

Мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности и ледяного покрова Каспийского моря в рамках международных проектов DEMOSSS и MONRUK

А.А. Феоктистов¹, Н.Н. Новикова¹, Л.А. Пахомов¹, В.Ю. Александров²,
А.И. Захаров¹, П.В. Денисов¹

¹Научный центр оперативного мониторинга Земли ФГУП «РНИИ КП»
(НЦ ОМЗ ФГУП «РНИИ КП») Роскосмоса

E-mail: alexey.a.feoktistov@ntsomz.ru

²Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию
им. Нансена (Фонд “Нансен-центр”)

E-mail: vitali.alexandrov@niersc.spb.ru

Сообщается об основных результатах мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности и ледяного покрова Каспийского моря с использованием данных PCA ASAR/ENVISAT, проведенного в 2007-2008 г.г. в рамках международных проектов DEMOSSS (программа INTAS) и MONRUK (программа FP6 Европейской Комиссии).

Ключевые слова: нефтяные загрязнения, морская поверхность, ледяной покров, радиолокаторы с синтезированной апертурой, мониторинг.

Введение

В 2004 г. НЦ ОМЗ участвовал в конкурсе предложений, объявленном Европейским Космическим Агентством (ЕКА) и Международной Астронавтической Федерацией (МАФ) при участии Федерального космического агентства (ФКА) России в рамках программы GMES – объединенной инициативы Европейской Комиссии (ЕК) и ЕКА, выдвинутой в мае 1998 года и направленной на создание в Европе независимой глобальной информационной системы - в поддержку курса на защиту окружающей среды и безопасности. Целью данного конкурса было создание сети GMES с Россией и Украиной. Предложения по 2 проектам — OSCSAR и ERUNET – были представлены от имени консорциума ряда Европейских, Российских и Украинских организаций; в состав обоих консорциумов входил НЦ ОМЗ. Предложения получили высокую оценку и были отобраны для финансирования и выполнения. В рамках обоих проектов основной акцент был сделан на задаче мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности с использованием данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (PCA). В соответствии с Рабочей программой проектов OSCSAR и ERUNET для выполнения работ из архива ЕКА были предоставлены на безвозмездной основе 230 изображений морской поверхности, полученных с помощью Европейских PCA SAR/ERS-2 и ASAR/ENVISAT. Работы были выполнены своевременно и в полном объеме. Результаты работ получили одобрение на заключительной сессии с участием представителей ЕКА и МАФ [1,2,3].

Как развитие работ, в 2007 г. стартовали 2 проекта - DEMOSSS (программа INTAS) и MONRUK (Программа FP6 ЕК). В соответствии с Рабочей программой, участникам этих проектов были предоставлены возможности получения изображений ASAR/ENVISAT в квазиреальном масштабе времени (по скоростному каналу Интернета) непосредственно после приема информации со спутника и восстановления изображения из голограммы (также на безвозмездной основе); на сегодня в общей сложности по 4 проектам НЦ ОМЗ получил около 400 изображений PCA). При этом было определено, что при выполнении работ основной акцент должен быть сделан на проведении оценки реальных возможностей использования изображений

ASAR/ENVISAT, полученных в режиме Wide Swath (WS), ширина полосы обзора 405 км, разрешение 150 м; режим Image Mode (IM) с шириной полосы обзора 100 км и разрешением 30 м не обеспечивал требуемой частоты покрытия акватории Каспийского моря [4, 5].

В общей сложности по проектам DEMOSSS и MONRUK предусмотрено проведение 4 циклов мониторинга (2 - в 2007 г. – по проекту DEMOSSS, и 2 - в 2008 г. – по проекту MONRUK). В соответствии с Рабочей программой проектов при проведении 2 зимних циклов мониторинга (февраль-март 2007 и 2008 г.г.) НЦ ОМЗ провел анализ изображений ледяного покрова Северного Каспия. При проведении 2 летних циклов (июль-сентябрь 2007 и 2008 г.г.) анализировалась вся акватория Каспийского моря.

