

УДК 528.854.2

МРНТИ 89.57.35

**ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-1 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СРЕДЕ GEE**Г.Н. Сагатдинова<sup>1\*</sup>, Д.Б. Нурсеитов<sup>2</sup> к.ф.-м.н.<sup>1</sup>ТОО “Институт Ионосферы”, Алматы, Казахстан<sup>2</sup>КМГ Инжиниринг, Алматы, Казахстан

E-mail: gulshatn@rambler.ru

Нефтяные загрязнения поверхности воды являются одной из важнейших экологических проблем акватории Каспийского моря. Для постоянного контроля за экологической ситуацией в регионе разрабатываются методики идентификации нефтяных загрязнений на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В последние годы, наблюдается значительный рост спутниковых данных и соответственно появляется возможность для увеличения частоты наблюдений. Применение методов обработки на основе облачных технологий позволяет обрабатывать возросшие объемы данных. Целью данной работы являлась адаптация и модернизация технологии мониторинга нефтяных разливов на примере акватории Каспийского моря с использованием современных вычислительных ресурсов на базе платформы Google Earth Engine (GEE) и радиолокационных спутниковых изображений Sentinel-1. В рамках данного исследования была разработана технология выявления нефтяных разливов, основанная только на архивах данных, доступных в среде GEE.

**Ключевые слова:** нефтеразливы, радиолокационное изображение, Google Earth Engine, мониторинг

Поступила: 26.12.23

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-100-109

**ВВЕДЕНИЕ**

Несмотря на все усилия предпринимаемые для отказа общества использовать углеводороды в качестве основного вида топлива. Нефть по-прежнему является одним из самых востребованных полезных ископаемых, а также является сырьем для производства различных материалов. Все это приводит к интенсификации добычи, активной транспортировке, что несомненно приводит к неизбежным эпизодическим случаям разливов нефти.

Для идентификации и регистрации таких случаев помимо наземных исследований широкое распространение получили и методы с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенно это актуально для удаленных и труднодоступных территорий. Для обнаружения нефтяных загрязнений используются как оптические, так и радиолокационные данные. Сложность использования оптических данных

заключается в том, что их большая часть отбраковывается на начальном этапе из-за облачности, также, возможность идентификации нефтяных разливов на водной поверхности зависит от угла съемки и местоположения Солнца. Поэтому основным источником данных при мониторинге нефтяных загрязнений являются радиолокационные данные. Идентификация нефтяных разливов на радиолокационных снимках осуществляется благодаря появлению, так называемых зон “выглаживания” на морской поверхности, за счет ослабления гравитационно-капиллярных волн, согласно теории радиолокационного рассеяния Брэгга (Alpers и Espedal, 2004). При мониторинге нефтяных разливов по радиолокационным данным также существует ряд ограничений. Во-первых, зоны “выглаживания” на водной поверхности образуются не только от нефтяных разливов, такой эффект наблюдается также и в районах скопления водорослей. Еще одним ограничением при мониторинге нефтяных

разливов является скорость приземного ветра, так как при полном штиле и сильном ветре зоны “выглаживания” становятся незаметными на радиолокационном изображении.

Традиционно процедура обработки данных ДЗЗ состоит из следующих этапов:

Поиск снимка в каталоге, скачивание, предварительная обработка, тематическая обработка. Первые два этапа этой цепочки являются обычно очень время затратными процедурами при обработке отдельных сцен. В случаях потоковой обработки данных, когда все процессы автоматизированы, включая и первые два этапа обычно самыми слабыми участками являются вычислительные мощности и объемы обрабатываемых данных. Учитывая, то, что в последние годы количество спутников, поставляющих данные ДЗЗ увеличилось кратно и их рост продолжается на первый план выходят технологии облачной обработки данных с распределенными вычислительными ресурсами. Одной из таких технологий является платформа GEE (Gorelick, N. and etc., 2017), которая сочетает в себе возможности обработки больших объемов и доступа к различным бесплатным геопространственным данным. В этой работе предлагается альтернативная методика, основанная на использовании облачных вычислений в среде GEE как дополнение к традиционным, основанных на использовании настольных программных продуктов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе облачной платформы GEE была разработана технология мониторинга для обнаружения нефтяных загрязнений в акватории Каспийского моря с использованием радиолокационных данных Sentinel-1.

Разработанное приложение для обнаружения нефтяных загрязнений состоит из нескольких этапов, как показано на рисунке 1:

1. Поиск в каталоге данных радиолокационных снимков на территорию акватории Каспийского моря.

2. Подбор ближайших по дате и времени пролета горизонтальных ( $u$  и  $v$ ) составляющих ветра и данных о концентрации хлорофилла.

