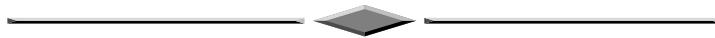


ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.7:502.55

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64

ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК (НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ НЕФТЯНЫХ КАМНЕЙ (КАСПИЙ))

Аловсат Шура-оглы Гулиев

Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики (SOCAR), AZ1000, Азербайджан, г. Баку, пр. Гейдара Алиева 121, старший геодезист, тел. (99450)492-93-18, e-mail: alov_soc@yahoo.com

Татьяна Александровна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, Плехановского, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

В статье рассматриваются методы дистанционного зондирования Земли, используемые для обнаружения и картирования разливов нефти. Исследования направлены на решение задач аэрокосмического мониторинга мест нефтегазразработок и нефтяных загрязнений в шельфовых акваториях в интересах Республики Азербайджан.

Для выявления мест нефтезагрязнений шельфовой зоны (на примере акватории Нефтяных Камней (Каспий)) использованы многозональные космические снимки района месторождения, полученные со спутника Sentinel 2A-MSI-MultiRes-UTM39N 05-06-2017 7:26:21, и радиолокационные снимки со спутника Sentinel 1A-IW 05-06-2017 17:08:46 Европейского космического агентства (ЕСА) в рамках проекта, направленного на создание автономной многоуровневой системы наблюдения за экологической обстановкой на Земле, а также дополнительные данные на исследуемый район. В процессе обработки данных выполнена автоматическая классификация основных видов техногенных воздействий морских технических сооружений на морскую среду с использованием метода главных компонент и его модификации. Для исследований использовались системы анализа данных дистанционного зондирования Земли ERDAS Imagine 6.7 и SNAP Desktop (Sentinel Application Platform ver. 6.0). Результаты выполненных исследований подтвердили возможность и эффективность использования совместной обработки многозональных и радиолокационных изображений одной и той же территории с использованием дополнительных данных для обнаружения разливов нефти.

Ключевые слова: слияние изображений, многозональные космические снимки, радиолокационные снимки, классификация изображений, дистанционное зондирование, мониторинг нефтяных загрязнений, цифровые фотограмметрические системы.

Введение

На акватории Каспия и его берегах находятся многочисленные бытовые, транспортные и сельскохозяйственные объекты, где могут неоднократно происходить аварийные ситуации, при которых в море выбрасываются загрязняющие вещества. После того, как была начата разведка и освоение нефтегазоносных месторождений, количество случаев загрязнения моря резко возросло [1–5]. Поэтому актуальным и важным является выявление мест нефтезагрязнений шельфовой зоны, поскольку своевременное их обнаружение позволяет принять адекватные меры по их устранению и свести к минимуму наносимый ущерб.

В современных системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получение данных об объектах наблюдения осуществляется как с помощью радиолокационных, так и оптико-электронных съемочных систем. Одним из направлений повышения эффективности методов обнаружения малоконтрастных объектов по радиолокационным данным может стать их совместное использование с данными других съемочных систем [6]. Это увеличивает достоверность обнаружения, распознавания и классификации на основе выбора вектора информативных и устойчивых признаков. Применение оптических и радиолокационных изображений земной поверхности для целей дешифрирования позволяет дополнить их другими видами данных, способными повысить эффективность этапов тематической обработки, кластеризации и обнаружения объектов.

Для контроля скорости и направления распространения разлива нефти важно знать его пространственное положение. Распространение нефти на суше зависит от типа почвы и содержания в ней влаги, а также химического состава нефти [7]. На распространение нефти в морской среде влияют такие факторы как ветер и приливы, которые могут ускорить распространение разливов. Иногда критические ситуации, связанные с разливом нефти, требуют немедленного реагирования.

Однако спутниковые изображения с необходимыми параметрами (пространственное разрешение, дата съемки) не всегда доступны по следующим причинам [8]:

- время повторного посещения спутниками зоны исследований;
- высокая цена космических снимков с высоким пространственным разрешением;
- низкое пространственное разрешение изображений, доступных бесплатно.

Цель исследования, постановка задачи

В настоящее время в области автоматического анализа данных, полученных многозональными съемочными системами, проводятся обширные исследования [9–13], однако вопросы, касающиеся использования дополнительных материалов, представленных в различном виде, формате, с различными деталями проведения исследований (временем), в достаточной мере не разработаны [14, 15].

Учитывая всю сложность проблемы обработки данных дистанционного зондирования при решении задач мониторинга нефтегазовых комплексов, в настоящей статье выделены лишь основные этапы обработки данных.