Для обработки изображений PCA ASAR/ENVISAT для НЦ ОМЗ были предоставлены 2 лицензии на использование программного пакета SARTool разработки французской фирмы BOOST Technologies. Программный пакет SARTool на сегодняшний день является программным продуктом, обеспечивающим наиболее быстрые, простые и эффективные решения задач обработки РЛИ открытой морской поверхности и выделения всей информации, содержащейся в РЛИ.

Входящие в состав пакета 4 обрабатывающие модуля позволяют решать следующие задачи: (1) обнаружение и картирование нефтяных разливов на морской поверхности (основной модуль); (2) построение карт направления и скорости ветра; (3) обнаружение судов с определением их широты, долготы, длины судна, скорости и курса; (4) построение карт ветрового волнения.

Основной модуль пакета SARTool - Обнаружение и картирование нефтяных загрязнений морской поверхности. Автоматические методы идентификации нефтяных загрязнений морской поверхности на основе анализа данных PCA в настоящее время только разрабатываются; эти методы дают приемлемые результаты только в случае достаточно простых ситуаций. В более сложных ситуациях при проявлении сложных сликообразующих явлений естественного генезиса вероятность ошибок резко возрастает [6]. Поэтому в основном модуле пакета SARTool практически реализованы возможности так называемой экспертной оценки в среде ГИС, в рамках которой окончательное решение относительно генезиса каждого выделенного на морской поверхности слика принимается оператором, для которого программно рассчитываются параметры, характеризующие форму, размеры, текстуру, четкость границы, яркостные характеристики. Создаваемые с помощью 3 других модулей карты ветра, волнения и обнаруженных судов используются оператором в качестве дополнительной информации. Для обучения операторов предусмотрено использование стартового каталога с набором эталонных изображений каждого класса. Для создания полного каталога, учитывающего конкретные особенности анализируемого региона, предусмотрена возможность экспорта новых эталонных изображений [7].

Основные результаты мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности Каспийского моря

В рамках летнего мониторинга 2007 и 2008 г.г. оценивались практические возможности использования при проведении мониторинга нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря WS ASAR/ENVISAT изображений, см. раздел 1. В общей сложности в 2007 году было получено и проанализировано 34 WS ASAR/ENVISAT изображения открытой морской поверхности; еще 47 WS ASAR/ENVISAT изображений открытой морской поверхности было получено и проанализировано в 2008 году. Был подтвержден сделанный ранее в рамках проекта OSCSAR вывод о том, что основной объем нефтяных сликов локализован в 2 районах: (1) в районе нефтедобычи вблизи Апшеронского полуострова и (2) в юго-западной части акватории Каспийского моря; кроме того, следует отметить, что в рамках упомянутого проекта OSCSAR было установлено также, что объем нефтяных загрязнений в этих 2 районах значительно варьирует во времени и была выявлена тенденция, указывающая на возможную связь между появлением крупных нефтяных загрязнений и активизацией процессов в литосфере, связанных с предстоящими землетрясениями [1].

Район нефтедобычи вблизи Апшеронского полуострова

Как отмечалось в [1], повышение вероятности появления крупных нефтяных разливов в районе нефтедобычи вблизи Апшеронского полуострова в период активизации процессов в

литосфере могло быть связано с утечкой нефти из старых нефтепроводов, проложенных в зоне разломов земной коры. Следует отметить, что проводившиеся в 2005 году работы по акватории Каспийского моря не были включены в Рабочую программу проекта OSCSAR и вследствие этого при проведении исследований анализировались только изображения ASAR/ENVISAT, полученные в режиме GM с низким пространственным разрешением порядка 1 км. При этом сами элементы инфраструктуры нефтяной индустрии на этих изображениях фактически не были видны. При проведении мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности Каспийского моря в рамках международных проектов DEMOSSS и MONRUK появилась возможность использования при проведении исследований WS ASAR/ENVISAT изображений.

