

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ И ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СУДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СУДОВЫХ РАЗЛИВОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

© 2013 г. А. Ю. Иванов^{1,*}, А. А. Кучейко², Н. А. Филимонова², Н. В. Евтушенко^{1,2},
А. Ю. Антонюк², Н. В. Терлеева¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

²Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС», Москва

*E-mail: ivanoff@ocean.ru

Поступила в редакцию 12.02.2013 г.

При проведении спутникового радиолокационного (РЛ) мониторинга восточной части Черного моря в 2011 и 2012 гг. были обнаружены беспрецедентно крупные пленочные загрязнения судового происхождения. Пятна имели сложную, большей частью вытянутую, форму и находились в российском секторе моря или на его границах. Повторные РЛ-съемки спутников Envisat, Radarsat-1 и Radarsat-2 и оптические съемки Terra и Aqua подтвердили наличие обширных пленочных образований. С использованием новых подходов и методов анализа впервые выявлены неопровержимые факты, подтверждающие события мойки танков в российском секторе моря. Данные автоматических систем идентификации судов помогли в определении ряда судов, причастных к загрязнениям. Приведены и анализируются сводные карты крупных судовых разливов, обнаруженных в 2011 и 2012 гг.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, радиолокационные изображения, данные автоматических систем идентификации судов, нелегальные судовые разливы, Черное море

DOI: 10.7868/S0205961413050011

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что среди прочих загрязнений морской среды сырая нефть и нефтепродукты являются основным фактором, негативно воздействующим на морские экосистемы, в том числе внутренних морей (Патин, 1979, 2001; Пенно, 2001; Губанов, Иевлева, 2006). Аварии с танкерами и платформами (например, с Montara в Тиморском море (Терлеева, Иванов, 2013) и Deep Horizon в Мексиканском заливе (Иванов, Терлеева, 2011)), приводящие к гигантским нефтяным разливам, могут служить наглядной иллюстрацией проблемы антропогенного нефтяного загрязнения океанов и морей. Они в значительной степени влияют на общественное мнение, так как информация о них быстро становится доступной как средствами массовой информации, так и научному сообществу. Однако такие катастрофические события происходят достаточно редко и в целом дают незначительный вклад в общее загрязнение Мирового океана (ITOPF Handbook, 2012).

Помимо разливов, связанных с техногенными катастрофами платформ и нефтеналивных судов, существует три вида основных загрязнений, обусловленных судоходством и рутинными операци-

ями в море, а именно: балластные воды, танкерные моечные воды и льяльные воды (или отходы машинного отделения) (Kluser et al., 2006). Из-за них в морскую среду попадает большое количество нефтепродуктов, горюче-смазочных веществ (ГСМ), а также других загрязняющих веществ, образующих пленки на поверхности моря, причем на снимках из космоса они очень часто наблюдаются в зонах судоходства – на или вблизи судоходных трасс (Иванов, 2007; Лаврова, Митягина, 2012). Установлено, что количество нефтепродуктов, сбрасываемое в результате этих операций, значительно превышает количество нефти, попадающей в море в результате техногенных аварий или катастроф (European Commission, 2001; Kluser et al., 2006; Ferraro et al., 2009; ITOPF Handbook, 2012). Это один из главных и крупнейших источников загрязнения морской среды и побережий. Однако, несмотря на международное и национальное законодательство (МАРПОЛ, 1999), нелегальные сбросы с судов остаются нерешенной и неподдающейся эффективному контролю проблемой (European Commission, 2001; Kluser et al., 2006; Ferraro et al., 2009).

Для мониторинга и идентификации пленочных загрязнений моря в настоящее время повсе-

местно используют разнообразные средства дистанционного зондирования (ДЗ). В тех случаях, когда применение традиционных средств ДЗ — оптических и ИК-датчиков, как самолетных, так и спутниковых, ограничено состоянием атмосферы или освещенности, на помощь приходит космическая радиолокация. ИСЗ, оборудованные радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА), такие как Envisat, Radarsat-1, Radarsat-2, в настоящее время считаются наиболее эффективными средствами мониторинга нефтяных загрязнений и применяются повсеместно. На радиолокационных изображениях (РЛИ) морской поверхности разнообразные пленочные загрязнения отображаются в виде темных пятен (Alpers, Espedal, 2004; Torouzelis, 2008). Широкое покрытие поверхности Земли и высокое пространственное разрешение, сравнимое с разрешением оптических датчиков, делают РСА незаменимыми в оперативных и региональных приложениях (Brekke, Solberg, 2005; Torouzelis, 2008). Кроме того, ряд современных мультиполяризационных РСА позволяют проводить различение нефтяных пятен от прочих сликов, образованных различными сликообразующими явлениями в верхнем слое моря и приводной атмосфере (Brekke, Solberg, 2005; Иванов, 2007). РСА способны картографировать разливы и суда, дать информацию об их положении, однако не способны различить тип и измерить толщину пленок нефти и нефтепродуктов.

Широкое использование спутниковых данных в системах мониторинга реального времени обусловлено не только возможностью наблюдения за пленочными загрязнениями различного типа на морской поверхности, но и возможностью последующей их идентификации и классификации. В таких мониторинговых системах и их подсистемах для дальнейших верификации и валидации результатов обнаружения используются географические информационные системы (ГИС), а также данные автоматических систем идентификации судов (АИС). Геоинформационный подход (Ivanov, Zatyagalova, 2008; Müllenhoff et al., 2008; Morović, Ivanov, 2011) подразумевает интеграцию в ГИС физико-географических данных о водном бассейне, данных ДЗ, информации об объектах инфраструктуры топливно-энергетического комплекса и судоходстве, а также пятен, обнаруженных на РЛИ. ГИС позволяет создать конечный продукт — карты распределения пленочных/нефтяных загрязнений. В настоящее время он реализован в отечественном веб-ГИС приложении Геомиксер (<http://geomixer.ru>), позволяющем создавать такие карты он-лайн. АИС как средства мониторинга и слежения за судами служат для идентификации судов, их курса и положения относительно разлива с помощью радиоволновых передатчиков (через спутниковые или наземные системы). Одна из таких реально функционирующих в настоящее время систем для мониторинга нефтя-

ных загрязнений морей, омывающих Европу, — европейский сервис CleanSeaNet (<https://csndc.emsa.europa.eu>).

Летом—осенью 2011—2012 гг. при проведении спутникового РЛ-мониторинга в российском секторе Черного моря было обнаружено несколько беспрецедентно крупных судовых разливов. В настоящей статье анализируются их сигнатуры на трех сериях РЛИ, которые были получены спутниками Envisat, Radarsat-1 и Radarsat-2. На этих РЛИ были однозначно детектированы крупные судовые разливы, связанные с мойкой танков и нелегальными судовыми сбросами в восточной части Черного моря. Для однозначной интерпретации привлекались оптические данные спутников Terra и Aqua, а также данные АИС, покрывающих Черное море. Для того чтобы осознать уровень проблемы, приведены и анализируются сводные карты распределения крупных судовых разливов, обнаруженные в результате мониторинга Черного моря в 2011 и 2012 гг.

РАЗЛИВЫ 23—25 ИЮНЯ 2011 г.

23 июня 2011 г. на РЛИ спутника Envisat (19:29 UTC) (рис. 1) было обнаружено пленочное загрязнение общей площадью 18 км², интерпретированное как судовый разлив (СКАНЭКС, 2011а, 2011б). Разлив представлял собой длинный линейчатый, прерывистый слик, состоящий из пяти частей. На РЛИ была также обнаружена отметка судна — вероятного виновника сброса загрязненных вод. Судя по форме слика, обнаруженное судно сбрасывало порциями в воду неизвестный нефтепродукт или маслянистое вещество и, возможно, начало промывать танки в этом районе. Эта операция началась примерно в 10:00 UTC 23.06.2011, когда судно находилось в точке с координатами 42°59'46" с.ш., 37°10'09" в.д. (рис. 1) и затем продолжало идти на северо-запад со скоростью около 7 узлов.

Вторая съемка была выполнена со спутника Envisat 24.06.2011 в 07:38 UTC. Однако в кадр попало лишь восемь небольших сликовых фрагментов (площадью от 0.5 до 1.1 км²), оставшихся от первого сброса, произведенного 23.06.2011 (здесь не приводится).