В связи с вышесказанным, для определения площадей и распространения разливов нефти в дополнение к имеющимся информационным ресурсам ДЗЗ, предложено использовать и другие данные, что позволит расширить возможности обработки материалов ДЗЗ нефтепроявлений на морской поверхности.

Это связано с тем, что, с одной стороны, существуют определенные ограничения в обнаружении разливов нефти на морской поверхности, которые контрастируют с яркостью окружающего моря без наличия разливов.

С другой стороны, стали доступными данные высокого разрешения с Sentinel-2A и Sentinel-2B (с июня 2015 г. и марта 2017 г. соответственно). Однако вопросы эффективности их использования в обнаружении разливов нефти практически не отражены в литературе.

Исследования, выполненные ранее, показали, что интеграция многозональных снимков и радиолокационных изображений с синтезированной апертурой (РСА) может существенно повысить точность классификации изображений и уменьшить неопределенность при дешифрировании из-за окружающего света, например, в шельфовых местах, солнечный блеск на поверхности воды и сияющий эффект, а также малость глубины [16–18].

Цель исследований состояла в оценке возможности и эффективности решения задачи выявления мест нефтезагрязнений средствами совместной обработки многозональных и радиолокационных изображений одной и той же территории с использованием дополнительных данных в случаях, когда «нефтяное пятно» при задании полного набора дополнительной информации не соответствует ни одной из комбинаций классификационных признаков нефтепроявлений.

Методы и материалы

В процессе экспериментальных работ выполнена совместная обработка многозональных и радиолокационных изображений одной территории, основанная на методе главных компонент и его модификации, для выявления мест нефтезагрязнений шельфовой зоны (на примере акватории Нефтяных Камней). Протяженность исследуемой территории с запада на восток – 52,08 км, с севера на юг – 45,2 км, площадь 2 354 кв. км. Географические координаты 40°26'N, 50°30'E – 40°01'N, 51°07'E.

Многозональные космические снимки района месторождения получены со спутника Sentinel 2A-MSI-MultiRes-UTM39N 5 июня 2017 г. 7:26:21 (пространственное разрешение 10 м), радиолокационные (рис. 1) – со спутника Sentinel 1A-IW 5 июня 2017 г. 17:08:46 (пространственное разрешение 20 м) Европейского космического агентства (ЕСА) в рамках проекта, направленного на создание автономной многоуровневой системы наблюдения за экологической обстановкой на Земле.

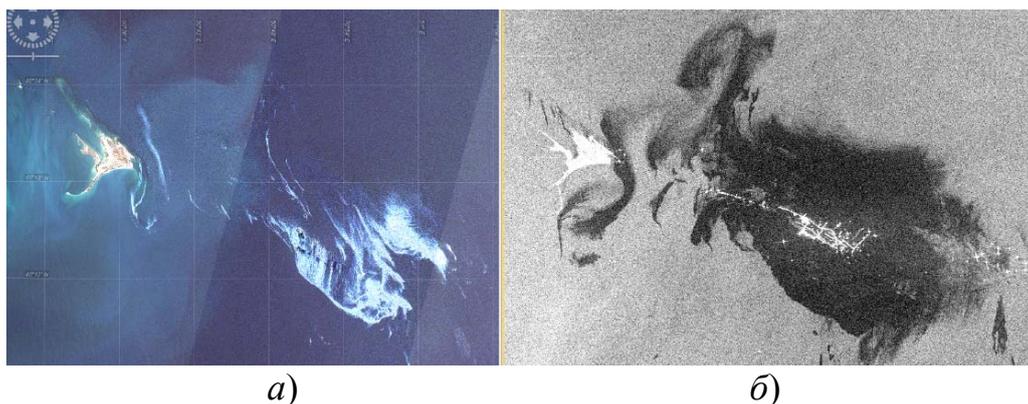


Рис. 1. Изображения шельфовой зоны акватории Нефтяных Камней:
 а) изображение Sentinel 2A-MSI-MultiRes-UTM39N 05-06-2017 7:26:21;
 б) изображение Sentinel 1A IW 05-06-2017 17:08:46

Для обработки снимков использовались системы анализа данных дистанционного зондирования Земли ERDAS Imagine 6.7 и SNAP Desktop (Sentinel Application Platform ver. 6.0), предназначенные для автоматизированного комплексного дешифрирования радиолокационных и многоспектральных космических снимков. Космические снимки являлись основными исходными данными для выявления загрязнений шельфовой зоны акватории Нефтяных Камней Каспийского моря вследствие нефтяных разработок. В качестве дополнительных данных использовались аналоговые морские топографические и цифровые сейсмические карты и другие данные визуального наблюдения на район исследования.