3. Применение алгоритмов предварительной и тематической обработки радиолокационных данных для выделения нефтяных разливов.

4. Создание слоя нефтяные разливы.

Радиолокационные данные Sentinel-1. Спутники Sentinel-1 запущенные Европейским космическим Агентством (ESA) в 2014 (Sentinel-1A) и 2016 (Sentinel-1B) годах стали первыми осуществлять радиолокационную съемку на регулярной основе, доступ к которым предоставляется бесплатно. Оба аппарата оснащены датчиком радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) С-диапазона (рабочая длина волны 5,6 см).

Каждый из сенсоров Sentinel-1 поддерживает четыре режима работы: маршрутный (Stripmap), интерферометрический (Interferometric Wide Swath), сверхширокий (Extra-Wide Swath) и волновой (Wave Mode). При маршрутном, интерферометрическом и сверхшироком режимах съемки существует возможность съемки как в одиночной (НН или VV), так и в двойной поляризациях (НН + HV, VV + VH). В волновом режиме доступна съемка только с применением одиночной поляризации (НН или VV). Большая часть архивов для территории акватории Каспийского моря снята и снимается в интерферометрическом режиме с двойной поляризацией (VV + VH).

В среде GEE данные Sentinel-1A/1B (S1) доступны в виде амплитудных изображений формата Ground Range Detected (GRD), прошедших этапы калибровки и ортотрансформирования в программном обеспечении Sentinel-1 Toolbox. В GEE снимки добавляются ежедневно. Задержка между датой съемки и датой попадания в коллекцию не превышает двух дней.

Эта коллекция состоит из всех отснятых за период наблюдения сцен. Помимо каналов поляризаций, число которых варьируется от сцены к сцене, в зависимости от режимов, при которых проводилась съемка заданной территории в определенный момент времени. Каждый снимок содержит канал “angle” в котором содержится информация об изменении

содержится информация об изменении угла падения в каждой точке сцены снимка.

Метеорологические данные.

Метеорологические условия играют важную роль при выявлении нефтяных разливов по радиолокационным данным. При малых скоростях ветра обычно до 3...4 м/с слики преобразуются в самые тонкие пленки, легко переносимые течениями. При высоких скоростях ветра больше 9 м/с пленки, образуемые нефтесодержащими продуктами, перестают быть видны.

Для получения данных о скорости ветра была выбрана коллекция данных

Global Forecast System (GFS). Это прогнозная модель погоды, создаваемая Национальными Центрами по прогнозированию окружающей среды (NCEP) в среде GEE доступна начиная с июля 2015 года и постоянно обновляется. Данные модели GFS доступны в виде пространственно распределенных данных прогноза. Прогнозные данные доступны на 384 часа вперед, с шагом прогноза в 1 час для данных до 120 часов и 3 часа после 120 часов, создаются с 6-ти часовым временным разрешением (частота обновления 4 раза в сутки) (Saha S. and Coauthors, 2010).

#### Коллекция снимков Sentinel-1



**Рис.1.** Методологическая схема обработки радиолокационных изображений для выявления нефтяных разливов

Данные о концентрации хлорофилла. Для определения концентрации хлорофилла была выбрана коллекция «JAXA/GCOM-C/L3/OCEAN/CHLA/V3», созданная по данным японского метеорологического спутника GCOM-C1, запущенного в 2017 году. Это продукт показывает концентрацию фотосинтетического

пигмента (хлорофилл-а) в фитопланктоне на морской поверхности (Murakami H., 2020).

Территория исследования. Каспийское море является крупнейшим внутренним водоемом в мире. Оно омывает берега пяти стран: Казахстана, Туркменистана, Ирана, Азербайджана и России. В самой акватории и прилегающих к ней территориях уже в течении