Третья съемка со спутника Radarsat-1 (рис. 2а) была выполнена 24.06.2011 в 15:23 UTC, через 20 ч после первой. Она показала наличие обширного пленочного образования (320.5 км²) в том же самом районе и его существенную трансформацию во времени. Как видно из этого РЛИ, 24 июня пятно стало иметь сложную форму, простираясь на 119 км в российском секторе Черного моря и частично захватывая также турецкий и украинский секторы. На этом РЛИ также хорошо видно, что судно закончило этап (галс) мойки танков, а пятна от первых двух превратились в обширные пленочные обра-

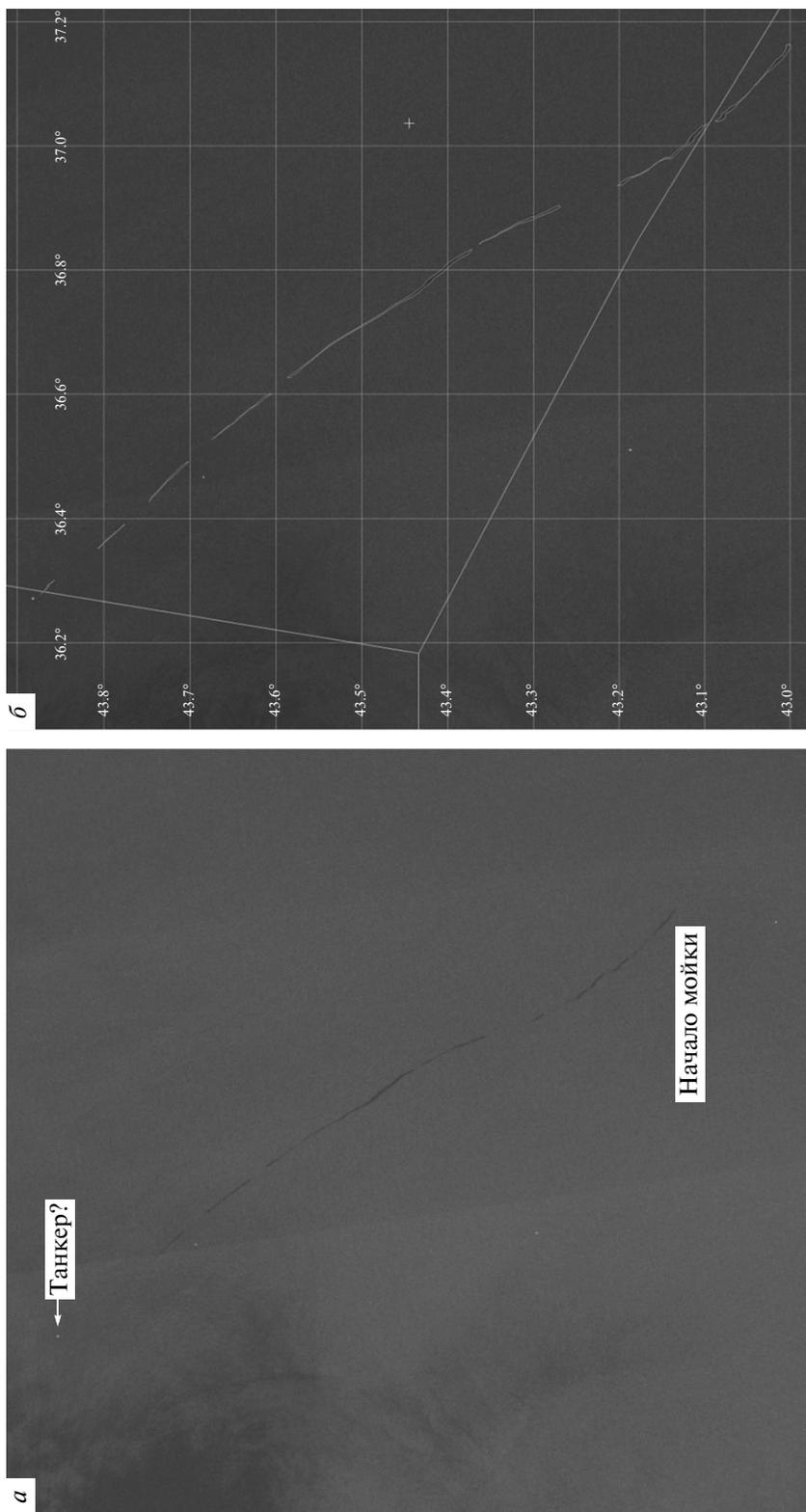


Рис. 1. а – Увеличенный фрагмент РЛИ Eupisat от 23.06.2011 (19:29 UTC); хорошо виден первый галс длиной 119 км, на котором пока еще неизвестное судно начало операции мойки танков; б – положение разлива относительно границ секторов (экономзон). © ESA, “СКАНЭКС”.

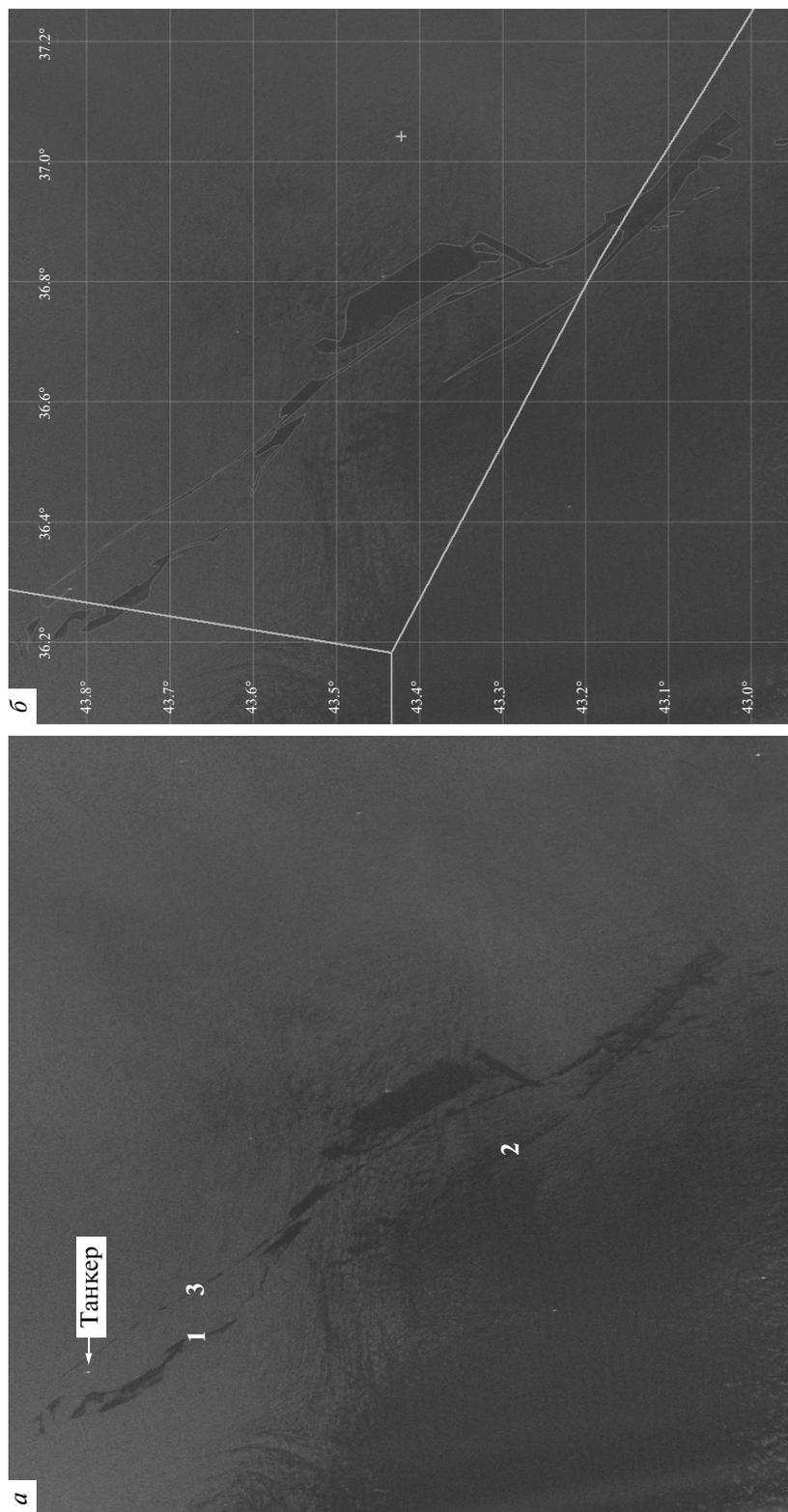


Рис. 2. а – Фрагмент РЛИ Radarsat-1 от 24.06.2011 (15:23 UTC), на котором отобразились три галса (1, 2 и 3), где проводилась мойка танков, и положение танкера в начале четвертого галса (яркая точка); б – положение разливов относительно границ секторов. © CSA/MDA, “СКАНЭКС”.