На рис. 1 слева представлен общий вид построенной с помощью программы SARTool карты нефтяных загрязнений, обнаруженных на WS ASAR/ENVISAT изображении от 4 июля 2007 г.; карта содержит контура 2 достаточно крупных кластеров сликов I-04 и I-05 в районе нефтедобычи вблизи Апшеронского полуострова (I – первая буква от слова Infrustructer, 04 и 05 – порядковые номера кластеров). В центре и справа на том же рис. 1 представлены 2 фрагмента с полным пространственным разрешением для этих кластеров, сформированные с помощью опции OSD Report программы SARTool.

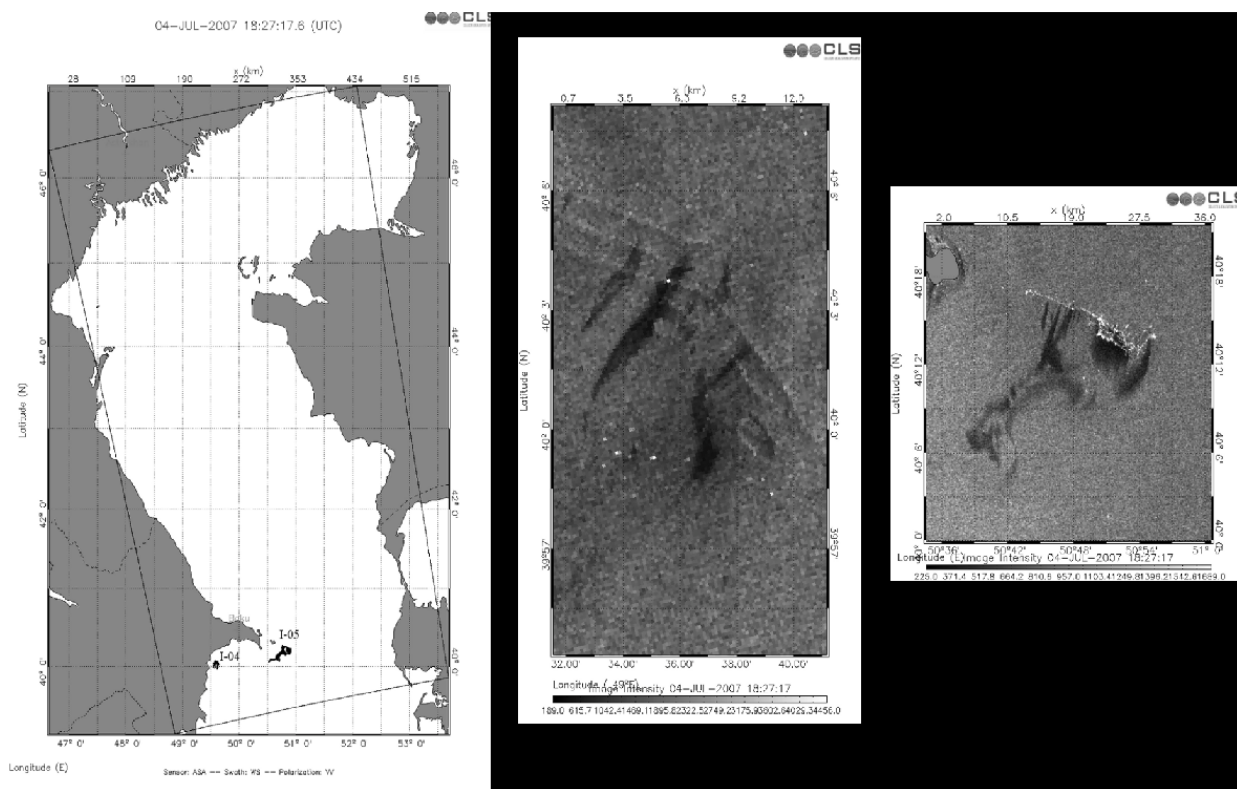


Рис. 1. Слева - карта нефтяных загрязнений; в центре и справа – фрагменты WS ASAR/ENVISAT изображения от 4 июля 2007 г с полным пространственным разрешением

Карта нефтяных загрязнений с контурами 4 кластеров сликов I-06, I-07, I-08 и I-09, обнаруженных на WS ASAR/ENVISAT изображении от 30 июля 2007 г., приведена на рис.2 сверху слева; сверху справа, внизу слева и справа - 3 фрагмента с полным пространственным разрешением для кластеров сликов I-06, I-07 и I-09.

