

А.Г. Костяной

*Проф., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института океанологии
им. П.П. Шириова РАН, г. Москва, Россия*

*Научный сотрудник Московского университета им. С.Ю. Витте,
г. Москва, Россия*

Е.В. Булычева

*Научный сотрудник Атлантического отделения Института океанологии
им. П.П. Шириова РАН, г. Калининград, Россия*

О.Ю. Лаврова

*К.ф.-м.н., зав. Лабораторией Института космических исследований РАН,
г. Москва, Россия*

М.И. Митягина

*К.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института космических
исследований РАН, г. Москва, Россия*

A.G. Kostianoy

*Prof., Dr., Chief Scientist, P.P. Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Scientist, S.Yu. Witte Moscow University, Moscow, Russia

E.V. Bulycheva

*Scientist, Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology,
Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia*

O.Yu. Lavrova

*Dr., Head of Laboratory, Space Research Institute,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

M.I. Mityagina

*Dr., Senior Scientist, Space Research Institute,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ И ФИНСКОГО ЗАЛИВА

OIL POLLUTION OF THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA AND THE GULF OF FINLAND

Резюме. В статье приводится сводная информация о нефтяном загрязнении юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива, полученная на основе многолетних данных спут-

Abstract. The article summarizes the information about oil pollution in the southeastern part of the Baltic Sea and the Gulf of Finland, obtained on the basis of long-term data of satellite and aircraft

никовых и самолетных наблюдений. Показано, что основными источниками нефтяного загрязнения Балтийского моря являются суда различных типов. Определены основные районы нефтяного загрязнения Балтийского моря, которые связаны с основными судоходными трассами и подходами к портам балтийских стран.

Ключевые слова: Балтийское море, Финский залив, нефтяное загрязнение, нефтяные пятна, спутниковый мониторинг, радиолокационные изображения, судоходные трассы, нефтедобывающая платформа D-6.

observations. It is shown that the main sources of oil pollution of the Baltic Sea are ships of various types. The main areas of oil pollution of the Baltic Sea, which are connected with the main shipping lanes and approaches to the ports of the Baltic countries, are detected.

Keywords: The Baltic Sea, the Gulf of Finland, oil pollution, oil spills, satellite monitoring, SAR imagery, shipping lanes, D-6 oil platform.

ВВЕДЕНИЕ

Задача по выявлению зон устойчивого нефтяного загрязнения морей, и, в частности, Балтийского моря, является чрезвычайно сложной, поскольку требует многолетних морских, самолетных и спутниковых наблюдений. Такие наблюдения в Балтийском море проводятся более 30 лет, однако нерегулярно по времени и неравномерно по площади, а их количество сильно варьируется между разными странами Балтики [1, 2]. В результате картина нефтяного загрязнения создается неточная, если мы будем анализировать ежегодные сводки ХЕЛКОМа о детектировании нефтяных пятен воздушными (самолетами и вертолетами) средствами. На рис. 1 представлена сводка таких наблюдений за 2015 г., которая не показывает нефтяных загрязнений в Центральной Балтике и на акваториях Российской Федерации в Финском заливе и в Юго-Восточной Балтике (Калининградская область). Последнее объясняется тем, что с 1993 г. РФ не осуществляет воздушных наблюдений нефтяного загрязнения балтийских вод [2]. Следует отметить, что в РФ не ведутся регулярные самолетные наблюдения нефтя-

ного загрязнения и других морей РФ, даже тех районов, где ведется добыча, перевалка и транспортировка нефти, а также существует интенсивное судоходство [3].