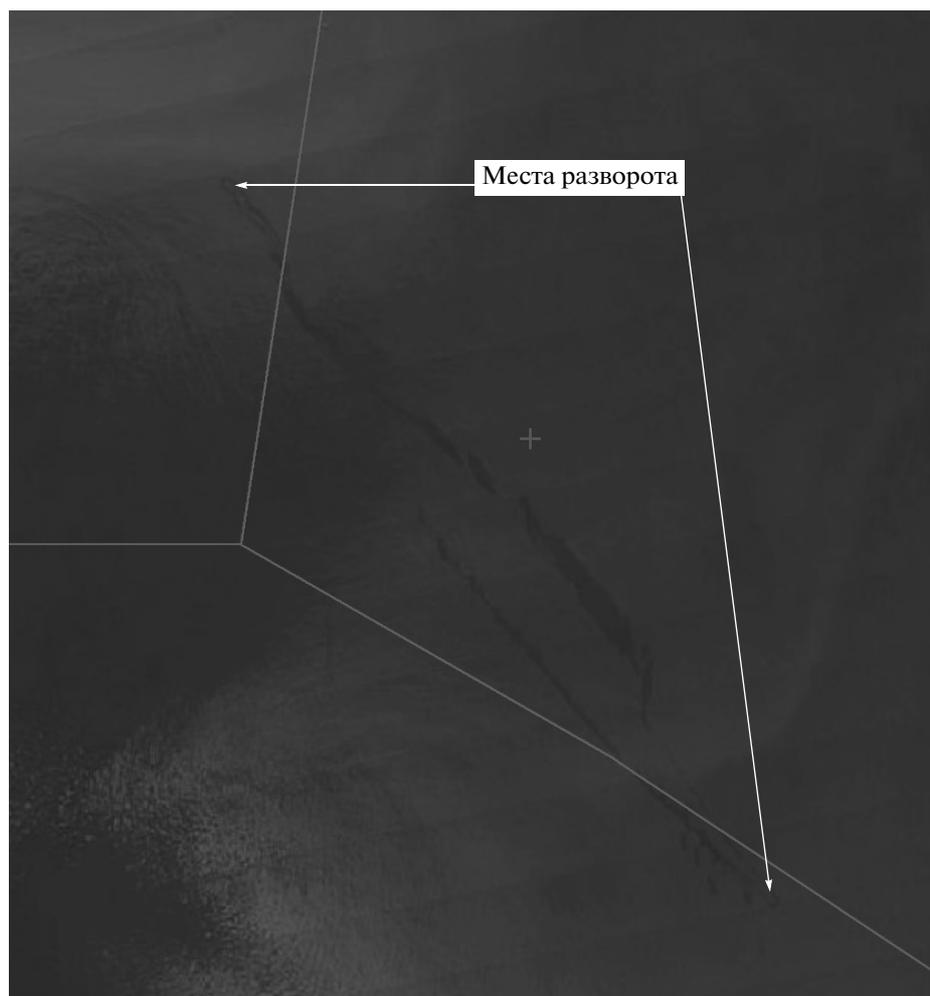


Рис. 3. Судовые разливы на оптическом снимке Aqua MODIS от 24.06.2011 (10:34 UTC); стрелками показаны места разворота танкера. © NASA GSFC.

зования, расположенные слева и справа от текущего галса (3 на рис. 2б). Благодаря пленочной природе пятен, они были обнаружены и на оптических снимках Terra и Aqua от 24.06.2011 (09:00 и 10:34 UTC) и 25.06.2011 (08:00 UTC), которые, таким образом, независимо подтвердили наличие пленок на поверхности моря. Кроме того, на этих снимках отчетливо видны места разворота судна (рис. 3).

Съемка 25.06.2011 в 04:19 UTC со спутника Radarsat-2 (рис. 4), проведенная через 13 ч после третьей, обнаружила еще более обширное загрязнение морской поверхности (423.5 км²), которое уже представляло собой огромное многокомпонентное пленочное образование и в котором четко выделялись три галса, на которых судно, очевидно, производило операции мойки. Одной из характерных особенностей отображения пятен является “ветровая размазка” сликов (перьевидный край) (рис. 4а), что может говорить, во-первых, о том, что разлитый продукт представлял собой сложную по составу смесь, а во-вторых, о на-

правлении ветра (Alpers, Espedal, 2004; Иванов, 2007) (был северо-восточным), который трансформировал наветренные края пятен (стрелки на рис. 4а). Кроме этого, сохранение пленочных образований на поверхности моря в течение 33 ч с момента первого обнаружения может говорить о достаточно высокой концентрации маслянистого вещества в разливе.

На рис. 5а (см. также 1 на рис. 9; оба рис. на цветн. вклейке) показана интегральная карта разливов: пятна от 23 июня даны красным, от 24 июня: Envisat – фиолетовым, Radarsat-2 – синим, а от 25 июня – зеленым. На этом рисунке достаточно четко выделяются галсы, которые сделало судно для мойки танков.

Совместный анализ РЛИ и данных АИС (канадской компании exactEarth) показал, что виновником разливов является судно “Yukon Star” (рис. 6) – танкер-химовоз постройки 2009 г., приспособленный для перевозки жидких химических или пищевых продуктов. Он имеет размеры 184 × 27 м, ско-

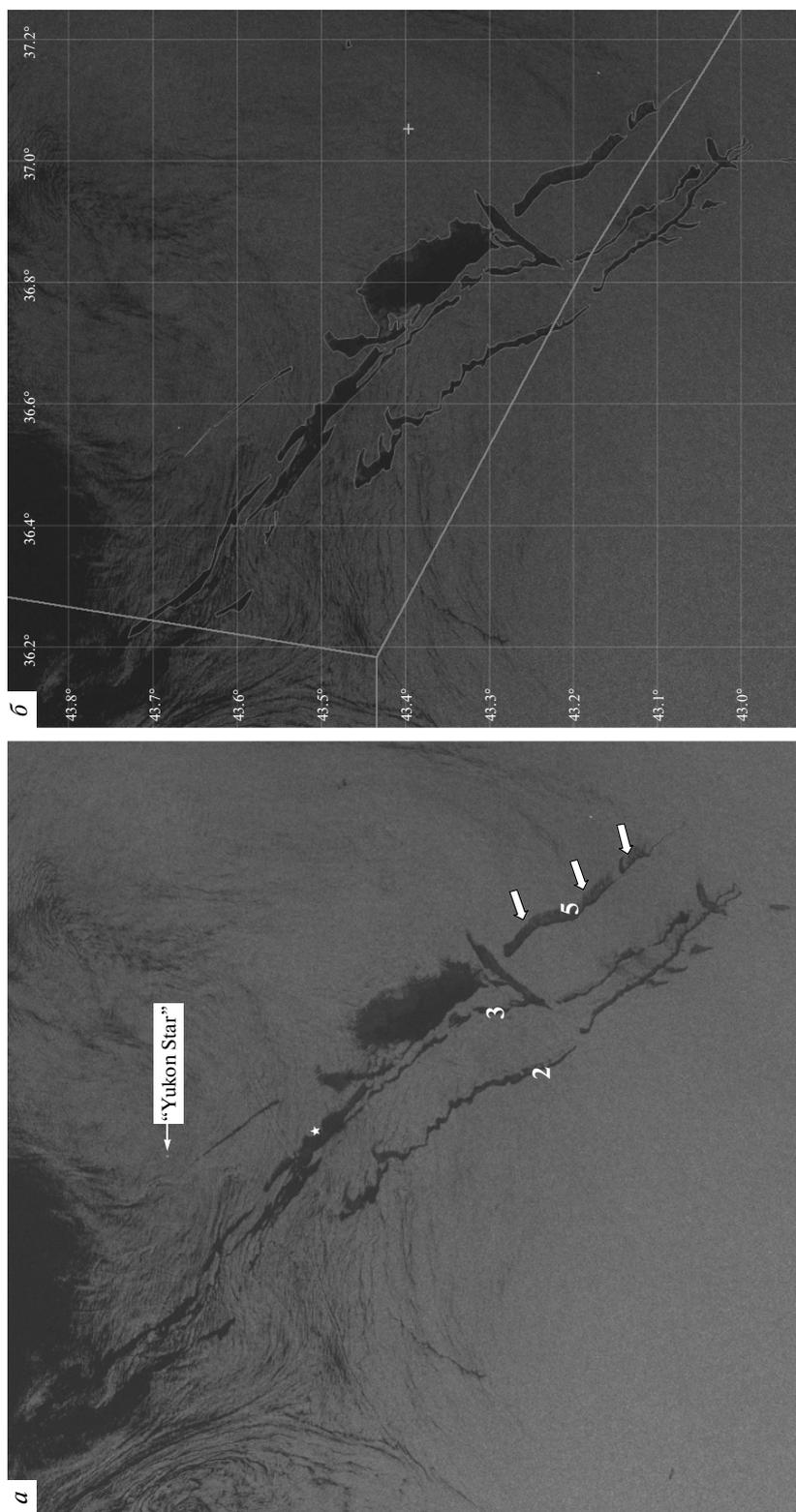


Рис. 4. *a* – Фрагмент РЛИ Radarsat-2 от 25.06.2011 (04:19 UTC), на котором отобразились три галса (2, 3, 5), на которых проводилась мойка танков, и положение танкера на 17:43 UTC (звездочка) по данным сайта www.mapletraffic.com. Перьевидный край пятен указывает на направление ветра во время съемки (показано стрелками); *б* – положение разливов относительно границы секторов. © CSA/MDA, “СКАНЭКС”.