В ходе исследования предложен один из вариантов представления информации в наиболее подходящем виде для ее детального анализа. Для автоматизации процесса обработки аналоговые изображения карт были преобразованы в цифровые файлы соответствующего формата. Таким образом, исходные изображения представляли собой пространственно распределенную картину изображений $P^i(x, y)$ (рис. 2).

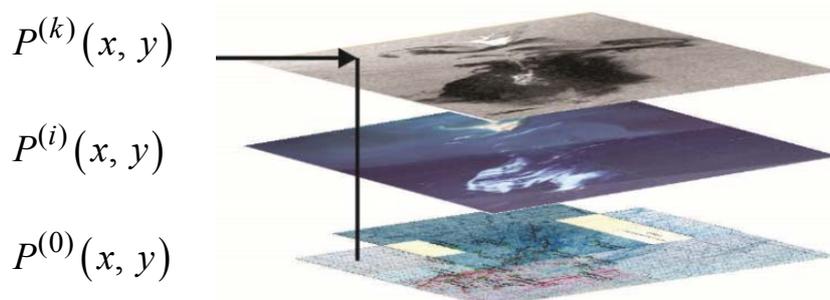


Рис. 2. Пространственно распределенная картина изображений

Для определения участков нефтезагрязнений в целях дистанционной диагностики мест шельфовой зоны предлагается обработка исходных и «дополнительных» изображений.

Для исследований использован модуль Tasseled Cap программного комплекса ERDASImagine [19].

Концепция алгоритма модуля Tasseled Cap включает в себя идентификацию существующих структур данных для конкретного датчика (т. е. набора объектов, формирующих сцену), изменение перспективы просмотра (т. е. линейное преобразование исходного многоспектрального изображения методом главных компонент в пространстве, базис которого определяется съемочной системой и набором типовых объектов) таким образом, чтобы эти структуры данных можно было просматривать непосредственно с измененным направлением осей x , y и z (новые оси x , y и z на примере куба) [20].

Математическое обоснование модуля Tasseled Cap – модификация алгоритма метода главных компонент. Сущность метода заключается в том, что в результате обработки определяются устойчивые значения коэффициентов, преобразующие пространство измерений (яркости пикселей) в пространство признаков (чистая морская вода, темные пятна). Класс «темные пятна» включает в себя два подкласса, а именно – «вероятные нефтяные пятна» и «вероятные похожие» сликообразующие явления. Коэффициенты преобразования связаны с основными характеристиками объектов, что определяет эффективность преобразования.

В работе различные данные представляются в едином формате – в виде цифровых изображений. Учитывая, что изображения, используемые для дешифрирования, пространственно распределены по спектральным признакам, такое представление оказывается удобным и эффективным. Если сформировать «цифровые изображения» для каждого вида объектов (вода, нефть), то для их анализа можно использовать инструментарий, разработанный для обработки цифровых изображений, в частности, методики анализа многоспектральных данных.

Для представления данных в виде изображения нужно решить две задачи:

- определить геометрическую структуру изображения – размер элемента цифрового изображения, его пространственное положение, задать проекцию и пр.;
- выбрать шкалу для представления численных значений «яркостей» элементов.

Если первая задача решается достаточно строго, то вторая решается неоднозначно и основывается на некоторых эвристических предположениях о свойствах объекта.

Особенность радиолокационных снимков, полученных радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА), в отличие от оптических, заключается в отображении даже слабо различимых деталей. Наличие на радиолокационных изображениях дополнительной информации о цвете позволяет улучшить их дешифровочные свойства.

Предположим, что имеется k изображений $P_i(x, y)$ исследуемой территории, причем некоторые из них могут быть многозональными, т. е. содержать n измерений:

$$P_i^n(x, y) = \{P_j^{(1)}(x, y), P_j^{(2)}(x, y), \dots, P_j^{(n)}(x, y)\}. \quad (1)$$

Изображения отличаются временем съемки $P_i(x, y, t)$, масштабом $P_i^n(x, y, t_i, m_i)$, получены в различных условиях и при различном положении съемочных камер $P_i(x, y, \bar{G}_i, \bar{\Phi}_i)$.

Здесь:

– \bar{G}_i – вектор параметров – элементов внешнего и внутреннего ориентирования снимков и параметра c , влияющего на яркость элемента исследуемого изображения, т. е. $\bar{G}_i\{X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \kappa, x_0, y_0, f, c\}$;

– $\bar{\Phi}_i$ – вектор факторов, влияющих на яркость элемента исследуемого изображения, т. е. $\bar{\Phi}_i\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i\}$.

Вектор \bar{G}_i характеризует геометрию построения изображения, а вектор $\bar{\Phi}_i$ – его информационные свойства (определяемые численным значением соответствующего элемента изображения).