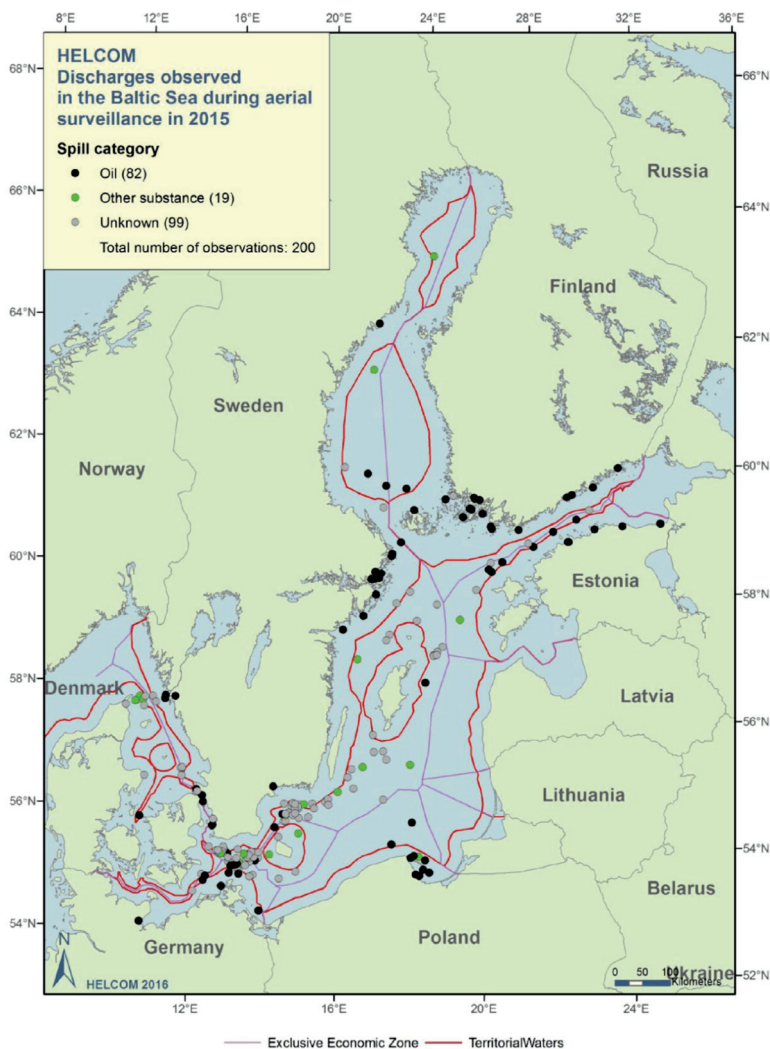


Рис. 1. Положение нефтяных пятен (82, черные точки), пятен других веществ (19, зеленые точки) и пятен неизвестного состава (99, серые точки), выявленных в Балтийском море в 2015 г. по данным воздушных наблюдений [2]. Красная линия – граница территориальных вод, фиолетовая – граница исключительных экономических зон (ИЭЗ).

Для того чтобы получить более полное представление о нефтяном загрязнении Балтийского моря, с 2004 года мы стали строить сводные многолетние карты нефтяного загрязнения, сначала по данным ХЕЛКОМ (Рис. 2), а затем по собственным данным анализа спутниковых радиолокационных наблюдений (Рис. 3). На рис. 2 представлена сводная карта нефтяных пятен, обнаруженных в Балтийском море в 1989–2002 по данным воздушных наблюдений, ежегодно публикуемым ХЕЛКОМом. Сводная картина наблюдений за 14 лет сразу «прорисовала» основные судоходные трассы в Балтийском море, а также подходы к основным портам и нефтяным терминалам всех стран Балтики.

