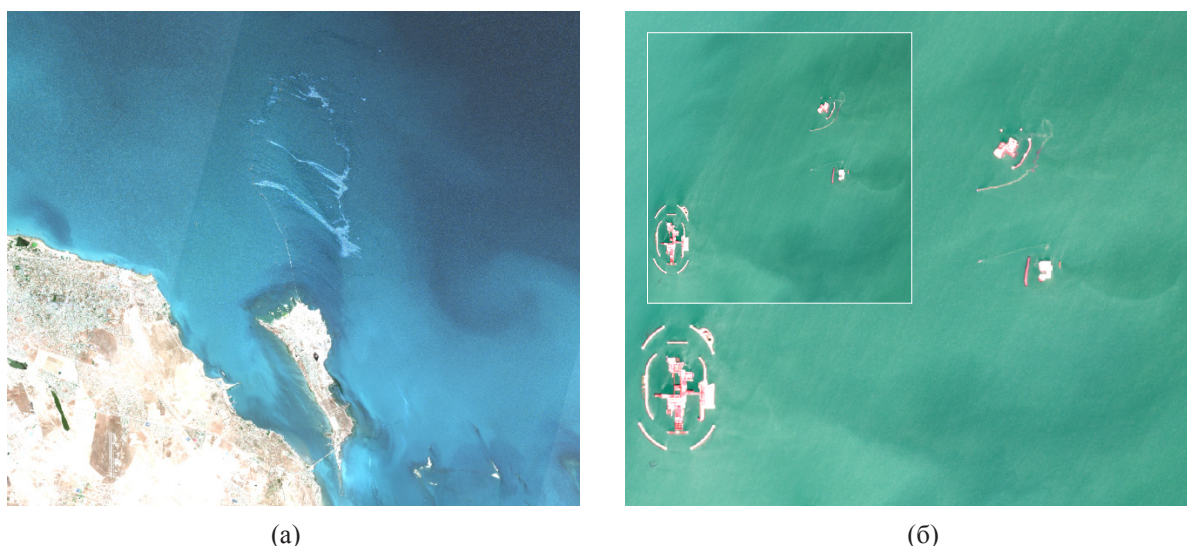


Рисунок 1 – RGB изображения нефтяных разливов в районе «Нефтяные Камни» (а) и «Кашаган» (б) за 31 мая 2018 года Стрелками указаны места нефтяных разливов. Фрагмент разлива в районе нефтедобывающей платформы «Кашаган» увеличен

В районе нефтедобывающей платформы «Нефтяные Камни» (рисунок 1 (а)) нефтяной slick имеет блестящий, радужный, металлический оттенок и покрывает достаточно большую площадь. Все это признаки недавно произошедшего нефтяного разлива, вследствие процесса добычи. На рисунке 1 (б) видно, что уходящее от платформы судно «Кашаган» произвело сброс балластных вод, отсюда и характерные формы и цвет пятна.

Спутник Sentinel имеет 13 спектральных каналов, рассмотрим проявление нефтяных пятен на некоторых из них. В сине-зеленой зоне спектра (каналы 2,3, диапазон 400-600 нм) отмечается значительное отражение от морского дна, которое препятствует детектированию нефтяных разливов (рисунок 2 (а-г)). При увели-

чении длины волны до 660 нм, помехи от морского дна уменьшаются. Наилучшие результаты получаются в области от верхнего красного до ближнего инфракрасного диапазонов. В этом диапазоне помехи от морского дна минимальны, а разлив нефти отображается значительно ярче, чем окружающая вода. На изображениях с длиной волны больше 760 нм снижается коэффициент отражения воды и появляется дополнительный шум, что намного снижает эффективность детектирования нефтяных разливов. На рисунке 2 показана последовательность изображений в диапазоне длины волны от 490 до 1375 нм. Стрелками выделены фрагменты, где наиболее ярко выражен нефтяной разлив по сравнению с окружающей водой (рисунок 2 (д-з)).