На всех представленных фрагментах изображений с полным пространственным разрешением (которое, напомним еще раз, в режиме WS равно 150 м) четко зафиксированы ситуации, связанные с утечкой нефтепродуктов из элементов инфраструктуры нефтяной индустрии (что в целом подтверждает высказанную в [1] гипотезу); сами элементы инфраструктуры нефтяной

индустрии достаточно хорошо видны даже при этом относительно низком разрешении. Зафиксированная на рис. 2 ситуация представляет дополнительный интерес, поскольку в этот день имел место аномально высокий уровень нефтяного загрязнения морской поверхности в районе нефтедобычи вблизи Апшеронского полуострова (большое количество крупных slickов нефтяного генезиса). К сожалению, из-за низкой скорости ветра идентификация нефтяных загрязнений была затруднена, а на значительной части изображения была просто невозможна.

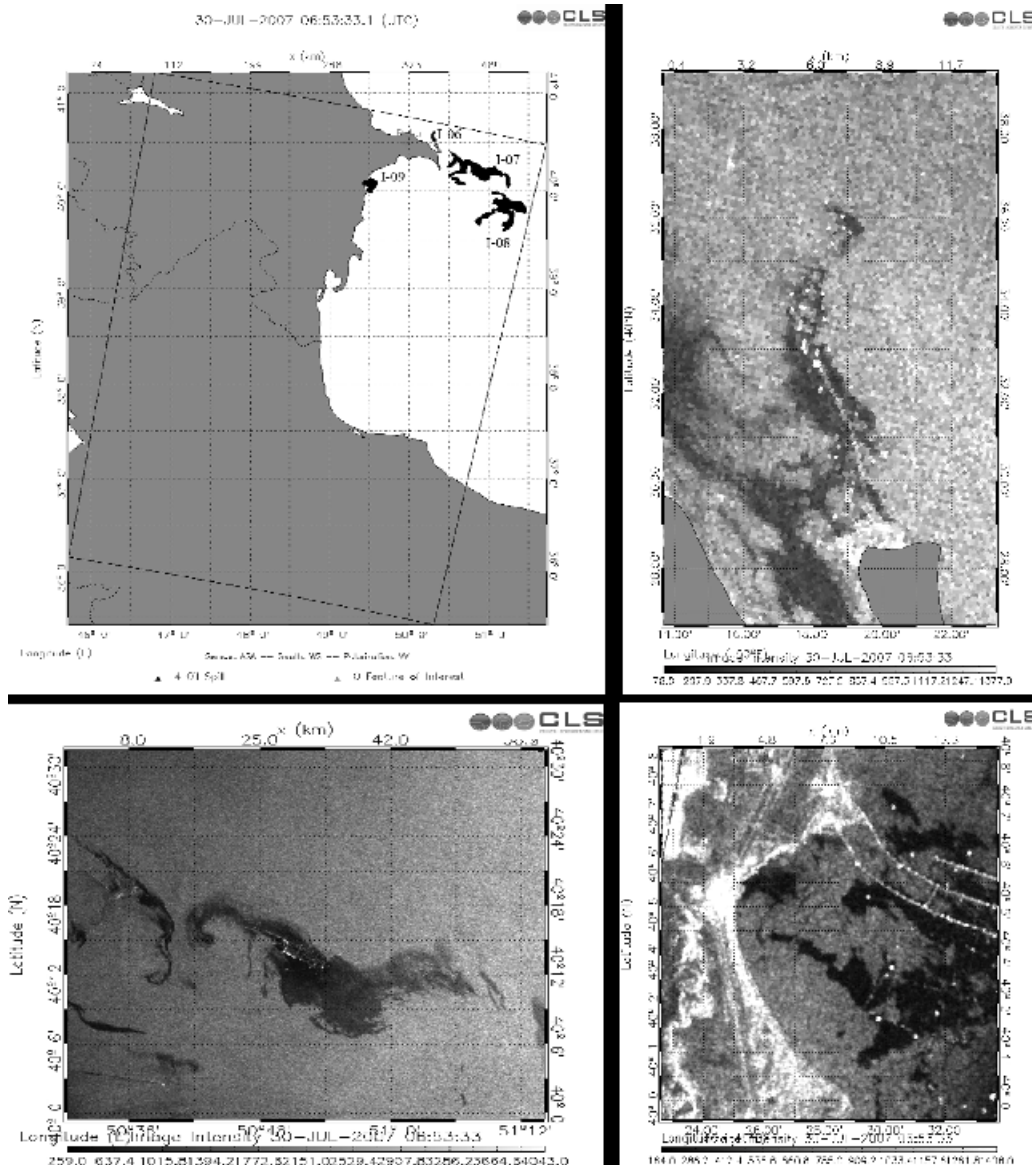


Рис. 2. Слева – карта нефтяных загрязнений; в центре и справа – фрагменты WS ASAR/ENVISAT изображения от 30 июля 2007 г. с полным пространственным разрешением

Юго-западная часть акватории Каспийского моря