Рис. 6. Танкер “Yukon Star” (источник: <http://www.marinetraffic.com>).

рость до 8 узлов, водоизмещение 37850 т, грузоподъемность 23310 т. Танкер зарегистрирован в Международной морской организации (International Maritime Organization (IMO)) под номером IMO 9411991 и ходит под флагом Великобритании.

РАЗЛИВ 5 АВГУСТА 2011 г.

На РЛИ, полученном со спутника Radarsat-1 05.08.2011 г. в 03:40 UTC (рис. 7а), было обнаружено другое крупное пленочное загрязнение (площадь 185 км²; 2 на рис. 9 на цветн. вклейке), также интерпретированное как судовой разлив. Оно представляло собой длинный (около 116 км) и достаточно широкий (2–2.5 км) линейчатый слик (рис. 7а). На РЛИ была также обнаружена отметка судна – виновника сброса загрязненных вод. Судя по форме слика, в воду сбрасывалось неизвестное маслянистое вещество, образующее пленки. Эта операция началась в точке с координатами 43°13'17" с.ш., 37°16'21" в.д. сразу после того, как судно вошло в российский сектор моря, и продолжалось до тех пор, пока оно не подошло к границе российских территориальных вод; затем судно вошло в воды Абхазии и встало там на рейд.

Совместный анализ РЛИ и данных АИС, предоставленных Администрацией морского порта Новороссийск (ФГУ “АМП Новороссийск”), показал, что наиболее вероятным виновником разлива является судно “Tarik Emir” (рис. 7б) – грузовое судно (постройки 1980 г.), приспособленное для

перевозки различных грузов. Оно имеет размеры 106 × 17 м, скорость до 10 узлов, тоннаж 6600 т; судно зарегистрировано под номером IMO 8001517 и ходит под флагом Панамы.

К сожалению, это судно ни в один из российских портов не заходило, в связи с чем его инспекция оказалась невозможной. Поэтому можно считать, что этот случай, скорее всего, положениям конвенции МАРПОЛ не соответствует. Разлив, судя по перьевидной размазке пятна (Alpers, Espedal, 2004; Иванов, 2007), содержал тяжелые фракции неизвестного маслянистого продукта, остатки которого продолжали наблюдаться на РЛИ Radarsat-1 от 08.08.2011 (15:11 UTC) и Envisat от 09.08.2011 (07:52 UTC) (рис. 7в, г).

РАЗЛИВЫ 2012 г.

В 2012 г. в ходе спутникового РЛ-мониторинга Черного моря, проводимого ИТЦ “СКАНЭКС”, в российском и украинском секторах в конце сентября и начале октября были также обнаружены крупноразмерные пленочные загрязнения судового происхождения (СКАНЭКС, 2012). С помощью данных АИС удалось идентифицировать ряд судов, причастных к загрязнению.

Так, последовательные съемки северо-восточной части Черного моря зафиксировали крупные разливы 19 сентября и 7 октября в территориальных водах российского сектора на подходах к Новороссийской бухте и в районе Туапсе (суммарная

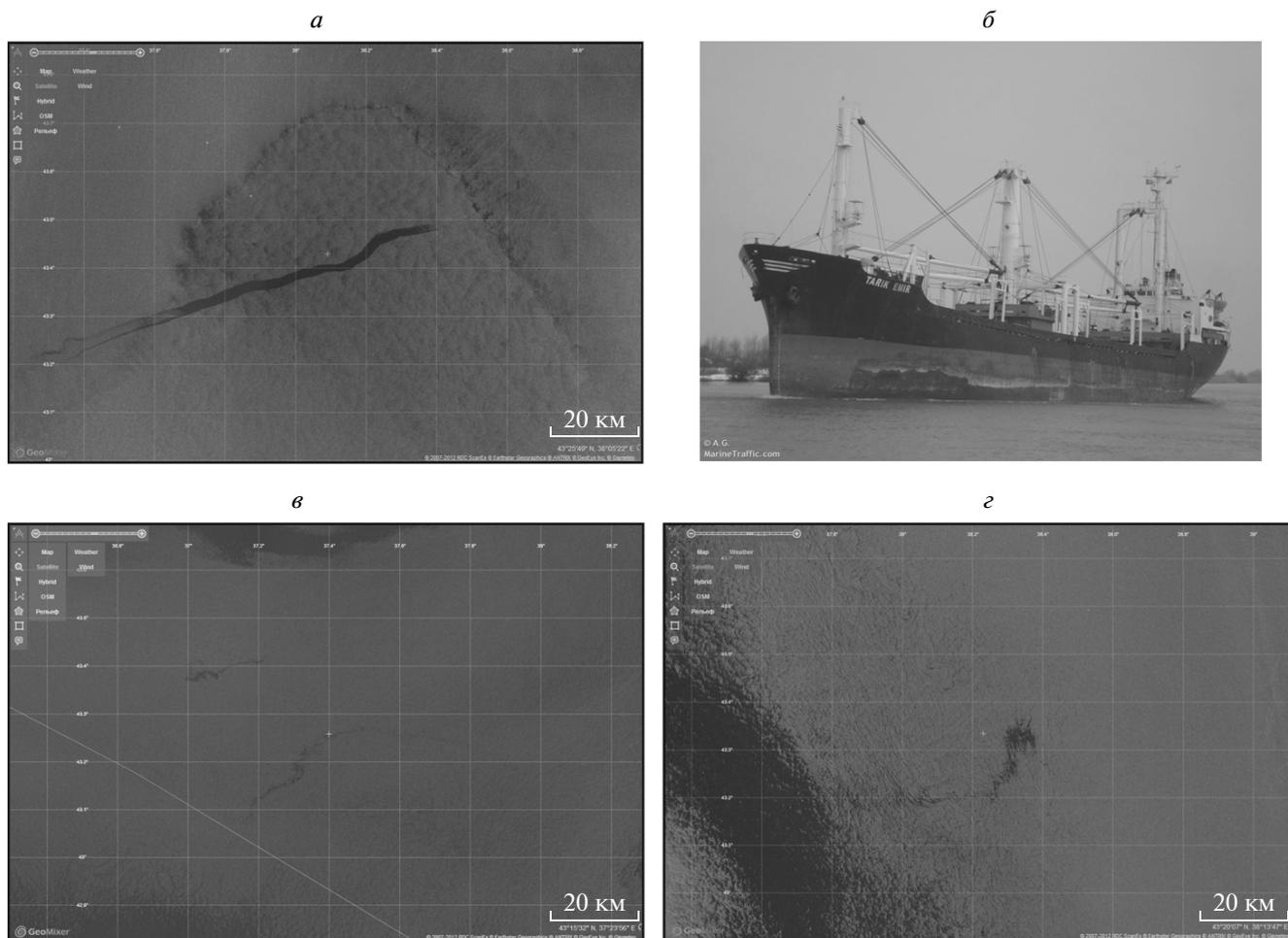


Рис. 7. *а* – Судовой разлив (площадь ~185 км²), обнаруженный на РЛИ Radarsat-1 от 05.08.2011 (03:40 UTC); *б* – грузовое судно “Tarik Emir” – судно-загрязнитель (фото: <http://www.marinetraffic.com>); и остатки разлива: *в* – на РЛИ Radarsat-1 от 08.08.2011 (15:11 UTC), *г* – на РЛИ Envisat от 09.08.2011 (07:52 UTC). © CSA/MDA, ESA, “СКАНЭКС”.

площадь 17.1 и 14.2 км²), а 26 и 29 сентября – в украинском секторе моря (суммарная площадь 59.6 и 42.5 км²).