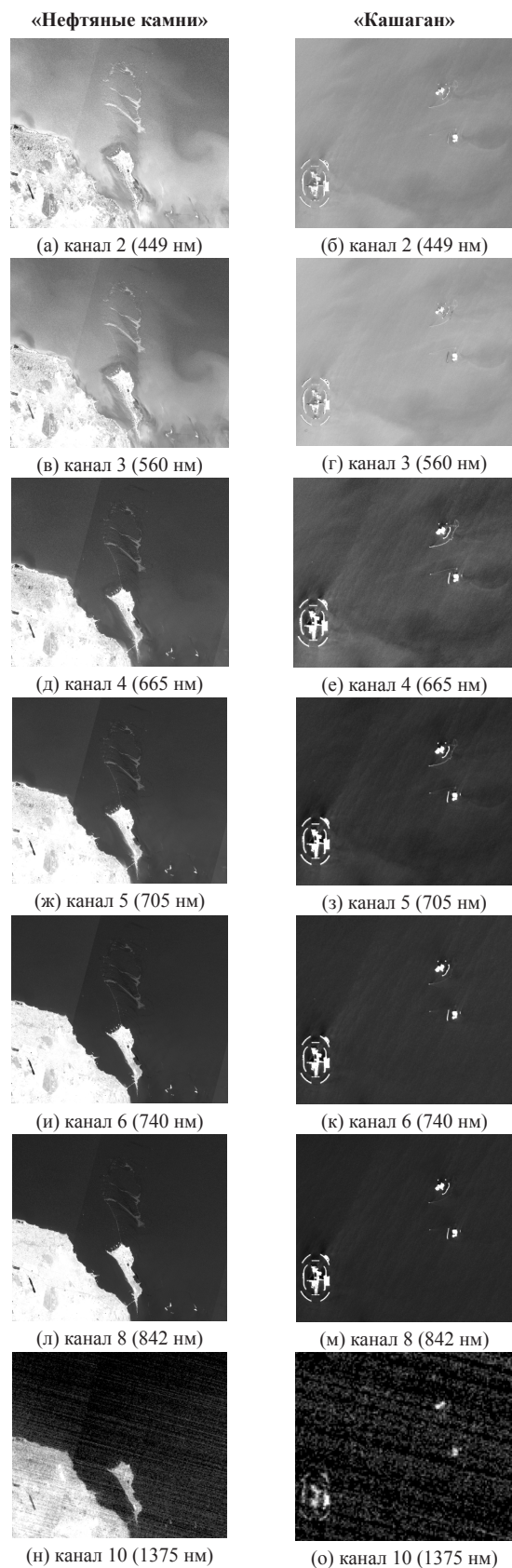


Рисунок 2 – Изображение фрагментов снимков спутника Sentinel-2 для районов с нефтяными разливами для различных каналов

Начальным этапом для метода обнаружения нефтяных разливов, основанном на объектно-ориентированном анализе, является сегментация изображений ДЗЗ (Fingas, 2012: 7502-7503). Сегментация это процесс объединения пикселей изображения в простые однородные объекты со схожими геометрическими критериями (Pelizzari, 2007: 1318). В процессе сегментации на основе различных пространственных разрешений спутникового снимка создаются несколько уровней с объектами изображения в разных масштабах. Сегментация осуществлялась в программном обеспечении eCognition. Критериями, используемыми в eCognition при сегментации, являются: 1) масштаб, определяющий максимальный размер объектов; 2) значения цвета и формы (с ограничением суммы значений не более 1, которые придают приоритет спектральной однородности или характеристикам формы; и 3) значения сглаженности и компактности (с суммой не более 1), которые связаны с характеристиками формы и создают или обычные или компактные объекты. Первый уровень сегментации содержит небольшие объекты. Второй уровень – крупные объекты. Два уровня сегментации необходимы для вычисления разностей характеристик яркости объектов меньшего размера с более крупными. Ниже приводятся параметры сегментации для создания двух уровней объектов.