Ранее в рамках проекта OSCSAR [1] была выдвинута и обоснована еще одна гипотеза - о том, что основной объем нефтяных загрязнений в юго-западной части акватории Каспийского моря связан с утечкой углеводородов из грифонов (естественных “контейнеров” углеводородов под морским дном). Для доказательства этой гипотезы были использованы 3 изображения аппаратуры ASAR/ENVISAT (квиклуки), полученные по одной и той же территории в разные даты (05.07.2003 г., 09.08.2003 г., 15.05.2004 г.). Было показано достаточно точное совпадение

координат отдельных нефтяных slicks на разновременных изображениях, что и послужило основанием для выдвижения этой гипотезы.

При проведении мониторинга в 2007-2008 г.г. был выполнен анализ достаточно большого количества WS ASAR/ENVISAT изображений открытой морской поверхности юго-западной части акватории Каспийского моря и накоплен значительный объем результатов обработки. На рис. 3 слева в качестве примера представлен общий вид карты нефтяных загрязнений, обнаруженных на WS ASAR/ENVISAT изображении от 7 июля 2007 г., включающей контур очень крупного кластера slicks G-03 (G – первая буква от слова Griffon, 03 – порядковый номер кластера); именно на эту дату был зафиксирован аномально высокий уровень нефтяного загрязнения морской поверхности в данном районе, что, в соответствии с высказанным ранее в [1] предположением, могло быть следствием активизации процессов в литосфере в данном регионе.