На РЛИ Radarsat-1 от 7 октября 2012 г. в 03:27 UTC (рис. 8*а*) был обнаружен разлив (3 на рис. 10 на цветн. вклейке) в территориальных водах РФ на траверзе п. Туапсе (в 14 км от берега). Разлив имел линейчатый вид и состоял из шести фрагментов, что говорит о том, что он был сделан по ходу судна; судно находилось в 15 км от его начала. Суммарная длина пятна-слика составила 34.6 км, длина самой большей части – 17.8 км. Форма, положение (в терр. водах) и характеристики пятна позволили утверждать, что он был образован в результате нелегального сброса с проходящего судна.

По данным “АМП Новороссийск”, к инциденту 7 октября оказался причастен морской буксир “Сомери” (рис. 8*б*) под флагом России, следующий в п. Сочи курсом 132° со скоростью около 6 узлов. Инспекционной проверкой буксира в морском порту Сочи подтверждена причастность

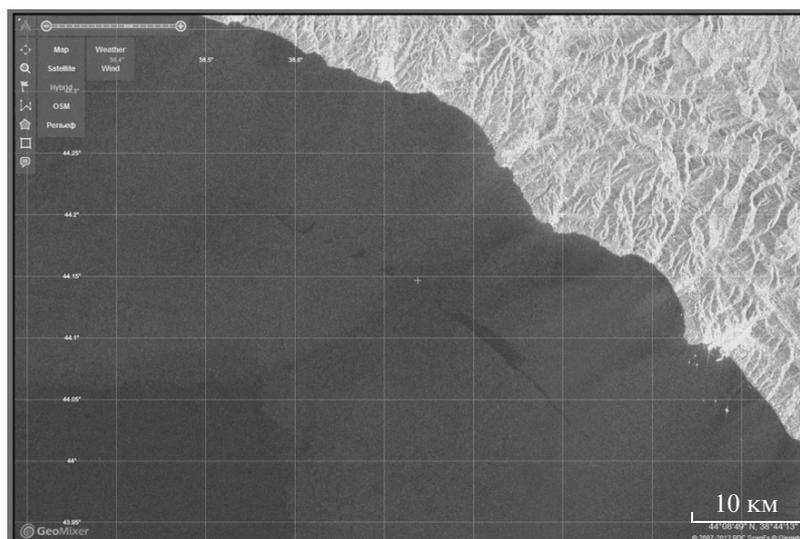
судна к несанкционированному сбросу около 1 м³ нефтешлама (смесь нефтепродуктов, воды и прочих примесей).

Инцидент 19 сентября был проанализирован более детально в “АМП Новороссийск”. По их данным, в момент времени, близкий к времени съемки, в районе обнаружения пятен находились наиболее вероятные источники загрязнений – т/х “Crystal Sun” (флаг Камбоджи, 1977 г. постройки), который убыл из порта Новороссийск после выгрузки цемента, и т/х “Dream True” (флаг Панама, 1983 г. постройки), который заходил в порт Новороссийск под погрузку леса (подробнее см. (Black Sea Commission, 2012)).

ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данной статьи на примере случая с танкером “Yukon Star” рассмотрим проблему мек танков в Черном море.

а



б



Рис. 8. а – Судовой разлив (площадь ~14 км²), обнаруженный в российских территориальных водах на РЛИ Radarsat-1 от 07.10.2012 (03:27 UTC); б – буксир “Сомери”, идентифицированный по данным АИС (фото: <http://www.marinetraffic.com>) © CSA/MDA, “СКАНЭКС”.

Судно-виновник и его маневры

Как уже говорилось, с помощью данных АИС из “АМП Новороссийск” было установлено, что в районе обнаруженного пленочного образования находилось судно “Yukon Star” (рис. 6). Детальный анализ данных ДЗ и АИС показал, что в период 23–25 июня 2011 г. танкер действительно совершал длительное сложное маневрирование в районе обнаружения пленочного загрязнения (рис. 5а). Само судно в момент сброса продуктов с шлейфом пленочных загрязнений достоверно обнаружено на двух РЛИ от 23.06.2011 и 24.06.2011 (рис. 1а, 2а). Так, на РЛИ от 23.06.2011

(рис. 1) длина следа составляет 119 км. Судно фактически совершило пять полных галсов (рис. 5а): три – курсом 310°–320° и два обратно – курсом 130°–140°, длиной от 85 до 123 км, с целью проведения операций мойки танков. Это и было зафиксировано на снимках из космоса.

На рис. 5б (цвет. вклейка) приведено совмещение трассы танкера (данные АИС “Транзас”) с его следом, отобразившимся на РЛИ от 24.06.2011 (рис. 2) – оно полностью подтверждает предварительные выводы о сложном маневрировании судна. Наконец, по данным сайта www.marinetraffic.com, 25.06.2011 в 17:43 UTC “Yukon Star”, по-видимому,

Таблица 1. Условия сброса нефтесодержащих смесей из машинных отделений судов всех типов (МАРПОЛ, 1999)

В пределах Особых районов	Нефтяные танкеры всех размеров и др. суда 400 бр. т и более	Запрещен любой сброс , кроме тех случаев, когда соблюдаются следующие условия: (1) судно на ходу; (2) содержание нефти в сбрасываемой смеси без разбавления составляет не более 15 мг/л (1 часть в 1 млн частей воды); (3) на судне включено оборудование для фильтрации нефти с устройством, блокирующим сброс при превышении уровня содержания нефти 15 мг/л; (4) на нефтяных танкерах льяльные воды сбрасываются не из насосных грузовых помещений и не смешаны с нефтеостатками груза.
	Суда менее 400 бр. т, не являющиеся нефтяными танкерами	Запрещен любой сброс , кроме тех случаев, когда нефтесодержание в сбрасываемой смеси составляет без разбавления не более 15 мг/л.

Таблица 2. Условия сброса стоков, содержащих вредные жидкие вещества в Особых районах (МАРПОЛ, 1999)

Категория веществ/Условия сброса	<i>A</i> (сильно-токсичные)	<i>B</i> (токсичные)	<i>C</i> (слабо-токсичные)	<i>D</i> (нейтральные и нетоксичные)
Максимальная концентрация вещества в стоке	отсутствует	1 мг/л в кильватерном следе судна	1 мг/л в кильватерном следе судна	1 часть вещества в 10 частях воды в сбрасываемой смеси
Максимальное кол-во груза, сбрасываемое из каждого танка	Запрещен. После мойки, смывки сдаются на приемное устройство	Запрещен. После мойки, смывки сдаются на приемное устройство	1 м ³ или 1/3000 от вместимости танка	без ограничений
Способ сброса	ниже ватерлинии			
Минимальная глубина моря	25 м			без ограничений
Минимальное расстояние от берега	12 морских миль			
Минимальная скорость судна	самоходных: 7 узлов несамоходных: 4 узла			

закончив операции мойки, находился в точке с координатами 43°29'40" с.ш., 36°34'30" в.д. и имел скорость около 1 узла (звездочка на рис. 4а).

Что разливают?

Инспектирование, проведенное 30.06.2011 специалистами "АМП Новороссийск", подтвердило, что судно в районе обнаружения действительно осуществляло мойку танков от остатков пальмового масла после разгрузки в п. Южный (Украина) и перед погрузкой дизельного топлива в п. Туапсе (СКАНЭКС, 2011а).

Пальмовое масло – растительное масло, получаемое из плодов масличной пальмы. Оно имеет красно-оранжевый цвет, запах и вкус, свойственный плодам пальмы, его консистенция полутвердая, плотность 0.895–0.95 кг/м³ (при 20°C), вязкость 25–31 сСт (при 50°C) (Vegetable oil spills, 2004). Это масло является одним из распростра-

ненных видов растительных жиров, производимых в мире (основные экспортеры – Индонезия и Малайзия), активно используется в пищевой и косметической промышленности. В последнее десятилетие оно, также как и другие виды растительных масел (рапсовое, соевое, льняное, хлопковое и др.), стало в значительных количествах перевозиться наливными танкерами, в том числе в российские порты; известен ряд инцидентов с его разливами (Vegetable oil spills, 2004; ITOPI, 2012).

Жидкие фракции пальмового масла или его смеси с водой, попав в море, образуют на морской поверхности такие же маслянистые пленки, как нефть и нефтепродукты. Очевидно, что на РЛИ слики, образованные этим маслом, будут создавать сигнатуры, по внешнему виду неотличимые от сигнатур нефтяных и прочих пленочных загрязнений (Vegetable oil spills, 2004; ITOPI, 2012).

Легальными или нелегальными были разливы?