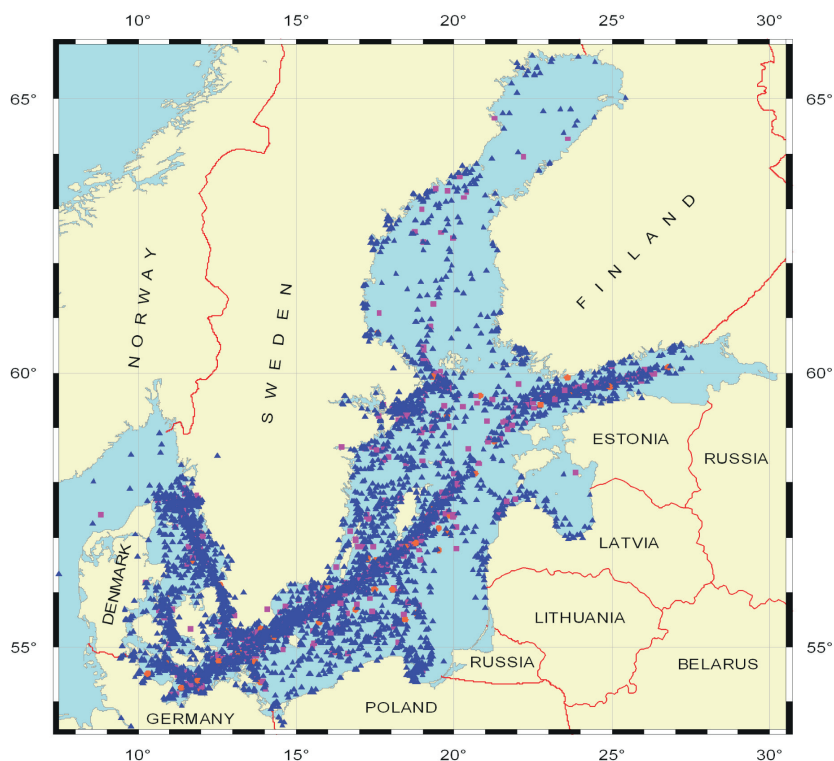


Рис. 2. Карта нефтяных пятен, обнаруженных в Балтийском море в 1989–2002 гг. по данным воздушных наблюдений [5]

Этот факт однозначно ставит судоходство на первое место среди источников нефтяного загрязнения Балтийского моря. Причем виновниками нефтяного загрязнения являются суда различных типов и назначения, включая пассажирские, рыболовные и военные, а не только танкеры, как это принято считать. Снова обращают на себя внимание абсолютно «чистые» воды РФ в Финском заливе и в Юго-Восточной Балтике, что объясняется отсутствием воздушных наблюдений с 1993 года.

ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА

Регулярный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики проводится с 2004 г. (по настоящее время – декабрь 2016 г.) в рамках производственного экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское» (морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) D-6) ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» и ряда российских и международных научных проектов [1, 4–21]. В рамках мониторинга, в частности, выполняется радиолокационный контроль появления и распространения нефтяных пятен на поверхности моря по оперативным данным со спутников, оснащенных радаром с синтезированной апертурой (РСА). Благодаря широкому охвату радиолокационных изображений (до 500 км x 500 км), район спутниковых наблюдений захватывает не только акваторию РФ, но и частично или полностью воды Германии, Дании, Польши, Литвы, Латвии, Эстонии и Швеции. Подчеркнем, что это единственный в РФ оперативный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения, который ведется практически ежедневно на протяжении 13 лет.

В 2004 г. мы стали строить первые сводные карты нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики на основе анализа РЛИ, полученных в ходе производственного экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское», которые отличались от карт ХЕЛКОМа

тем, что представляли реальный размер и форму каждого нефтяного пятна.