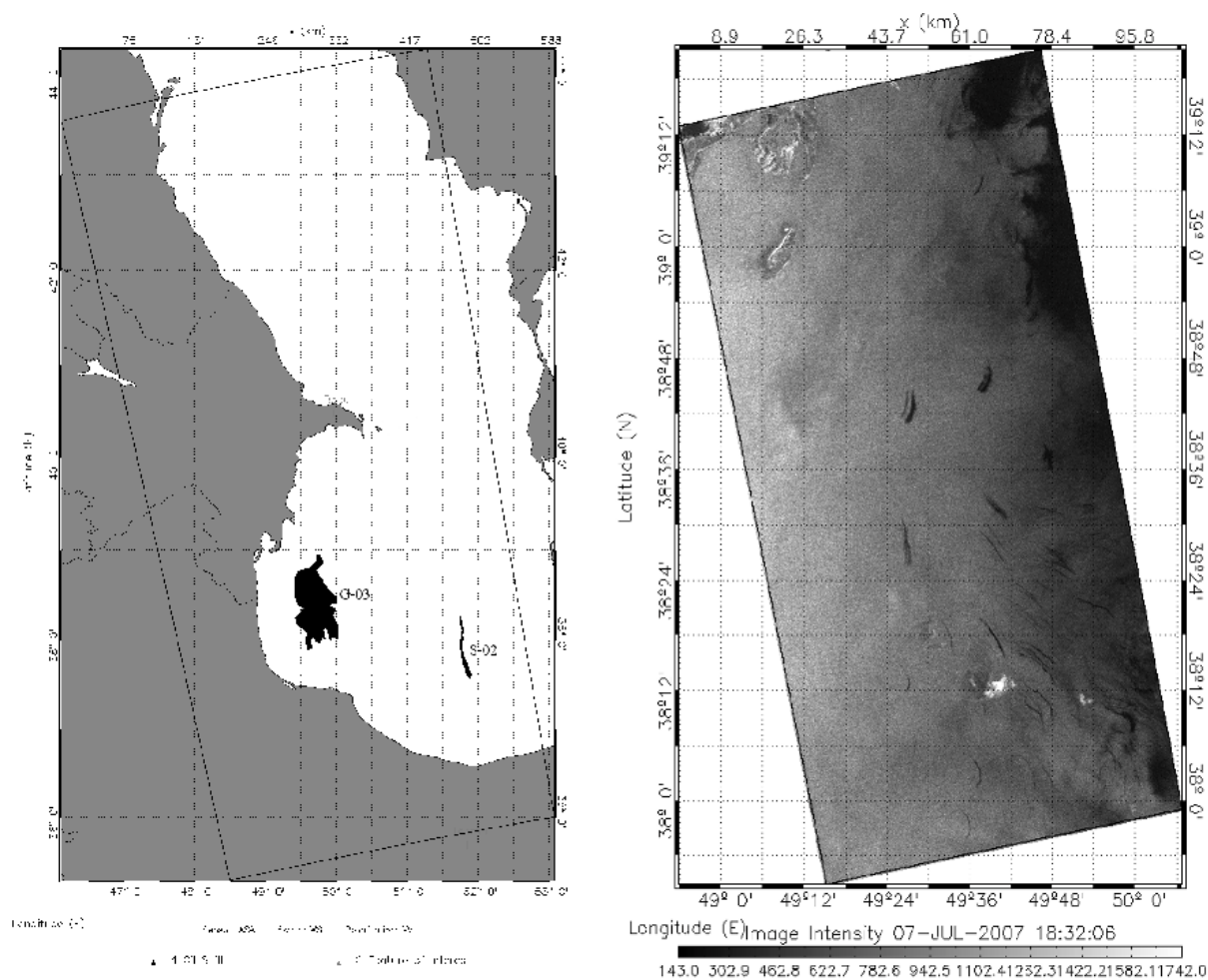


Рис. 3. Слева - карта нефтяных загрязнений; в центре и справа - фрагменты WS ASAR/ENVISAT изображения от 7 июля 2007 г. с полным пространственным разрешением

На том же рисунке справа представлен фрагмент WS ASAR/ENVISAT изображения с полным пространственным разрешением для этого кластера slicks. Ширина нефтяных slicks варьирует в достаточно широких пределах, что, очевидно, обусловлено различием как объемов нефти, вытекающей из отдельных грифонов в единицу времени, так и локальных значений скорости течений и ветра.

Обращает на себя внимание наличие крупного (с линейными размерами более 50 км) вытянутого в меридиональном направлении линейного кластера slicks S-02 (S – первая буква от слова Ship, 02 – порядковый номер кластера); к востоку от кластера G-03 (следствие несанкционированного сброса нефтепродуктов с движущегося судна).