Согласно Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов — МАРПОЛ-73/78 (МАРПОЛ, 1999), — Черное море является Особым районом, в котором сброс нефтепродуктов и нефтесодержащих смесей запрещен, однако при определенных условиях разрешен сброс нефтесодержащих смесей из машинных отделений, льяльных вод и веществ категории *C* и *D* (табл. 1 и 2). Пальмовое масло относят к веществам категории *D*, оно не представляет угрозу морской среде и здоровью человека (Vegetable oil spills, 2004). В МАРПОЛ загрязняющие вещества категории *D* определяются как “вещества, которые практически нетоксичны для морских организмов... или только временно ухудшают состояние природной среды из-за неприятного запаха, раздражающего или др. воздействия, что может препятствовать различным видам деятельности человека на море” (МАРПОЛ, 1999).

Однако Конвенция запрещает “сброс в море веществ категории *D* либо веществ, временно определенных как относящиеся к ней, или водного балласта, промывочных вод или иных остатков или смесей, содержащих такие вещества, за исключением случаев, когда одновременно соблюдаются все условия, перечисленные в табл. 2.

Согласно CEDRE (2004) и ITOPI (2012), пальмовое масло и другие растительные масла, будучи разлиты в значительных количествах, особенно весной или летом, могут нанести значительный урон как окружающей среде, так и экономической активности в регионе, например, туристическому бизнесу.

Совместный детальный анализ РЛИ и данных АИС показал, что танкер находился вне 12-мильной зоны, его средняя скорость в период с 00:00:16 UTC 24.06.2011 по 00:00:16 UTC 25.06.2011 составляла 7–8 узлов, а суммарная площадь разливов — 423.5 км², что является рекордом для Черного моря. Однако инспекция по контролю иностранных судов порта Туапсе от 30.06.2011 нарушений Конвенции не усмотрела — процедура мойки танков из-под пищевого груза (официально: сброс остатков — 26.4 м³ масла, разбавленного 1830 м³ морской воды) соответствовала общепринятым правилам — рекомендациям руководства Tank Cleaning Guide (2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, впервые в российской практике ДЗ удалось не только наблюдать из космоса пятна, связанные с мойками танков в открытом море, и нелегальные судовые разливы в прибрежной зоне, но и установить конкретных виновников разливов. Как показал мониторинг 2011–2012 гг., это особенно актуально для российской части Черного моря. Подобные пятна впервые наблюдали из кос-

моса и были верифицированы в 2011 г. (рис. 9 на цветн. вклейке) благодаря современным технологиям ДЗ. Для того чтобы однозначно идентифицировать разлив в открытом море на РЛИ, необходимо привлечь дополнительные данные, например данные АИС. Кроме того, для того чтобы определить легальным или нелегальным был разлив, необходимо проанализировать как доступную информацию об окружающей среде, так и положения соответствующих конвенций.

Форма, положение и характеристики абсолютного большинства крупных пятен на РЛИ позволяют однозначно утверждать, что они образованы в результате судовых сбросов. В частности, пятна имели линейный вид, что говорит о сбросах, производимых на ходу судна, они часто фрагментированы и/или расположены на параллельных курсах из-за выполнения операций в несколько этапов. Одной из характерных особенностей, отличающей их от обычных рутинных разливов, является то, что площади пятен достигают десятки квадратных километров и более.

Повторные РЛ и оптические спутниковые съемки подтвердили наличие маслянистых пленок на поверхности моря в данных районах. С помощью данных АИС были идентифицированы суда, причастные к загрязнению, — это танкер-химовоз “Yukon Star”, судно “Tarik Emir” и буксир “Сомери”. Данные инспектирования, проведенного в порту Туапсе, подтвердили выводы анализа данных ДЗ — танкер “Yukon Star” в районе обнаружения осуществлял мойку танков от остатков пальмового масла. Комплексный анализ всех данных в общем случае показал, что она была проведена легально, ибо формально соответствовала положениям конвенции МАРПОЛ. Тем не менее, во время мойки танков танкер слил в море достаточно большое количество водной смеси с остатками продукта в непонятной концентрации, для чего сделал в течение трех дней пять 100-км галсов. В результате этого на поверхности моря образовались огромные по площади пятна — 300–400 км², наблюдаемые оптическими и РЛ-датчиками 23, 24 и 25 июня 2011 г. Однако, согласно (MEPC, 1993; Ferraro et al., 2009), этот случай можно проинтерпретировать как нелегальный, так как водные смеси, сбрасываемые в Особых районах с концентрацией загрязняющих веществ, определенных в табл. 2, не должны быть видны ни визуально, ни дистанционно. Случаи с судами “Tarik Emir” и “Сомери” положениям конвенции МАРПОЛ не соответствовали. Их разливы неизвестной концентрации или содержали неизвестные маслянистые вещества, остатки которых продолжали наблюдаться на РЛИ через 3–4 дня после разлива (рис. 7в, г), или были обнаружены в территориальных водах РФ (рис. 10 на цветн. вклейке).

На рис. 9 и 10 приведены сводные карты судовых разливов, обнаруженных в восточной части Черного моря во время мониторинга 2011 и 2012 гг. Обращает внимание достаточно большое количество пятен в 2011 г. по сравнению с 2012 г. Это можно объяснить в том числе и тем, что в апреле 2012 г. вышел из строя спутник Envisat, данные которого составляли основу мониторинга, в связи с чем частота съемок несколько уменьшилась. Более того, ретроспективный анализ данных мониторинга, начиная с 2009 г., показал, что подобные судовые разливы в десятки и даже сотни квадратных километров в российском секторе Черного моря и на его границах с украинским и турецким секторами появляются достаточно часто (СКАНЭКС, 2011a, 2011b) и были зафиксированы на ряде других РЛИ, например, 28.10.2008, 23.05.2009, 28.05.2009, 15.05.2011 и 21.06.2011 (Иванов и др., 2012). Очевидно, наиболее вероятным источником этих крупных разливов также является мойка танков в открытом море после перевозки масел и жидких химических веществ категорий *C* и *D*, а, возможно, и нефтепродуктов. Из рис. 9 и 10 видно, что мойка танков периодически происходит на границе украинского и российского секторов с целью распыления ответственности, в то время как нелегальные сбросы с грузовых судов — большей частью до входа или сразу после выхода из российских территориальных вод. Их производят, нередко пренебрегая требованиями конвенции МАРПОЛ, т.е. нелегально, зачастую вне зоны действия береговых АИС, в том числе российских.

На основе анализа этих карт сделано заключение, что открытая часть Черного моря подвержена серьезному загрязнению, главным образом, в результате интенсивного судоходства. В частности, акватория моря в районе судоходных трасс загрязнена в результате мойки танков и нелегальных сбросов различных маслянистых продуктов. Детальный анализ этих и ряда других подобных случаев в украинском секторе моря (Black Sea Commission, 2012) показал, что район за пределами 12-мильной зоны (установленной конвенцией МАРПОЛ в качестве критичной границы) в координатах 43° – 44.5° с.ш. и 34.5° – 37.5° в.д. избран рядом судовладельцев, операторов и капитанов танкеров для нелегальной мойки танков и сброса льяльных вод.

Очевидно, что такое положение дел не сулит ничего хорошего экологии Черного моря даже при формальном соблюдении положений МАРПОЛ. А если это так, то российским природоохранным ведомствам необходимо разобраться с этой вновь обозначившейся проблемой, а также активно использовать данные космической РЛ-съемки в качестве доказательной базы.

Наконец, полученные результаты, использование современных технологий ДЗ и соответствующих методов анализа показывают, что:

1) космическая радиолокация является наиболее эффективным средством мониторинга и картографирования как нефтяных/пленочных загрязнений моря, так и навигационно-судовой обстановки;

2) возможна идентификация источников и типов загрязнения с учетом обнаруженных судов. В настоящее время не представляет никаких затруднений определять потенциальных нарушителей, используя спутниковые системы навигации и АИС, в том числе в тех случаях, когда производятся незаконные операции в открытом море;

3) возможен контроль за выполнением положений конвенций, регулирующих судоходство и охраняющих морскую среду, наблюдение за трансграничным переносом загрязнений, а также разработка мер в области охраны окружающей среды и исследования Черного моря в рамках международного сотрудничества.

В итоге, анализ собранных в ходе мониторинга РЛИ и данных АИС пролил свет на факты загрязнения одного из уникальных внутренних морей и дал новую информацию для понимания сути проблемы. Следует надеяться, что полученные данные и результаты будут способствовать охране среды Черного моря от нефти и нефтепродуктов, а на основе ДЗ, ГИС- и АИС-технологий и геопортальных решений создана эффективная система мониторинга восточной части Черного моря.