Первый уровень сегментации (небольшие объекты):

- Значения для каналов с высоким пространственным разрешением (10 м) – каналы 2,3,4,8 = 1

- Значения для каналов с низким пространственным разрешением (60 и 20 м) – каналы 1,9,11 = 0

Масштаб = 10, цвет = 0,8, форма = 0,2, компактность = 0,5, сглаженность = 0,5

Второй уровень сегментации (большие объекты):

- Значения для каналов с высоким пространственным разрешением (10 м) – каналы 2,3,4,8 = 1

- Значения для каналов с низким пространственным разрешением (60 и 20 м) – каналы 1,9,11 = 0

Масштаб = 80, цвет = 0,1, форма = 0,9, компактность = 1,0, сглаженность = 0,0 (Kolokousis P., 2018: 4-5).

Используя приведенные выше параметры сегментации, размер объектов изображения первого уровня варьировался от 0,001 до 0,15 км²,

а объекты изображения второго уровня варьировались от 0,3 до 1,5 км².

Следующим этапом после сегментации является исследование различных особенностей объектов изображения в различных диапазонах и вычисление следующих параметров:

- нормализованный разностный индекс воды (NDWI) (Xu, 2006: 3026-3027), для Sentinel-2 формула выглядит следующим образом $(B2-B11)/(B2+B11)$. NDWI рассчитывается для того чтобы отделить изображение суши от воды на снимке;

- отношение $B2/B11$ (Ji, 2011: 6902-6906);

- $StdDev(B2)*(B2/B11)$, в этом отношении считается стандартное отклонение для объектов

изображения в канале 2 и умножается на предыдущее выражение.

Использование этого соотношения позволяет выделить более высокую яркость нефтяного разлива по сравнению с остальными объектами. Также, с помощью соотношения $B2/B11$ можно обнаруживать области разлива нефти, но вдали от солнечных бликов. Совместное использование отношений $B2/B11$ и $StdDev(B2)*(B2/B11)$ обеспечивает наилучшие результаты при детектировании нефтяных загрязнений.

На рисунке 3 представлена общая схема метода OBIA, для обнаружения разливов нефти с использованием снимков Sentinel-2.

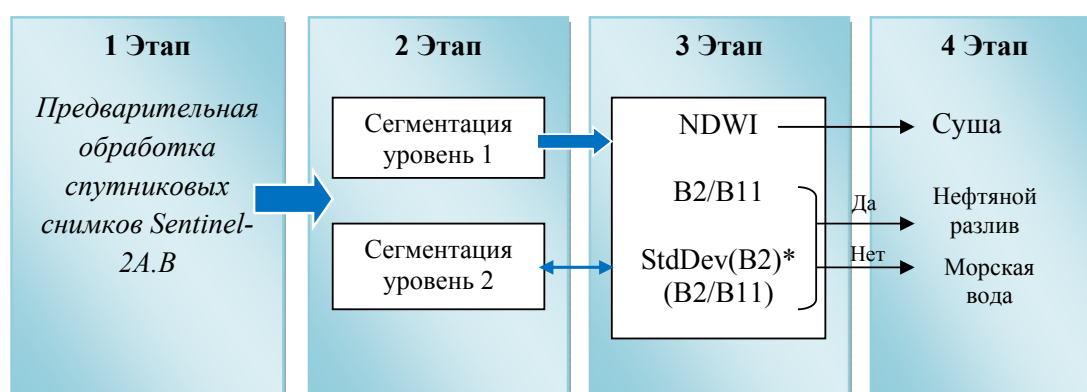


Рисунок 3 – Схема метода детектирования нефтяных разливов основанная на OBIA для оптических спутниковых снимков Sentinel-2

Существует недостаток в использовании одиночных изображений: может произойти обнаружение ложных разливов нефти из-за невысокого уровня дна. Это в основном происходит вблизи побережья, но может также произойти в районах с низкой глубиной в других местах. Лучший способ избежать этих ошибок – использовать много спектральные изображения и проследить, чтобы разлив нефти обнаруживался только на одном изображении.