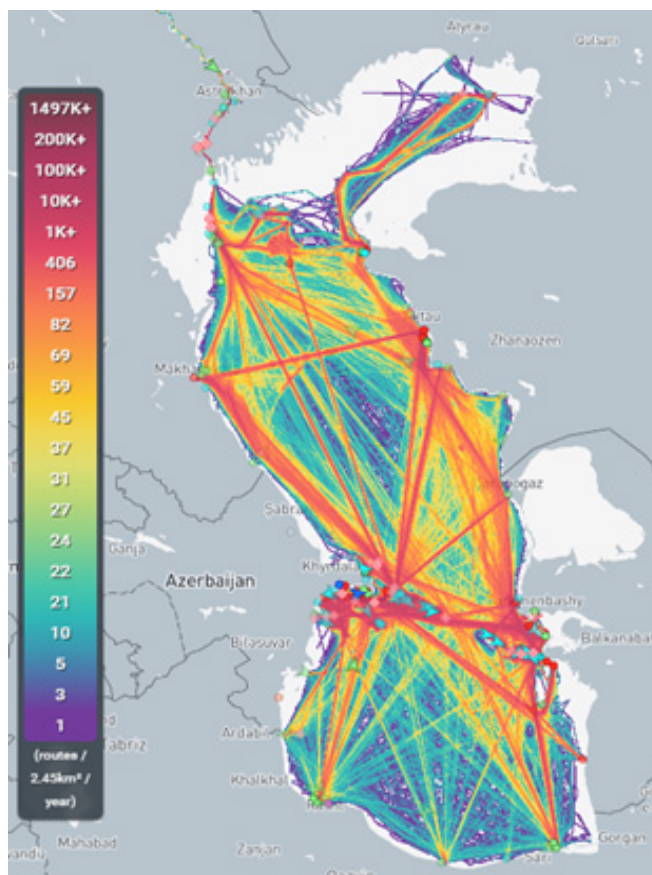
многих лет идет активная нефтедобыча. Географическое расположение Каспийского моря позволило ему также стать активным транспортным узлом, по которому проходят множество транснациональных маршрутов, интенсивность которых увеличивается год от года. На рисунке 2 приведена карта иллюстрирующая интенсивность судоходства в Каспийском море по данным Marinetraffic.

По оценкам экспертов запасы Каспийского моря оцениваются в 100 млн. баррелей нефти (Hamoun J. et al., 2018). Ежедневная нефтедобыча и транспортировка нефти, активная навигация кораблей, множество крупных городов и промышленных объектов, расположенных вдоль побережья, создают неизбежному загрязнению нефтепродуктами (Тайжанова Л., 2023).

Помимо техногенных источников загрязнения в акватории также наблюдаются естественные выбросы нефти в виде грифонов, наблюдаемые в различных частях водоема. Стоит также отдельно упомянуть район “Нефтяные камни”, находящийся в территориальных водах Азербайджана. Это

очень сложный регион. с точки зрения экологической обстановки, в котором практически всегда можно встретить проявления нефтеразливов (Mityagina M. I., 2019).

Тематическая обработка радиолокационных снимков. К настоящему времени создано много различных методик по выделению нефтяных разливов по радиолокационным данным в том числе применительно и к акватории Каспийского моря (Закарин Э.А. и др., 2016; Holstein A. et al., 2018; Barzegar F. et al., 2023). Условно задача мониторинга нефтяных разливов сводится к решению двух основных задач это выделение темных объектов на водной поверхности и последующее отделение нефтяных разливов от других проявлений. По прежнему широко распространены системы мониторинга основанные на экспертном анализе снимков и всех сопутствующих данных (Лаврова О.Ю. и др., 2019), (Solberg A. et al., 1999) в своей работе предложили статистические методы выделения нефтяных разливов тогда как (Del Frate et al., 2000; Topouzelis, K., 2007) использовал анализ на основе нейронных сетей.



**Рис.2.** Интенсивность судоходства в Черном море по данным Marinetraffic (<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:32.6/centery:44.3/zoom:6>)

Также можно отметить ряд работ с применением сетей глубокого обучения. (Yi-Jie Yang and etc., 2022) в своем исследовании разработали детектор нефтяных разливов на основе глубокого обучения с использованием алгоритма обнаружения объектов YOLOv4. (Barzegar F. et al., 2023) в своей работе использовали сеть глубокого обучения (DenseNet), по их данным ее точность превосходит стандартный алгоритм сверточной нейронной сети (CNN).

Как уже отмечалось выше, к настоящему моменту существует множество подходов для выявления нефтяных разливов по радиолокационным данным. Всех их можно разделить на три основные группы:

1) Методика, основанная на экспертном анализе космоснимка и интерактивному выделению нефтяного разлива, где эксперт, основываясь на субъективных суждениях и дополнительных данных включающих метеорологические, картографические, батиметрические проводит ручную оцифровку данных.

2) Полуавтоматические методы, в которых присутствует различная степень автоматизации, где на последнем этапе всегда эксперт проводит оценку качества полученных результатов дешифрирования.

3) Автоматические методы, представляют собой различные программные решения, в рамках которых без участия экспертов выполняется полный цикл обработки от получения исходных данных до готового продукта.

Несмотря на широкое распространение, в последние годы, методов машинного обучения при дешифрировании космических изображений, которые дают весьма неплохие результаты. При выделении нефтяных разливов по-прежнему достаточно распространены методики, использующие экспертную оценку и полуавтоматические методы, где по-прежнему последнее слово всегда остается за оператором.