Основные результаты мониторинга ледяного покрова Каспийского моря

Для обеспечения возможности использования программного пакета SARTool в зимних условиях в настоящее время проводятся работы по созданию еще одного программного модуля для проведения анализа ледяного покрова. В настоящее время разрабатываются методы автоматизированной классификационной обработки РЛИ ледяного покрова, и в этом направлении достигнуты определенные успехи; разрабатываемый в Фонде “Нансен-центр” программный комплекс тематической обработки включает процедуры абсолютной калибровки, подавления спекл-шума, выравнивания яркости в направлении наклонной дальности, сегментации изображений, выделения статистических характеристик выделенных сегментов и классификационной обработки с использованием алгоритма нейронных сетей [8]. “Настройка” значений параметров в разрабатываемом в Фонде “Нансен-центр” программном комплексе (с учетом конкретных особенностей каждого исследуемого региона) проводится с использованием наборов обучающих выборок каждого тематического класса. Поскольку программный комплекс не был готов к передаче и использованию в НЦ ОМЗ, по согласованию с фондом “Нансен-центр” НЦ ОМЗ ограничился проведением работ по синергическому анализу данных микроволновой, видимой и ИК области спектра, формированию наборов обучающих выборок и их передаче в Фонд “Нансен-центр” для последующего использования при проведении отработки автоматических процедур классификационной обработки. Были реализованы 2 варианта представления результатов интерпретации. В рамках первого варианта представления выходных продуктов результаты интерпретации, включающие прежде всего информацию о сплоченности льда в баллах, фиксировались непосредственно на исходных WS ASAR/ENVISAT изображениях. В рамках второго варианта представления выходных продуктов одновременно представлялись (1) трансформированные в проекцию карты WS ASAR/ENVISAT изображения, (2) построенные с помощью программного пакета SARTool карты направления и скорости ветра и (3) наборы представляющих особый интерес фрагментов WS ASAR/ENVISAT изображений с полным пространственным разрешением. Положение фрагментов на WS ASAR/ENVISAT изображениях фиксировалось цифрами.

Дополнительно был проведен сравнительный анализ WS ASAR/ENVISAT изображений с картами сплоченности морского льда, построенными по данным NCEP/NOAA и представленными на сайте Гидрометцентра России (алгоритм обработки основан на использовании данных пассивных микроволновых спутниковых измерений датчика SSM/I на частоте 19 ГГц).

Необходимость проведения данного анализа обусловлена двумя причинами. Во-первых, на запланированном к запуску в текущем году КА МЕТЕОР-М наряду с радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) СЕВЕРЯНИН установлен микроволновый сканирующий радиометр температурного и влажностного зондирования атмосферы МТВЗА, и в связи с этим оценка возможностей использования данных пассивного микроволнового зондирования в задаче мониторинга ледяного покрова представляет особый интерес. Во-вторых, на сайте Гидрометцентра сообщается, что “систематическая оценка точности представленных карт сплоченности льда не проводилась из-за почти полного отсутствия соответствующих данных наземных наблюдений”.

Результаты сравнительного анализа WS ASAR/ENVISAT изображений и карты сплоченности морского льда показали, что в период максимального развития ледяного покрова Каспийского моря (при отрицательных значениях температуры воздуха) карты сплоченности достаточно реалистично передают очертания области простирающегося ледяного покрова, однако и в этом случае используемый алгоритм ошибочно “приписывает” отсутствие ледяного покрова для относительно небольшой области на крайнем северо-востоке Каспийского моря. Было установлено, далее, что интенсивное таяние ледяного покрова приводит к резкому падению достоверности информации, содержащейся в картах сплоченности морского льда.

Как известно [9, 10], различия между получаемыми с помощью пассивных и активных микроволновых систем значениями сплоченности морского льда в период таяния ледяного покрова физически обусловлены появлением на поверхности льда так называемых “талых озер”, которые пассивные “измерители” воспринимают как открытую воду, а РСА относят их ко льду. Корректные результаты синергического анализа данных пассивной и активной микроволновых систем, таким образом, позволяют проводить оценку площади талых озер и могут быть использованы для уточнения дат начала и окончания таяния ледяного покрова. Однако в случае корректной работы алгоритма обработки данных пассивного микроволнового зондирования наличие талых озер должно приводить только к относительному снижению получаемых с помощью пассивных “измерителей” оценок сплоченности морского льда по сравнению с оценками, получаемыми с помощью РСА.

Заключение

Отработаны процедуры оперативного получения данных спутниковой аппаратуры микроволнового, видимого и ИК диапазонов спектра и прогностической океанографической информации и сформирован комплекс программно-аппаратных средств для ввода, отображения и обработки информации. Накопленный в ходе проведения мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности и ледяного покрова практический опыт будет использован при проведении разработки программного обеспечения мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности с использованием данных РСА перспективных российских спутников.