РЛ-данные Envisat, Radarsat-1 и Radarsat-2, как и данные АИС, для исследования были любезно предоставлены ИТЦ “СКАНЭКС”. Работа была частично профинансирована Правительством РФ в рамках государственной поддержки научных исследований под руководством ведущих ученых Российского государственного гидрометеорологического университета (грант № 11.G34.31.0078).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Губанов Е.П., Иевлева М.Н. Нефтяное загрязнение Черного моря и его влияние на экосистему // Мат. 2-й межд. конф. ЮгНИРО, 2006. С. 80–95. www.ceemar.org/dspace/bitstream/11099/1132/1/article-13.pdf.
- Иванов А.Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.
- Иванов А.Ю., Терлеева Н.В. Нефтяной разлив в Мексиканском заливе — вклад дистанционного зондирования в мониторинг чрезвычайной ситуации // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. 2011. № 8. С. 72–79. http://zikj.ru/images/archive/no8/no8_ivanov-mexica_72-79.pdf.
- Иванов А.Ю., Филимонова Н.А., Евтушенко Н.В., Антонюк А.Ю. Обширные судовые разливы в Черном море — легальные рамки? // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. 2012. № 12. С. 56–63. http://zikj.ru/images/archive/no12/no12_10_blacksea.pdf.
- Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного моря // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 3. С. 48–65.

- МАРПОЛ 73/78. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. Кн. 1 и 2. СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1999.
- Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
- Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 248 с.
- Пенно М.В. Состояние загрязнения вод Черного моря нефтяными углеводородами // Уч. зап. ТНУ. 2001. Вып. 12 (51). № 1.
- СКАНЭКС. В Черном море обнаружено обширное пленочное загрязнение. 2011а. http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n15313194.
- СКАНЭКС. Обширные судовые разливы в Черном море – легальные рамки? 2011б. http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n11973179.
- СКАНЭКС. Нелегальные судовые сбросы в Черном море по данным космической съемки. 2012. <http://press.scanex.ru/index.php/ru/component/k2/item/3620-razlivi>.
- Терлеева Н.В., Иванов А.Ю. Нефтяной разлив в Тиморском море: авария буровой платформы и результаты дистанционного мониторинга // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2013. № 16. С. 120–126.
- Alpers W., Espedal H.A. Oils and surfactants. In: Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual / Eds. C.R. Jackson, J.R. Apel. 2004. http://www.sarusersmanual.com/ManualPDF/NOAASARManual_CH11_pg263-276.pdf.
- Black Sea Commission. Нелегальные судовые сбросы в Черном море по данным космической съемки в сентябре-октябре 2012 // Расследование СКАНЭКС и BSNews. 2012. <http://www.blackseanews.net/read/47295>.
- Brekke C., Solberg A.H.S. Oil spill detection by satellite remote sensing in the world oceans // Rem. Sens. Environ. 2005. V. 95. P. 1–13.
- European Commission. On the monitoring illicit vessel discharges. A reconnaissance study in the Mediterranean Sea, EUR 19906 EN. 2001. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/11092/1/EUR%2019906%20EN.pdf>.
- Ferraro G., Meyer-Roux S., Müllenhoff O. et al. Long term monitoring of oil spills in European seas // Int. J. Rem. Sens. 2009. V. 30. P. 627–645.
- ITOPF Handbook, 2012. <http://www.itopf.com/information%20Dservices/publications/documents/ITOPFHandbook2012.pdf>.
- ITOPF. About vegetable oil spills. 2010. www.itopf.com/marine-spills/about-veg.
- Ivanov A. Yu., Zatyagalova V. V. A GIS approach to mapping of oil spills in a marine environment // Int. J. Rem. Sens. 2008. V. 29. P. 6297–6313.
- Kluser S., Richard J.P., Giuliani G., De Bono A., Peduzzi P. Illegal oil discharge in European seas // UNEP Environ. Alert Bull. 2006. V. 7. www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_oildischarge.en.pdf.
- MEPC. Resolution of Marine Environment Protection Committee 61(34) on visibility limits of oil discharges. 1993. [http://www.imo.org/blast/blastData.asp?doc_id=6981&filename=61\(34\).pdf](http://www.imo.org/blast/blastData.asp?doc_id=6981&filename=61(34).pdf).
- Morović M., Ivanov A. Oil spill monitoring in the Adriatic Croatian waters: needs and possibilities // Acta Adriatica. 2011. V. 52. P. 45–56.
- Müllenhoff O., Bulgarelli B., Ferraro G., Topouzelis K. The use of ancillary metocean data for the oil spill probability assessment in SAR images // Fresenius Environ. Bull. 2008. V. 17. № 9b. P. 1383–1390.
- Tank Cleaning Guide. 2010. <http://www.tankcleaning.de>, <http://www.chemserve-marine.com>.
- Topouzelis N.K. Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms // Sensors. 2008. V. 8. P. 6642–6659. doi: 10.3390/s8106642.
- Vegetable oil spills at sea. CEDRE, 2004. <http://www.cedre.fr/en/publication/operational-guide/vegetable-oil/vegetable-oil.php>.

Using Satellite SAR Imagery and Automated Identification System Data for Identification of Ship-Made Oil Spills in the Black Sea

A. Yu. Ivanov¹, A. A. Kucheiko², N. A. Filimonova², N. V. Evtushenko^{1,2},
A. Yu. Antonyuk², N. V. Terleeva¹

¹*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Research and Development Center ScanEx, Moscow*

During routine oil spill monitoring in the Eastern Black Sea in 2011 and 2012 by RDC ScanEx unprecedented large patches of oil having ship origin have been detected on synthetic aperture radar (SAR) images acquired by Envisat, Radarsat-1 and Radarsat-2. The oil spills were detected mostly in the Russian sector of the sea or on its borders. The presence of large oil spills have been confirmed by Terra and Aqua optical images, while owing to the data of automated identification systems the vessel candidates have been identified and two of them inspected. This paper for the first time presents the results of monitoring that show that the central part of the Black Sea is chosen for tank washing operations as well as for illegal dumping of oily products. A legality of producing of these spills in the frame works of the MARPOL Convention is also discussed. These and other similar events registered during the monitoring require attention of the environmental and nature protection organizations. Summary maps of large oil spills detected in the Eastern Black Sea in 2011 and 2012 are presented and discussed.

Keywords: satellite monitoring, SAR images, automated identification systems data, illegal oil spills, Black Sea