В общем виде процедуру тематической обработки радиолокационных данных можно разделить на два этапа: - выделение всех зон “выглаживания” на водной поверхности; - анализ полученных результатов классификации по пространственным признакам.

Конечной целью первого этапа является выделение зон “выглаживания” на радиолокационном изображении. Для этого

сначала проводится предобработка, которая заключается в калибровке и ортотрансформировании исходных данных. В данном случае так как все снимки Sentinel-1 доступные через среду GEE уже приведены к нужному формату данных, то процесс обработки начинается со следующего шага. Это процедура фильтрации, для уменьшения выбросов, обусловленных постоянным присутствием спекл-шумов на радиолокационных снимках.

После процедуры фильтрации осуществляется увеличение контрастности изображения, для этого применяется GLCM (GreyLevel Co-occurrence Matrix – матрица совпадений градаций серого). В результате применения данного алгоритма рассчитываются текстурные признаки изображения, благодаря которым возрастает контрастность границы слик-вода и увеличивается однородность снимка.

Пороговая классификация является одним из наиболее эффективных и не затратным с точки зрения вычислительных ресурсов методом классификации изображений. Для нахождения оптимального порога разделения на классы вода и зоны выглаживания применяется Otsu метод (Otsu N., 1979). Этот метод основан на анализе гистограммы при котором межклассовая дисперсия между двумя классами максимизируется. Для более точной оценки порога слик-вода гистограмма рассчитывается только для водной поверхности. Для этого в среде GEE создается маска воды, основанная на присутствующем датасете Land Cover полученному по данным Sentinel-2 за 2021 год с пространственным разрешением 10 м. Предпочтительность использования этих данных заключается в том что на нем отражается современное состояние границ Каспийского моря.

Полученное бинарное изображение со значениями 0 и 1 проходит этап пост классификационной обработки с применением методов генерализации изображения, благодаря которым происходит удаление слишком мелких объектов, а также заполнение “пустот”.

На следующем этапе анализа полученных результатов классификации по пространственным признакам проводится разметка и параметризация изображения для получения объектов, которые с большей вероятностью относятся к классу нефтяные разливы.

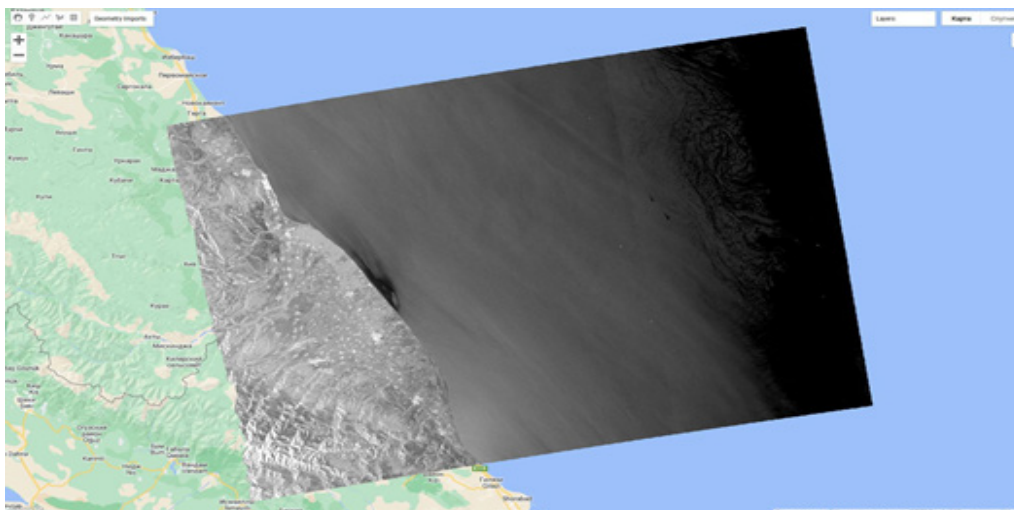
Для каждой связанной области определяется набор параметров: площадь, периметр, округлость и эксцентриситет для оценки формы. Дополнительно на этом этапе также привлекаются данные по скорости ветра и концентрации хлорофилла.

Одним из основных параметров при отнесении выделенных зон “выглаживаний” к классу нефтяные разливы, является их геометрическая форма. Помимо этого, наблюдается целый ряд словообразующих явлений на поверхности радиолокационного изображения (зоны апвеллинга, внутренние волны, зоны ветровой тени, штилевые зоны, дождевые ячейки и т.д.).