Многоспектральное изображение ($n_1 \times n_2$), каждый элемент которого – k -мерный вектор измерений яркости элементарного участка поверхности в соответствующей зоне спектра, представляет собой матрицу

$$P_{n_1 n_2}(x, y) = \begin{pmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & X_{1,n_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{n_2,1} & X_{n_2,2} & X_{n_2 n_1} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\vec{X}_{ij} = \{d_{1ij}, d_{2ij}, \dots, d_{kij}\}^T$;

d_{kij} – яркость элемента i, j в диапазоне k [21].

Для многозональных изображений Sentinel 2A $P_i(x_i, y_i)$ для каждого элемента изображения i содержит 13 каналов. Для исследования нефтезагрязнений из 13 диапазонов спектра было выбрано три наиболее информативных канала $\{P^1(x, y), P^2(x, y), P^3(x, y)\}$ (K2(490 нм), K3(560 нм), K4(665 нм)), которые способствуют выделению слабоконтрастных участков поверхности моря.

Затем вектор измерений дополняется значениями «яркости» радиолокационного изображения Sentinel 1A. При условии, что эти значения несут дополни-

тельную информативность, получен качественно отличный от прежнего состояния (режима функционирования) вектор измерений, изменяющий всю структуру данных.

Добавление качественно нового измерения позволило перейти от совокупности данных с исходным распределением к данным с новым распределением соответствующей условной вероятности (рис. 3).

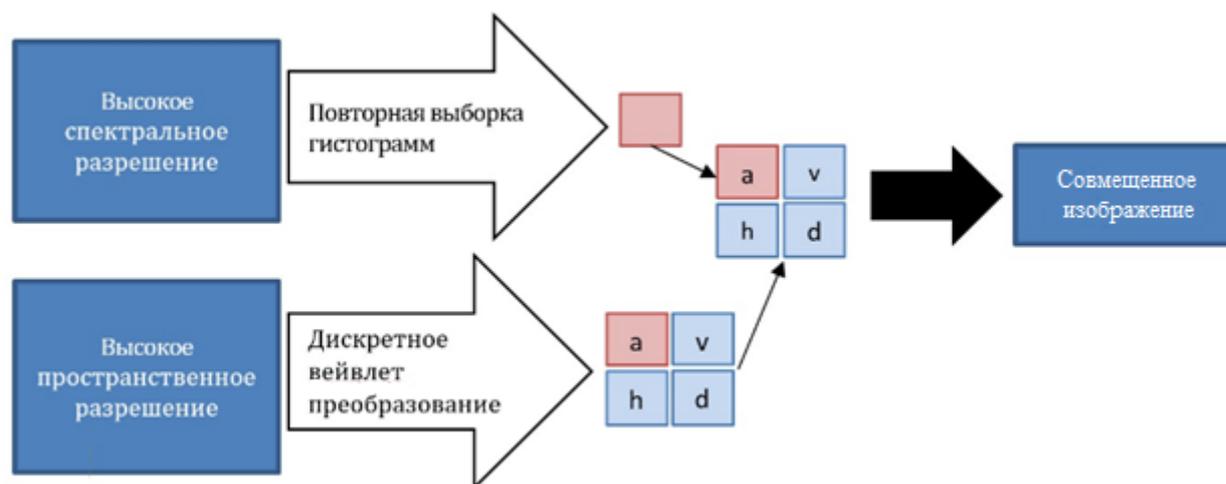


Рис. 3. Процесс получения многозонального совмещенного изображения

Оценка качества распознавания участков нефтезагрязнений выполнена на основе следующих показателей:

P_1 – количество правильно идентифицируемых объектов;

P_2 – количество неидентифицируемых объектов;

P_3 – количество неправильно идентифицируемых объектов.

При применении стандартной процедуры для ограниченной выборки по многозональным векторам измерений, основанной на методе главных компонент, показатели дешифрирования снимка Sentinel 2A (рис. 4, в) составили: $P_1 = 66\%$; $P_2 = 14\%$; $P_3 = 20\%$.

После преобразования данных с Sentinel 2A (рис. 4, а) и Sentinel 1A (рис. 4, б) получен многозональный снимок, который использовался для дальнейшей обработки (см. рис. 4, в, 5, а).

На следующем этапе к векторам измерений \bar{X} – яркостям многозонального слитого изображения (рис. 5, б) каждого из каналов – были добавлены дополнительные данные, характеризующие такие состояния поверхности, как нефтяное пятно и вода, полученные в результате визуальных наблюдений плановых координат точек в системе UTM39N средствами GPS-определений аварийных разливов нефти в зоне исследований. Дополнительные данные полевого обследования получены 5 июня 2017 г.