Результаты и обсуждения

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных экологических задач является контроль (оперативное обнаружение и классификация) загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Так снимки Sentinel-2 обеспечивают пространственное и спектральное разрешение для обнаружения разливов нефти,

и предлагаемая методология, по-видимому, дает возможность получить успешные результаты в случае естественных утечек нефти, а также событий разлива нефти. Предложенная методология обнаружения разливов нефти основана на методологии OBIA, которая считается фундаментальной. Для некоторых основных функций объектов изображения (стандартное отклонение в объекте, разность яркостей по отношению к более крупным объектам и размерам объектов) использовалось метод классификации на основе пикселей. Предлагаемая многовременная методология OBIA дала очень точные результаты.

Применение данной методологии позволит:

- обнаружить места загрязнения нефтью и нефтяными продуктами;
- определить достаточно точно динамику изменения (площадь, границы) разлива нефти на морской поверхности;

– установить возможные источники загрязнения.

Существует большой риск ложного детектирования нефтяных разливов в районах, близко расположенных к берегу или просто на мелководье. Это происходит из-за увеличения коэффициента отражения от морского дна. Для того

чтобы избежать подобных ошибок лучше проводить детектирование на достаточно большом расстоянии от берега или использовать данные многовременной съемки.

В таблице 2 приведены некоторые пороговые значения к параметрам, которые были вычислены в процессе выполнения алгоритма.

Таблица 2 – Пороговые значения алгоритма обнаружения нефтяного загрязнения по оптическим многоспектральным данным Sentinel-2

Расчетные параметры	Пороговые значения	Класс
NDWI	>0.4 (0.35-0.45)	Вода
StdDev(B2)*(B2/B11)	>135 (130-140)	Нефтяное загрязнение
отношение B2/B11	> 13 (12-14)	
Площадь в пикселях	>20 (19-21)	
Расстояние от береговой линии	>350 (300-400)	

Выводы

В конечном итоге следует отметить, что исследование носит предварительный характер и более тщательно рассмотреть пороговые значения алгоритма обнаружения нефтяного загрязнения по оптическим многоспектральным данным Sentinel-2. Исследования в этом направлении будут продолжены с привлечением большего количества данных ДЗЗ, их статистического анализа, с целью повышения вероятности детектирования нефтяных загрязнений и его практического применения. Предварительные результаты считаются успешными и последовательными, с высокой степенью применимости к другим спутниковым изображениям Sentinel-2. Дальнейшее тестирование и правильная настройка предлагаемой объектно-ориентированной методологии

должны проводиться с использованием коррекции атмосферы и наземных данных. Атмосферные поправки являются очень важным этапом предварительной обработки в дистанционном зондировании, но существующие алгоритмы для акваторий все еще экспериментальны и поэтому не использовались на данный момент, но должны использоваться в будущих экспериментах. Данные наземной достоверности имеют фундаментальное значение для разработки любой методологии дистанционного зондирования, но в случае разливов нефти очень сложно организовать и осуществлять такой сбор данных. Основная причина этого заключается в том, что существуют абсолютные ограничения в отношении экспериментов с нефтью в морской воде, и поэтому кто-то должен быть готов действовать только тогда, когда происходит разлив нефти.

Литература

Adamo, Maria, Giacomo De Carolis, Vito De Pasquale, and Guido Pasquariello. «Detection and tracking of oil slicks on sun-glittered visible and near infrared satellite imagery.» *International Journal of Remote Sensing* 30, no. 24 (2009): 6403-6427.