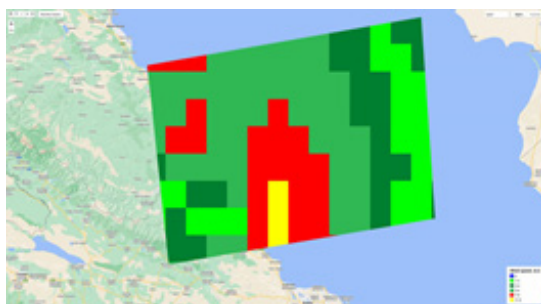
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ полученных объемов данных снимков Sentinel-1 на территорию Каспийского моря показал, что только за период с марта по октябрь, текущего 2023 года было отснято 2017 сцен. Часть из них была проанализирована в рамках отработки методики выделения нефте-разливов что позволило выявить порядка 60-ти нефтяных сликов. Из-них 25 случаев было зафиксировано в районе города Махачкала. На рисунке 3 показан снимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года, с автоматически подобранными ближайшими по времени его пролета и дате данными о скорости ветра и концентрации хлорофилла.

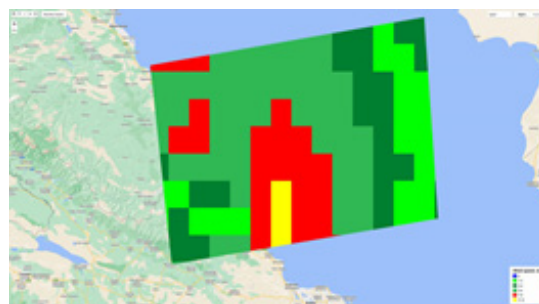
а)



б)



в)



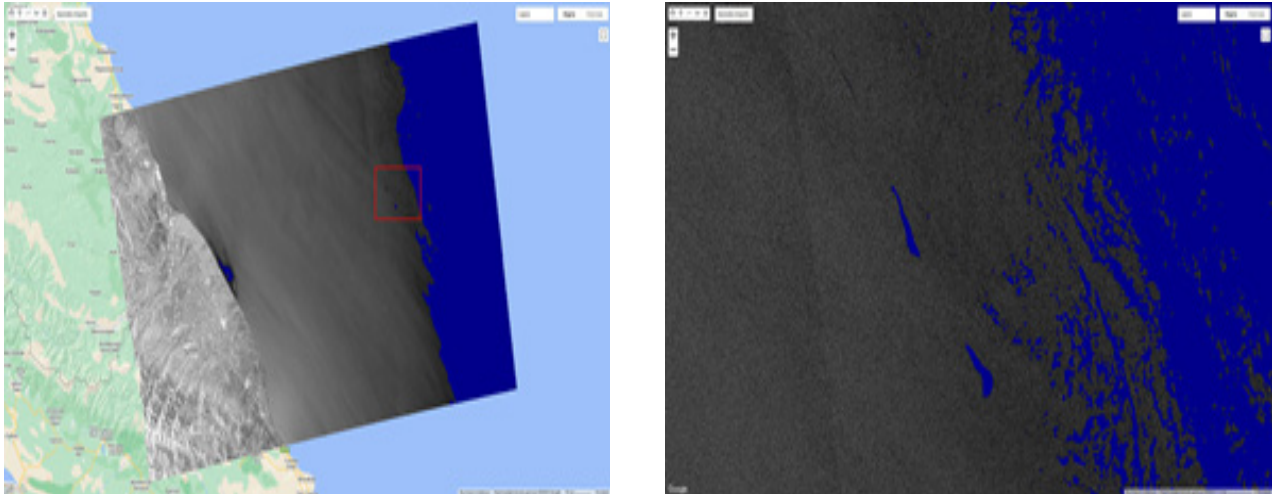
**Рис. 3.** Космоснимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года

а - космоснимок поляризация VV, б - поле скорости ветра, в - концентрация хлорофилла