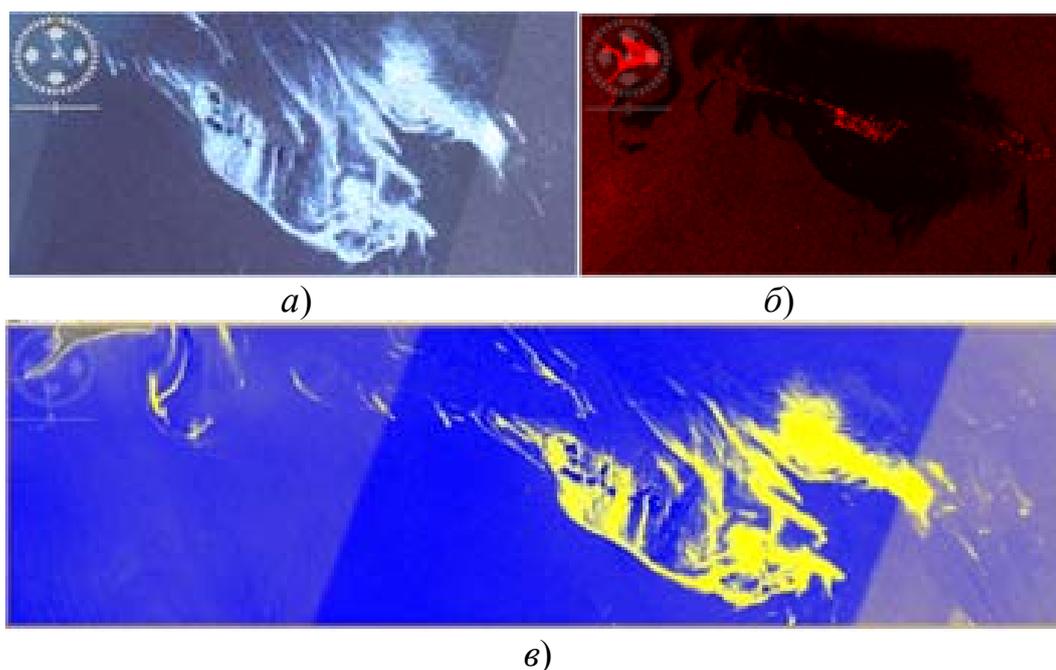


Рис. 4. Изображения, используемые для выявления нефтезагрязнений:
 а) изображение Sentinel 2A-MSI-MultiRes-UTM39N 05-06-2017 7:26:21;
 б) изображение Sentinel 1A IW 05-06-2017 17:08:46; в) многозональное совмещенное изображение с пространственным разрешением 10 м

Использование дополнительных данных позволило получить следующие показатели качества распознавания участков нефтезагрязнений: $P_1 = 75 \%$; $P_2 = 10 \%$; $P_3 = 15 \%$ (рис. 5, в).

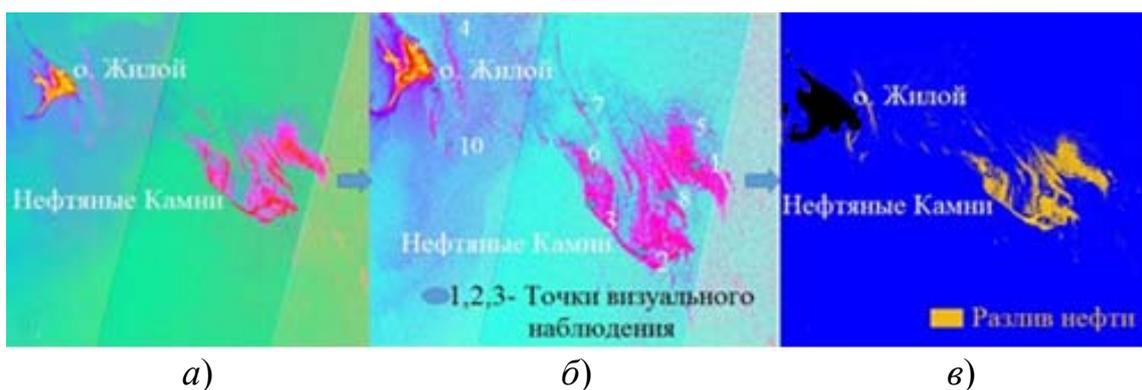


Рис. 5. Фрагмент результатов комплексного дешифрирования:
 а) многозональное совмещенное изображение с пространственным разрешением 10 м; б) многозональное совмещенное изображение с данными визуального наблюдения; в) фрагмент разлива нефти на дату 05-06-2017 7:26:21

Обсуждение

Комплексное использование многозональных и радиолокационных изображений позволяет устранить неоднородность и немоноктонность спектрального фона изображений, связанных с проявлениями морских процессов малой интенсивности, повысить эффективность работы известных алгоритмов при обнаружении пленок искусственного происхождения (нефтяных пятен) и получить хорошие результаты в случае естественных оттоков нефти. Современные и свободно доступные спутниковые изображения Sentinel 2A и Sentinel 1A, использованные в данном исследовании, благодаря высокому разрешению обеспечивают лучшие результаты, чем снимки Landsat [22].