Al-Hinai, Khattab G., M. Asif Khan, Abdallah E. Dabbagh, and Talat A. Bader. «Analysis of Landsat Thematic Mapper data for mapping oil slick concentrations-Arabian Gulf oil spill 1991.» *The Arabian Journal for Science and Engineering* 18, no. 2 (1993): 85-93.

Carnesecchi, F., V. Byfield, P. Cipollini, G. Corsini, and M. Diani. «An optical model for the interpretation of remotely sensed multispectral images of oil spill.» In *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2008*, vol. 7105, p. 710504. International Society for Optics and Photonics, 2008.

Corucci, Linda, Fabio Nardelli, and Marco Cococcioni. «Oil spill classification from multi-spectral satellite images: exploring different machine learning techniques.» In *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2010*, vol. 7825, p. 782509. International Society for Optics and Photonics, 2010.

Fingas, Mervin F., and Carl E. Brown. «Review of oil spill remote sensing.» *Spill Science & Technology Bulletin* 4, no. 4 (1997): 199-208.

- Fingas, Mervin, and Carl Brown. «Oil spill remote sensing.» In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, pp. 7491-7527. Springer, New York, NY, 2012.
- Ji, Lei, Li Zhang, Bruce K. Wylie, and Jennifer Rover. „On the terminology of the spectral vegetation index (NIR– SWIR)/ (NIR+ SWIR).« *International journal of remote sensing* 32, no. 21 (2011): 6901-6909.
- Karathanassi, V., K. Topouzelis, P. Pavlakis, and D. Rokos. „An object-oriented methodology to detect oil spills.« *International Journal of Remote Sensing* 27, no. 23 (2006): 5235-5251.
- Klemas, Victor. „Tracking oil slicks and predicting their trajectories using remote sensors and models: case studies of the Sea Princess and Deepwater Horizon oil spills.« *Journal of Coastal Research* (2010): 789-797.
- Kolokoussis, Polychronis, and Vassilia Karathanassi. „Oil Spill Detection and Mapping Using Sentinel 2 Imagery.« *Journal of Marine Science and Engineering* 6, no. 1 (2018): 4.
- Kwarteng, A. Y., and P. S. Chavez Jr. „Change detection study of Kuwait City and environs using multi-temporal Landsat Thematic Mapper data.« *International Journal of Remote Sensing* 19, no. 9 (1998): 1651-1662.
- Lee, Min-Sun, Kyung-Ae Park, Hyung-Rae Lee, Jae-Jin Park, Chang-Keun Kang, and Moonjin Lee. „Detection and dispersion of oil spills from satellite optical images in a coastal bay.« In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*, pp. 2491-2494. IEEE, 2016.
- Lu, YingCheng, QingJiu Tian, JingJing Wang, XiangCheng Wang, and XiaoPing Qi. „Experimental study on spectral responses of offshore oil slick.« *Chinese Science Bulletin* 53, no. 24 (2008): 3937-3941.
- Mariano, A. J., V. H. Kourafalou, A. Srinivasan, H. Kang, G. R. Halliwell, E. H. Ryan, and M. Roffer. „On the modeling of the 2010 Gulf of Mexico oil spill.« *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 52, no. 1-2 (2011): 322-340.
- Palmer, D., G. A. Borstad, and S. R. Boxall. „Airborne multispectral remote sensing of the January 1993 Shetlands oil spill.« In *Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications*, pp. 546-558. ERIM Conferences Ann Arbor, 1994.
- Pelizzari, Sónia, and Jose Bioucas-Dias. «Oil spill segmentation of SAR images via graph cuts.» In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*, pp. 1318-1321. IEEE, 2007.
- Xu, Hanqiu. «Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.» *International journal of remote sensing* 27, no. 14 (2006): 3025-3033.
- Zhao, Jun, Marouane Temimi, Hosni Ghedira, and Chuanmin Hu. «Exploring the potential of optical remote sensing for oil spill detection in shallow coastal waters-a case study in the Arabian Gulf.» *Optics Express* 22, no. 11 (2014): 13755-13772.