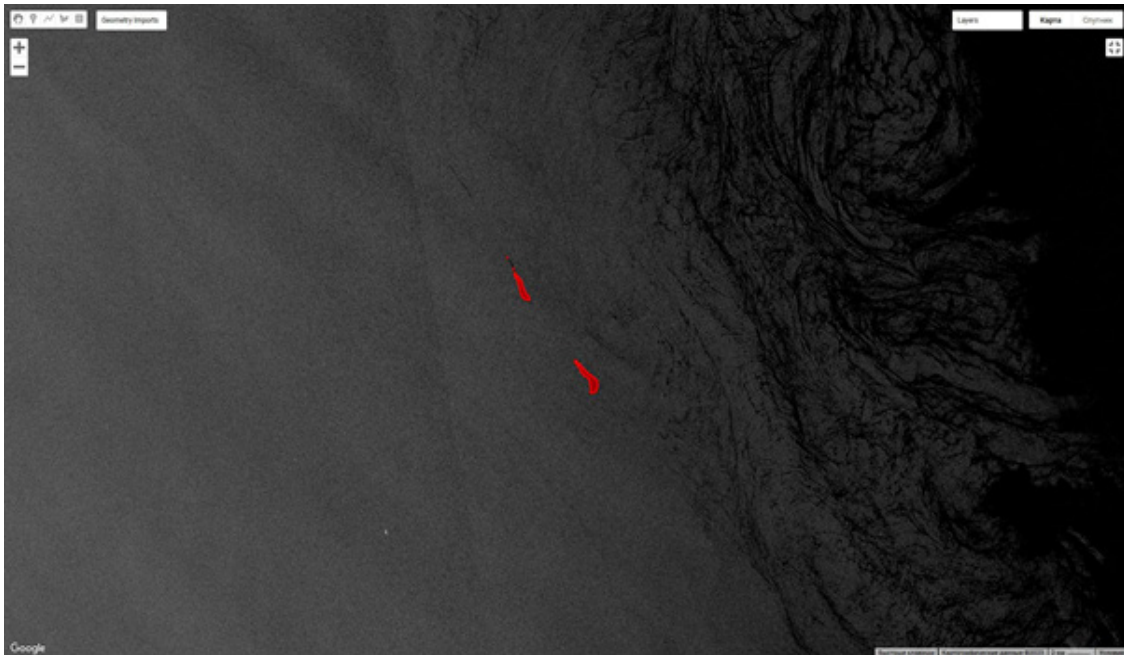
Анализ результатов автоматического выделения зон “выглаживаний” по радиолокационным данным с использованием методов пороговой классификации показал хорошую разделяемость водной поверхности на два класса. На рисунке 4 показан пример работы этого алгоритма.

На следующем этапе анализа полученных результатов классификации по простран-

ственным признакам проводится переопределение полученного класса для получения объектов, которые с большей вероятностью относятся к классу нефтяные разливы. На рисунке 5 представлен результат анализа снимка Sentinel-1A за 9 августа 2023 года с выделенными на нем нефтяными разливами.



**Рис. 4.** Результат автоматического выделения зон “выглаживаний” на космоснимке Sentinel-1A за 9 августа 2023 года



**Рис. 5.** Космоснимок Sentinel-1A за 9 августа 2023 года с выделенными на нем нефтяными разливами

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе описываются методы обработки данных при мониторинге нефтяных разливов на основе снимков Sentinel 1 с использованием возможностей облачных вычислительных ресурсов GEE. Применение данной технологии показало эффективность данного подхода по сравнению с локальными вычислениями. Этот подход позволяет обрабатывать гораздо больший объем данных без использования локальных вычислительных ресурсов и дискового пространства для хранения исход-

ных данных и промежуточных продуктов, а получать уже готовые результаты обработки в виде готовых векторов и растровых изображений снимков для визуализации, отображения и дальнейшего результатов мониторинга.

*Работа выполнена в рамках научного проекта AP14872458 «Разработка методики автоматизированного космического мониторинга нефтяных разливов на основе нейросетевых технологий» при финансовой поддержке «КН МОН РК».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закарин Э.А., Балакай Л.А., Бостанбеков К.А., Дедова Т.В., Ким Д.К., Кобегенова С.С., Миркаримова Б.М., Нурсейтов Д.Б. Моделирование экологических рисков при нефтяном загрязнении акватории Северо-восточного Каспия: монография. - Алматы, 2016. – 256 с.
2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Уваров И.А., Лупян Е.А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т.16. – №3. – С.266-287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Тайжанова Л. Влияние нефтесодержащих производственных сточных вод на прибрежные воды Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. – 2023. – N.1. – P.27–35. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-27-35>.
4. Alpers W., Espedal H.A. Oils and Surfactants. – 2004. – Ch. 11.
5. Barzegar F., Seyd, S. T., Farzaneh S., Sharifi M. A. Oil spill detection in the Caspian sea with a SAR image using a DENSENET model // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2023. – V.X-4/W1-2022. – P.95–100. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-95-2023>.
6. DelFrate F., Petrocchi A., Lichtenegger J., Calabresi G. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2000. – V.5. – P.2282–2287.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ. – 2017. – V. 202. – P.18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.06.031>.
8. Hamoun J., Mehran P., Mohammad R., Golriz E.S. An Overview of Oil Pollution in the Caspian Sea // Journal of Environmental Research and Technology. – 2018. – V.3. – N.2. – P.33-39.
9. Holstein A., Kappas M., Propastin P. et al. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data // Environ Earth Sci. – 2018. – V.77. – N.198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
10. Mityagina M. I., Lavrova O. Y., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian sea surface oil pollution revealed by satellite data // Ecologica Montenegrina. – 2019. – V. 25. – P.91–105. DOI: 10.37828/em.2019.25.9
11. Murakami H. ATBD of GCOM-C chlorophyll-a concentration algorithm. – 2020. [https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM\\_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD\\_O3AB\\_Ch1a\\_Murakami.pdf](https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Ch1a_Murakami.pdf)
12. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. // IEEE Trans Syst Man Cyber. – 1979. – V.SMC-9. – N.1. – P.62–66. DOI: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>.
13. Saha S., Moorthi S., Pan H., Wu X. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2010. – V.91. – N.8. – P.1015–1058. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
14. Solberg A., Storvik G., Solberg R., Volden E. Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 1999. – V.37. – P.1916–1924.
15. Topouzelis K., Karathanassi, V., Pavlakis P., Rokos D. Detection and discrimination between oil spills and look-alike phenomena through neural networks // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2007. – V.62. – P.264–270.
16. Yi-Jie Yang, Singha S., Mayerle R. A deep learning based oil spill detector using Sentinel-1 SAR imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2022. – V.43:11. – P.4287–4314. DOI: 10.1080/01431161.2022.2109445.