Данная работа выполнена в рамках международных проектов DEMOSSS (программа INTAS) и MONRUK (Программа FP6 ЕК). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены ЕКА в рамках проектов DEMOSSS и MONRUK. Лицензии на использование программы SARTool предоставлены фирмой BOOST Technologies, Франция.

Литература

1. Феоктистов А.А., Новикова Н.Н., Пахомов Л.А., Люшвин П.В., Захаров А.И., Мартынов С.И., Федичев О.Б., Мирошин А.А. Разработка системы космического мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. II. С. 161-167.
2. Novikova N.N., Pakhomov L.A., Feoktistov A.A., Lyushvin P.V., Zakharov A.I., Martynov S.I., Miroshin A.A. Use of Synthetic Aperture Radar Data in Oil Spill Monitoring of the Caspian Sea, Kara Sea, and Barents Sea in the Context of OSCSAR International Project // Fifth International Aerospace Congress IAC'06. Abstracts. Moscow, Russia, 27-31 August, 2006. P. 239.
3. Novikova N.N., Pakhomov L.A., Feoktistov A.A., Lyushvin P.V., Zakharov A.I., Martynov S.I., Miroshin A.A. Use of Synthetic Aperture Radar Data in Oil Spill Monitoring of the Black Sea and Sea of Azov in the Context of ERUNET International Project // Fifth International Aerospace Congress IAC'06. Abstracts. Moscow, Russia, 27-31 August, 2006. P. 240.
4. Feoktistov A.A., Novikova N.N., Pakhomov L.A., and Zakharov A.I. Space monitoring of sea surface oil spills // Advances of satellite oceanography: understanding and monitoring of Asial marginal seas. Proceedings of the International Conference 3-d October, 2007, Vladivostok, Russia. P. 36-38
5. Новикова Н.Н., Пахомов Л.А., Феоктистов А.А., Захаров А.И. Международный проект DEMOSSS. Развитие работ по мониторингу морской поверхности, начатых в рамках международных проектов OSCSAR и ERUNET // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга

окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2008. Вып. 5. Т. I. С. 155-159.

6. Иванов А.Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса, 2007. № 3. С. 73-96.

7. Collard F., Kerbaol V. Use of SARTool for operational oil spill monitoring // BOOST Technologies, Brest, France. 2008. 72 p.

8. Alexandrov V.Yu. SAR Sea Ice Analysis: Status of Algorithms and Plans for the Project // Presentation to the MONRUK Project Kick-off Meeting. 2007. St. Petersburg. 11 p.

9. Comiso J.C., Kwok R. Surface and radiative characteristics of the summer Arctic sea ice cover from multisensor satellite observations // J. Geoph. Res. 1992. V. 101. № C12. P. 28.397-28.416.

10. Бельчанский Г.И., Платонов Н.Г. // Исслед. Земли из космоса, 2002. № 1. С. 51-66.

Caspian Sea oil pollution and ice cover monitoring studies under international projects DEMOSSS and MONRUK

**A.A. Feoktistov¹, N.N. Novikova¹, L.A. Pakhomov¹, V. Yu. Alexandrov²,
A.I. Zakharov¹, P.V. Denisov¹**

¹*Research center for Earth operative monitoring FSUE«RISDE»*

(NTs OMZ FSUE«RISDE») Roscosmos

E-mail: alexey.a.feoktistov@ntsomz.ru

²*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre (Nansen Centre)*

E-mail: vitali.alexandrov@niersc.spb.ru

Main results of Caspian Sea oil pollution and ice cover monitoring studies with use of ASAR/ENVISAT data are presented. The monitoring was carried out in 2007-2008 within the framework of international projects DEMOSSS (program INTAS) and MONRUK (program FP6 of the European Commission).

Keywords: oil pollution, sea surface, ice cover, synthetic aperture radar, monitoring studies.