Полученные результаты указывают на принципиальную возможность использования дополнительных данных, представленных в виде плановых координат точек водной поверхности, в области нефтяного пятна для повышения эффективности автоматизированной методики выявления участков нефтезагрязнений морской поверхности по космическим снимкам.

Заключение

Результаты выполненных исследований подтвердили возможность и эффективность использования совместной обработки многозональных и радиолокационных изображений одной и той же территории с использованием дополнительных данных для обнаружения разливов нефти.

В исследовании приведен анализ метода и алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования Земли на основе процедуры «слияния изображений», позволяющей синтезировать цветные изображения высокого разрешения путем объединения данных многозональных и радиолокационных изображений.

Предложенная методика обработки выбранных изображений позволила обнаружить участки разлива нефти за счет повышения разрешения синтезированного многозонального изображения и уменьшения искажений цветопередачи.

Далее планируется проводить исследования для ситуации преднамеренного или непреднамеренного сброса балластных вод в водную среду.

Представленные исследования проведены для цели определения естественного оттока сырой нефти, а также могут быть использованы для определения разлива органических веществ, попадающих в водную среду в результате добычи, переработки и их транспортировки.

Таким образом, результаты выполненных исследований могут быть использованы при обработке материалов космических съемок для поиска потенциально уязвимых районов шельфовой зоны Каспийского моря.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов А. Ю., Востоков С. В., Ермошкин И. С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // Исследование Земли из космоса. – 2004. – № 4. – С. 82–92.
2. Боев А. Г., Матвеев А. Я. Оценка количества разлитой нефти на акватории каспийского промысла «Нефтяные Камни» по данным многочастотного радиолокационного зондирования [Электронный ресурс] // Радиофизика и Радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, № 2. – С. 178–188. – Режим доступа : <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/103792>.
3. Гюль А. К. Проблема загрязнения Каспийского моря. – Баку : «Муаллимнешрийхаты», 2003 – С. 71.
4. Application GIS technology for studying of the fluctuations of Caspiansea level / A. Guliyev., S. R. Ibrahimova, R. R. Rustamov, K. K. Huseynov [Electronic resource] // Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS (Kemer/Antalya, August 13–16, 2003). – Turkey, 2003. – Pp. 257–259. – Mode of access: www.ins.itu.tr/rslucoat1.
5. Research of coastal zones with remote sensing and GIS [Electronic resource] / A. Guliyev, S. R. Ibrahimova, R. R. Rustamov, K. K. Huseynov // Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS (Kemer/Antalya, August 13–16, 2003). – Turkey, 2003. – Pp. 61–65. – Mode of access: www.ins.itu.tr/rslucoat.
6. Кирдяшкин В. В. Автоматическое совмещение радиолокационных и эталонных изображений земной поверхности : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 202 с.
7. Fingas M. The Basics of Oil Spill Cleanup [Electronic resource]. – USA: CRC Press LLC, 2001. – Pp. 175–190. – Mode of access: <https://epdf.tips/queue/the-basics-of-oil-spill-cleanup-second-edition.html>.
8. Partington K. An Assessment of Surface Surveillance Capabilities for Oil Spill Response using Satellite Remote Sensing // Provided for IPIECA and OGP, PIL-4000-35-TR-1.2. – Canada : Polar Imaging, Inc., 2014 г. – P. 63.
9. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами : учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Малинников, А. Ф. Стеценко, А. Е. Алтынов, С. М. Попов. – М. : Изд-во МИИГАиК, 2008. – 145 с.
10. Дейвис Ш. М., Ландгребе Д. А., Филлипс Т. Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход / под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. – пер. с англ. – М. : Недра, 1983. – 415 с.
11. Brown H. M., Bittner J. P., Goodman R. H. The Limits of Visibility of Spilled Oil Sheens // Proceedings of the Erim Conferences, Second Thematic International Airborne Remote sensing Conference and Exhibition (24–27 June 1996). – San Francisco, CA, USA, 1996. Vol. III. – P. 327.
12. Klemas V. Tracking Oil Slicks and Predicting their Trajectories Using Remote Sensors and Models: Case Studies of the Sea Princess and Deepwater Horizon Oil Spills [Electronic resource] // Journal of Coastal Research (JCR). – 2010. – Vol. 26, Issue 5. – Pp. 789–797. – Mode of access: <https://doi.org/10.2112/10A-00012.1>.
13. Замятин А. В. Методы интеллектуального анализа данных в региональных системах аэрокосмического мониторинга // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 74–86.
14. Brown C. E., Fingas M. F. New space-borne sensors for oil spill response [Electronic resource] // International Oil Spill Conference Proceedings. – Washington D.C., 2001. – Vol. 2001, No. 2. – Pp. 911–916. – Mode of access: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-911>.
15. Karathanassi V. Spectral Unmixing Evaluation for Oil Spill Characterization [Electronic resource] // Int. J. Remote Sens. Appl. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication>.
16. Oruc M., Marangoz A. M., Buyuksalih G. Comparison of pixel-based and object-oriented classification approaches using Landsat-7 ETM spactral bands [Electronic resource] : Thesis. – Turkey : Konguldak Karaelmas University, 2011. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/228457894>.