## REFERENCES

1. Zakarin E.A., Balakai L.A., Bostanbekov K.A., Dedova T.V., Kim D.K., Kobegenova S.S., Mirkarimova B.M., Nurseitov D.B. Modelirovanie ekologicheskikh riskov pri neftyanom zagryaznenii akvatorii Severovostochnogo Kaspiya: monografiya. - Almaty, 2016. – 256 s.
2. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Uvarov I.A., Lupyan E.A. Tekushchie vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informatsionnoi sistemy See the Sea dlya izucheniya i monitoringa yavlenii i protsessov na morskoi poverkhnosti // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2019. – T.16. – №3. – P.266-287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Taizhanova L. Vliyanie neftesoderzhashchikh proizvodstvennykh stochnykh vod na pribrezhnye vody Kaspiiskogo morya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – N.1. – P.27–35. DOI: <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-27-35>.
4. Alpers W., Espedal H.A. Oils and Surfactants. – 2004. – Ch. 11.
5. Barzegar F., Seyd, S. T., Farzaneh S., Sharifi M. A. Oil spill detection in the Caspian Sea with a SAR image using a DENSENET model // ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2023. – V.X-4/W1-2022. – P.95–100. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-95-2023>.
6. DelFrate F., Petrocchi A., Lichtenegger J., Calabresi G. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2000. – V.5. – P.2282–2287.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ. – 2017. – V. 202. – P.18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.06.031>.
8. Hamoun J., Mehran P., Mohammad R., Golriz E.S. An Overview of Oil Pollution in the Caspian Sea // Journal of Environmental Research and Technology. – 2018. – V.3. – N.2. – P.33-39.
9. Holstein A., Kappas M., Propastin P. et al. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data // Environ Earth Sci. – 2018. – V.77. – N.198. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
10. Mityagina M. I., Lavrova O. Y., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian sea surface oil pollution revealed by satellite data // Ecologica Montenegrina. – 2019. – V. 25. – P.91–105. DOI: 10.37828/em.2019.25.9
11. Murakami H. ATBD of GCOM-C chlorophyll-a concentration algorithm. – 2020. [https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM\\_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD\\_O3AB\\_Ch1a\\_Murakami.pdf](https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Ch1a_Murakami.pdf)



- from gray-level histograms. // IEEE Trans Syst Man Cyber. – 1997. – V.SMC-9. – N.1. – P.62–66. DOI: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>.
13. Saha S., Moorthi S., Pan H., Wu X. et al. The NCEP ClimateForecastSystemReanalysis//BulletinoftheAmerican Meteorological Society. – 2010. – V.91. – N.8. – P.1015-1058. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
14. Solberg A., Storvik G., Solberg R., Volden E. Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images//IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. - 1999. - V.37. - P.1916-1924.
15. Topouzelis K., Karathanassi, V., Pavlakis P., Rokos D. Detection and discrimination between oil spills and look-alike phenomena through neural networks // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2007. – V.62. – P.264-270.
16. Yi-Jie Yang, Singha S., Mayerle R. A deep learning based oil spill detector using Sentinel-1 SAR imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2022. – V.43:11. – P.4287-4314. DOI: 10.1080/01431161.2022.2109445.

## PROCESSING SENTINEL-1 SAR DATA FOR DETECTING OIL SPILLS IN THE CASPIAN SEA USING GOOGLE EARTH ENGINE

G.N. Sagatdinova<sup>1\*</sup>, D.B. Nurseitov<sup>2</sup>cand. phys. math. sci.