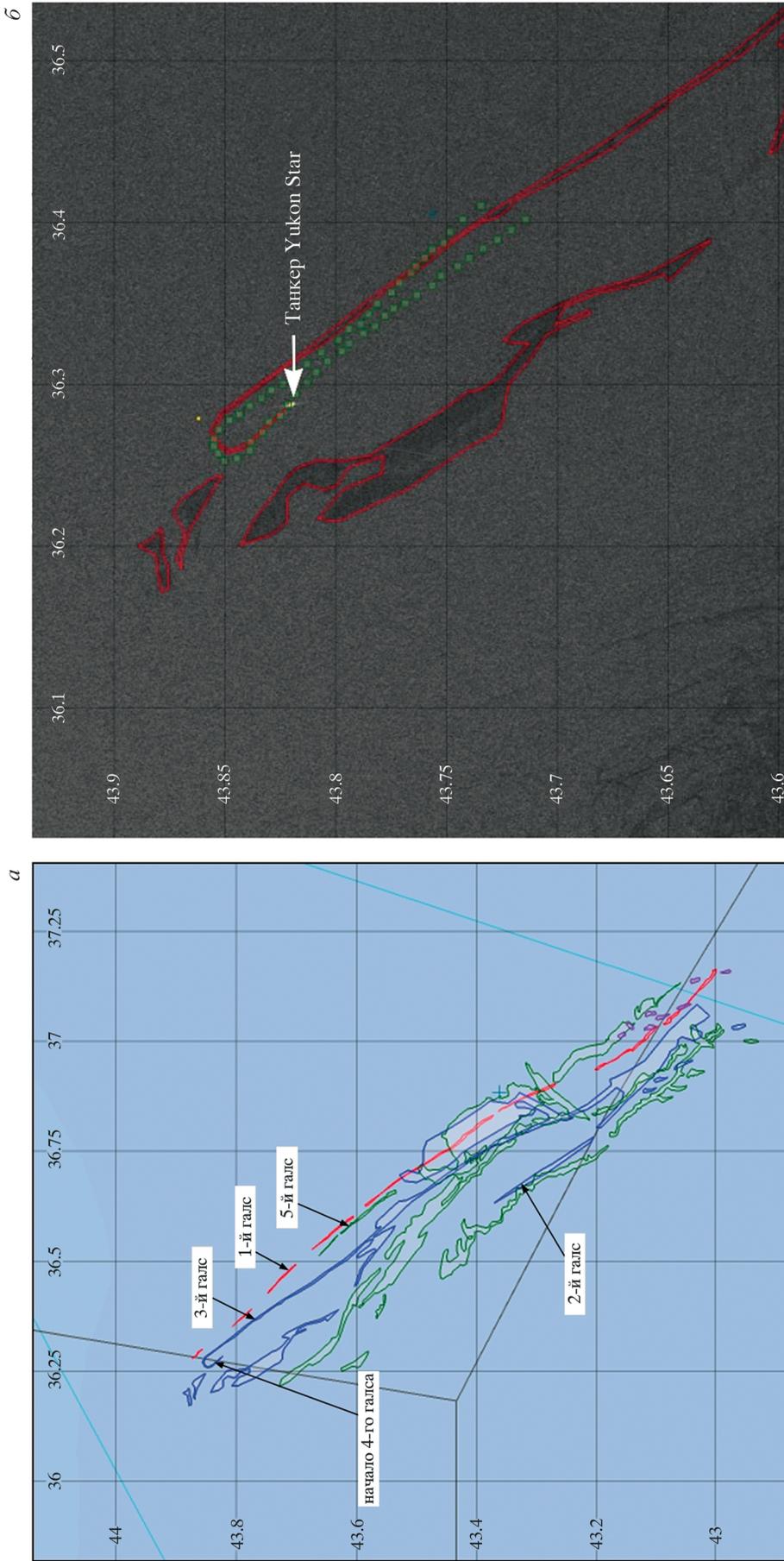


Рис. 5. *а* – Интегральная карта пятен, обусловленных мойкой танков: красным показаны пятна, обнаруженные с 23.06.2011 г. (общая площадь 18 км²); обнаруженные с 24.06.2011 г.: на РЛИ Eplisat – фиолетовым, на РЛИ Kadarsat-2 – голубым (~320,5 км²); обнаруженные с 25.06.2011 г. – зеленым (~423,5 км²); стрелки с цифрами показывают последовательность галсов; *б* – совмещение пятен на РЛИ от 24 июня (15:23 UTC) (красные контуры) и данных АИС (зеленые квадратики), записанных с 14:01 по 15:42 UTC; в результате этой процедуры было идентифицировано судно – танкер «Yukon Star» под флагом Великобритании. © «СКАНЭКС».

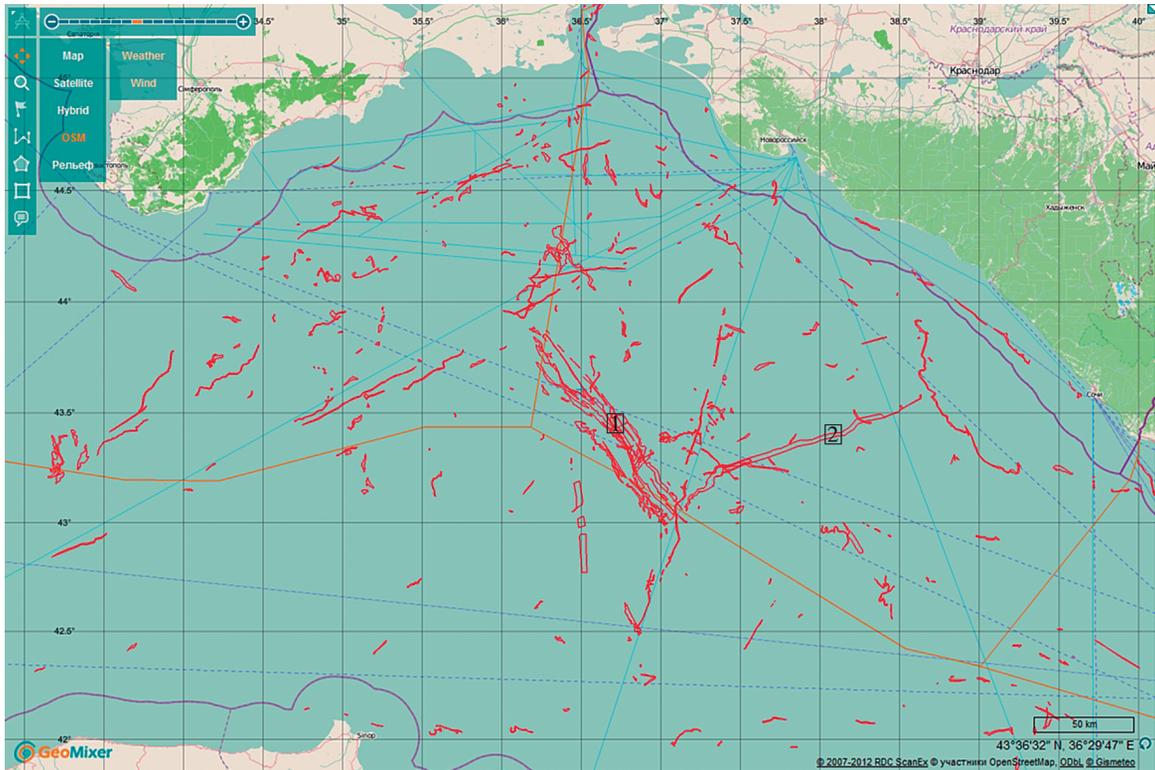


Рис. 9. Интегральная карта крупных судовых разливов, обнаруженных на РЛИ Envisat, Radarsat-1 и Radarsat-2 в восточной части Черного моря во время мониторинга в 2011 г. Разливы в территориальных водах (фиолетовая линия) России и Украины однозначно нелегальные; границы экономзон показаны светло-коричневым, территориальных вод – фиолетовым, судовые трассы – голубым (1 – разливы «Yukon Star», 2 – разлив «Tarik Emir»). © «СКАНЭКС».

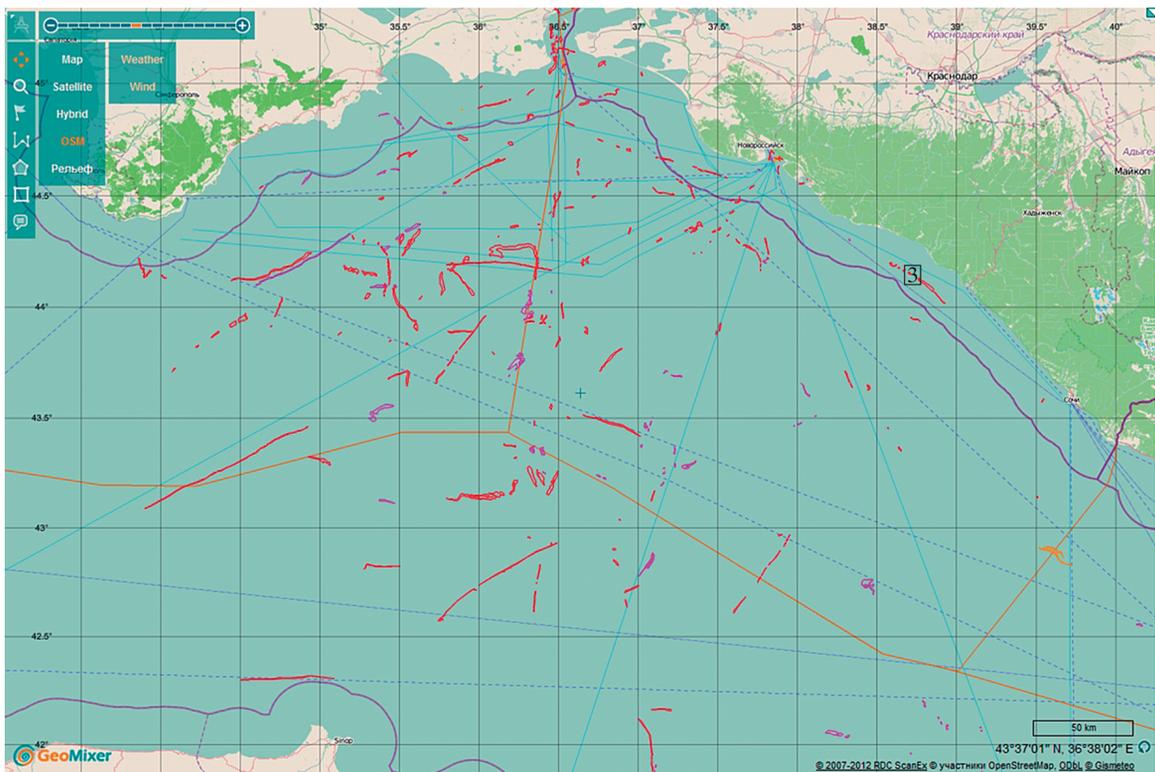


Рис. 10. Интегральная карта крупных судовых разливов, обнаруженных главным образом на РЛИ Radarsat-1 и Radarsat-2 в восточной части Черного моря во время мониторинга в 2012 г. Разливы в территориальных водах России и Украины однозначно нелегальные (3 – разлив «Сомери»). Обозначения те же, что на рис. 9. © «СКАНЭКС».