17. Maathuis G. Y., Vandijk Z. X. Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches – A case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 27 (18). – Pp. 4039–4055.
18. Brown C., Fingas M. New space – sensors for oil spill response // International Oil Spill Conference. – Washington D.C., 2001.
19. Richard C. Cicone. Application of the Tasseled Cap to Simulated Thematic Mapper Data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2016. – Vol. 150, No. 3. – P. 342.
20. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance / C. Huang, B. Wyli, L. Yang, C. Homer, G. Zylstra // Int J Remote Sens. – 2002. – Vol. 23(8). – Pp. 1741–1748.
21. Kolokoussis P., Karathanassi V. Detection of Oil Spills and Underwater Natural Oil Outflow Using Multispectral Satellite Imagery // Int. J. Remote Sens. Appl. – 2013. – Vol. 3. – Pp. 145–154.
22. Crist E. P., Cicone R. C. Application of the Tasseled Cap to Simulated Thematic Mapper Data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1984. – Vol. 50, No. 3. – Pp. 343–352.

Получено 23.05.2019

© Аловсат Шура-оглы Гулиев, Т. А. Хлебникова, 2019

REVEALING OIL POLLUTION SPOTS ON SHELF ZONE WITH HELP OF SPACE SURVEY (ON THE EXAMPLE OF OIL STONES WATER AREA, CASPIAN SEA)

Alovsat Shura-ogly Guliev

State Oil Company of Azerbaijan Republic (SOCAR), 121, Prospekt Geydara Alieva St., Baku, Azerbaijan, AZ1000, Senior Surveyor, phone: (99450)492-93-18, e-mail: alov_soc@yahoo.com

Tatyana A. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)474-19-70, e-mail: t.a.khlebnikova@ssga.ru

The article considers the Earth's remote sensing methods, used for revealing and mapping oil pollutions. The research is aimed at solving the tasks of aerospace monitoring of oil fields and oil pollutions in shelf water areas in the interests of the republic of Azerbaijan.

For revealing pollution spots on shelf zone (in water area of oil stones, Caspian sea) were used multi zone space shots of the oil deposit, obtained from the satellite Sentinel 2A-MSI-MultiRes-UTM39N 05-06-2017 7:26:21, and radar location shots from the satellite Sentinel 1A-IW 05-06-2017 17:08:46 of European Space Agency as part of the project, aimed at creation of autonomous multilevel observation system for ecological condition on Earth, and also some extra data of the region under survey. In the processing of data was performed automatic classification of the main technogenic impacts of the offshore process facilities on the naval environment with the use of the method of main components and its modification. For the survey were used the systems of Earth's remote sensing ERDAS Imagine 6.7 and SNAP Desktop (Sentinel Application Platform ver. 6.0). the results of the performed survey confirmed the capability and efficiency of use of cooperative processing of multi zone and radar location shots of the same territory with use of extra data to reveal oil spills.

Key words: image fusion, multi zone space shots, radar location shots, image classification, remote sensing, oil pollution monitoring, digital photogrammetric system.