<sup>1</sup>Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>KMG Engineering, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [gulshatn@rambler.ru](mailto:gulshatn@rambler.ru)

Hydrocarbon pollution of the water surface is one of the most important environmental problems in the Caspian Sea. There are ongoing developments in the identification of contamination pollution using remote sensing data for environmental situations. In recent years, there has been a significant increase in satellite data and, consequently, an opportunity to increase the frequency of observations. The ability to handle increased amounts of data can be achieved through cloud-based processing. The purpose of this work was to update oil spill monitoring technology by utilizing advanced computing resources based on the Google Earth Engine (GEE) platform and radar satellite images Sentinel-1. An oil spill detection technology was developed by the study using only data archives available in the GEE environment.

**Key words:** oil spills, SAR image, Google Earth Engine, monitoring

## КАСПИЙ ТЕҢІЗІ АКВАТОРИЯСЫНДАҒЫ МҰНАЙДЫҢ ТӨГІЛУЛЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН SENTINEL-1 СПУТНИГІНІҢ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН GEE ОРТАСЫНДА ӨНДЕУ

Г.Н. Сагатдинова<sup>1\*</sup>, Д.Б. Нурсейтов<sup>2</sup> ф.-м.ғ.к.

<sup>1</sup>ТОО “Ионосфера институты”, Алматы Қазақстан

<sup>2</sup>КМГ Инжиниринг, Алматы, Қазақстан

E-mail: [gulshatn@rambler.ru](mailto:gulshatn@rambler.ru)

Мұнайдың су бетіндегі ластануы Каспий теңізі акваториясының маңызды экологиялық мәселердің бірі болып табылады. Өңірдегі экологиялық жағдайды тұрақты бақылау үшін Жерді қашықтықтан зондтау (ЖКЗ) деректері негізінде мұнай ластануын анықтау әдістемесі әзірленуде. Соңғы жылдары спутниктік деректердің айтарлықтай өсуі байқалды және сәйкесінше бақылау жиілігін арттыру мүмкіндігі пайда болды. Бұл негізделген өңдеу әдістерін қолдану деректердің өскен көлемін өндеуге мүмкіндік береді. Бұл жұмыстың мақсаты Google Earth Engine (GEE) платформа-сы және Sentinel-1 радиолокациялық спутниктік түсірілімдері негізінде заманауи есептеу ресурстарын пайдалана отырып, Каспий теңізі акваториясының мысалында мұнай төгілулерін бақылау технологиясын бейімдеу және жаңғырту болып келеді.

**Түйін сөздер:** мұнайдың төгілуі, радиолокациялық түсірілім, Google Earth Engine, бақылау

**Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:**

**Сагатдинова Гульшат Наилевна** – СНС, ТОО “Институт ионосферы”, Республика Казахстан, г. Алматы, Каменское плато, Садоводческое товарищество «Ионосфера» д.117, e-mail: gulshatn@rambler.ru

**Нурсеитов Данияр Борисович** - к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, Эксперт (дисциплинарный) ТОО «КМГ Инжиниринг», Республика Казахстан, г. Астана, ул. Кунаева, дом 8, блок «Б», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

**Сагатдинова Гульшат Наилевна** – АҒҚ, “Ионосфера институты” ЖШС, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Ионосфера бағбандық серіктестігі 117 мекеме, e-mail: gulshatn@rambler.ru

**Нурсеитов Данияр Борисович** - ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Сарапшы (тәртіптік) «КМГ Инжиниринг» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қонаев көш., 8 үй, блок «Б», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

**Sagatdinova Gulshat** – SS, LLP “Institute of Ionosphere”, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kamenskoye Plateau, Gardening Association «Ionosphere» 117, e-mail: gulshatn@rambler.ru

**Nurseitov Daniyar** - cand. phys. math. sci., Associate Professor, Expert (disciplinary) LLP «KMG Engineering», Republic of Kazakhstan, Astana, Kunaeva str., building 8, block «B», e-mail: d.nurseitov@kmge.kz

**Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution**

**Сагатдинова Гульшат Наилевна** – Разработка концепции, разработка методологии, создание программного обеспечения, проведение статистического анализа, проведения исследования, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Нурсеитов Данияр Борисович** – Разработка концепции, подготовка и редактирование текста, визуализация

**Сагатдинова Гульшат Наилевна** – Тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Нурсеитов Данияр Борисович** – Тұжырымдаманы әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

**Sagatdinova Gulshat** – Concept development, methodology development, creating software, conducting statistical analysis, conducting a research, resources, preparing and editing the text, visualization

**Nurseitov Daniyar** - Concept development, preparing and editing the text, visualization