REFERENCES

1. Ivanov, A. Yu., Vostokov, S. V., & Ermoshkin, I. S. (2004). Mapping of Oil Films in the Caspian Sea Using Spaceborne Synthetic Aperture Radar Imagery. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Earth Exploration from Space]*, 4, 82–92 [in Russian].
2. Boev, A. G., & Matvyeyev, A. Y. (2005). The Amount Estimation of Oil Pollutants in the Oil-Producing Area "Oil Stones" in the Caspian Sea Using Multifrequency Radar Data. *Radiofizika i Radioastronomiya [Radio Physics and Radio Astronomy]*, 10(2), 178–188. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/103792> [in Russian].
3. Gyul', A. K. (2003). *Problema zagryazneniya Kaspiyskogo moray [The problem of pollution of the Caspian Sea]*. Baku : «Muallimneshriyyaty» Publ., 71 p.
4. Guliyev, A., Ibrahimova, S. R., Rustamov, R. R., & Huseynov, K. K. (2003). Application GIS technology for studying of the fluctuations of Caspiansea level. In *Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS* (pp. 257–259). Kemer/Antalya, Turkey. Retrieved from www.ins.itu.tr/rslucoat1.
5. Guliyev, A., Ibrahimova, S. R., Rustamov, R. R., & Huseynov, K. K. (2003). Research of coastal zones with remote sensing and GIS. In *Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS* (pp. 61–65). Kemer/Antalya, Turkey. Retrieved from www.ins.itu.tr/rslucoat/.
6. Kirdyashkin, V. V. (2011). Automatic combination of radar and reference images of the earth's surface. *Candidate's thesis*. Moscow, 202 p. [in Russian].
7. Fingas, M. (2001). *The Basics of Oil Spill Cleanup* (pp. 175–190). USA: CRC Press LLC. Retrieved from <https://epdf.tips/queue/the-basics-of-oil-spill-cleanup-second-edition.html>.
8. Partington, K. (2014). An Assessment of Surface Surveillance Capabilities for Oil Spill Response using Satellite Remote Sensing. In *Provided for IPIECA and OGP, PIL-4000-35-TR-1.2* (p. 63). Canada : Polar Imaging, Inc.
9. Malinnikov, V. A., Stetsenko, A. F., Altynov, A. E., & Popov, S. M. (2008). *Monitoring of the natural environment by aerospace means [Monitoring prirodnoy sredy aerokosmicheskimi sredstvami]*. Moscow: MIIGAiK Publ., 145 p. [in Russian].
10. Deyvis, Sh. M., Landgrebe, D. A., & Phillips, T. L. (1983). *Distantionnoe zondirovanie: kolichestvennyy podkhod [Remote sensing: a quantitative approach]*. F. Sveyna, & Sh. Deyvis (Eds.). Moscow: Nedra Publ., 415 p.
11. Brown, H. M., Bittner, J. P., & Goodman, R. H. (1996). The Limits of Visibility of Spilled Oil Sheens. In *Proceedings of the Erim Conferences, Second Thematic International Airborne Remote ensing Conference and Exhibition: Vol. III* (p. 327). San Francisco, CA, USA.
12. Klemas, V. (2010). 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 (JCR)*, 26(5), 789–797. Retrieved from <https://doi.org/10.2112/10A-00012.1>.
13. Zamyatin, A. V. (2016). Data mining methods in the regional system of space monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 74–86 [in Russian].
14. Brown, C. E., & Fingas, M. F. (2001). New space-borne sensors for oil spill response. In *International Oil Spill Conference Proceedings: No. 2* (pp. 911–916). Washington D.C. Retrieved from <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-911>.
15. Karathanassi, V. Spectral Unmixing Evaluation for Oil Spill Characterization. *Int. J. Remote Sens. Appl.* Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication>.
16. Oruc, M., Marangoz, A. M., & Buyuksalih, G. (2011). Comparison of pixel-based and object-oriented classification approaches using Landsat-7 ETM spactral bands: Thesis. Turkey: Konguldak Karaelmas University. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/228457894>.
17. Maathuis, G. Y., & Vandijk, Z. X. (2006). Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches – A case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. *International Journal of Remote Sensing*, 27(18), 4039–4055.

18. Brown, C., & Fingas, M. (2001). New space – sensors for oil spill response. In *International Oil Spill Conference*. Washington D. C.
19. Cicone, R. C. (2016). Application of the Tasseled Cap to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 150(3), P. 342.
20. Huang, C., Wyli, B., Yang, L., Homer, C., & Zylstra G. (2002). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *Int. J. Remote Sens.*, 23(8), 1741–1748.
21. Kolokoussis, P., & Karathanassi, V. (2013). Detection of Oil Spills and Underwater Natural Oil Outflow Using Multispectral Satellite Imagery. *Int. J. Remote Sens. Appl.*, 3, 145–154.
22. Crist, E. P., & Cicone, R. C. (1984). Application of the Tasseled Cap to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 50(3), 343–352.

Received 23.05.2019

© Aloysat Shura-ogly Guliev, T. A. Khlebnikova, 2019