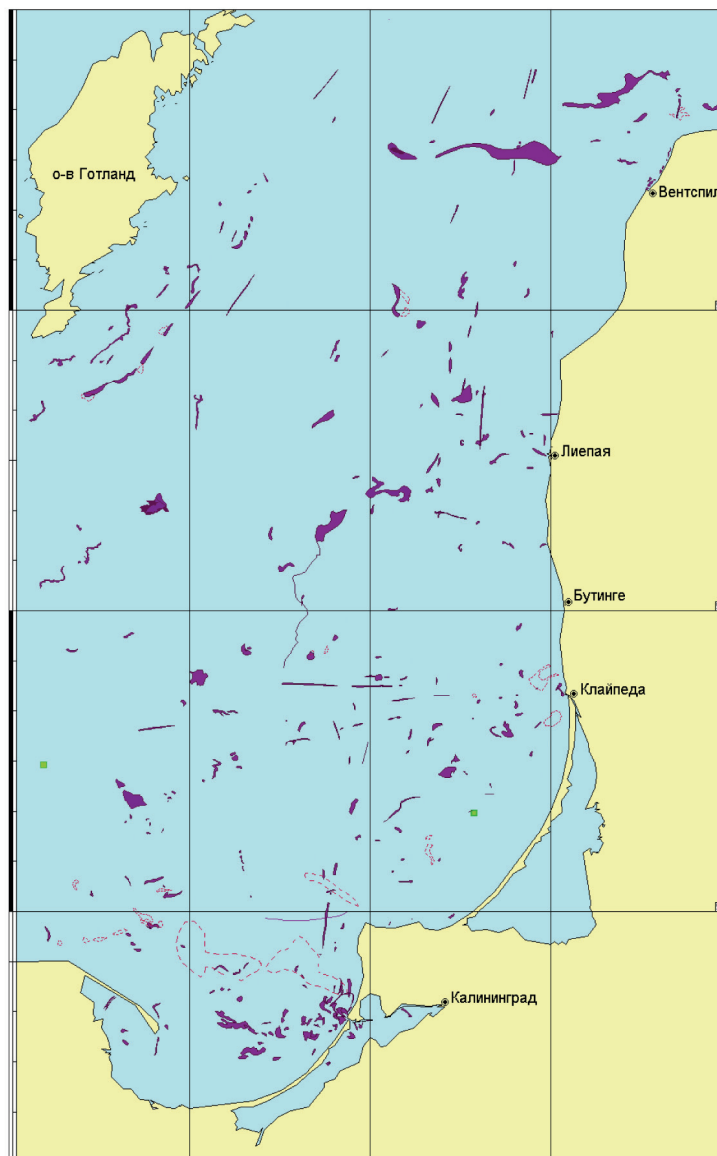


Рис. 3. Карта всех нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа РЛИ ASAR Envisat и SAR RADARSAT с июля 2004 г. по ноябрь 2005 г. [6]

На рис. 3 представлена сводная карта нефтяных пятен, обнаруженных нами за период мониторинга с июля 2004 г. по ноябрь 2005 г. Всего с 1 июля 2004 г. по 30 ноября 2005 г. было получено, обработано и проанализировано 230 радиолокационных изображений со спутника ENVISAT и 17 со спутника RADARSAT, на которых в общей сложности было выявлено 274 отдельных пятна нефтепродуктов на поверхности юго-восточной части Балтийского моря (рис. 3). Как и следовало ожидать, массив пятен четко вырисовывает основные судоходные трассы в юго-восточной части Балтийского моря, направленные к портам Вентспилс, Лиепая, Клайпеда, Калининград, а также трассу вдоль Готланда (см. рис. 3 и 2).

По предложенной нами методике сводные карты нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики продолжали строиться ежегодно по мере накопления проанализированных радиолокационных данных и публиковаться в отчетах компаний ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» (<http://www.lukoil-kmn.com/allmonitoring>), ПАО «ЛУКОЙЛ» (http://www.lukoil.ru/static_6_5id_2135_.html), а также в научных статьях [5-7, 9, 14, 16-18, 20, 21]. Для выявления нефтяного загрязнения на морской поверхности в Юго-Восточной Балтике в 2004-2016 гг. использовались радиолокационные изображения (РЛИ) со спутников ENVISAT Европейского космического агентства (ESA) (до апреля 2012 г.), RADARSAT-1 Канадского космического агентства (CSA) (до марта 2013 г.), RADARSAT-2 компании МакДональд, Деттвилер и Партнеры (MDA, Канада), COSMO-SkyMed-1, -2, -3, -4 Итальянского космического агентства (ASI), TerraSAR-X Германского центра авиации и космонавтики (DLR), а также Sentinel-1A и Sentinel-1B Европейского космического агентства (ESA). Интервал между двумя последовательными съемками составлял от 12 до 72 часов, а с появлением спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B в отдельные дни интервал составлял от 7 до 15 мин. Хорошо известно, что при скоростях приводного ветра менее 2 м/с и более 10 м/с спутни-

ковая радиолокация не выявляет нефтяного загрязнения. Поэтому все приведенные ниже результаты соответствуют нижней оценке реального нефтяного загрязнения морской поверхности. В 2004–2015 гг. в рамках производственного экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское» прием и обработка РЛИ осуществлялись норвежским спутниковым оператором Kongsberg Satellite Services (KSAT) в Тромсё, а в рамках национальных и международных научных проектов – в рамках научных контрактов с Европейским космическим агентством.

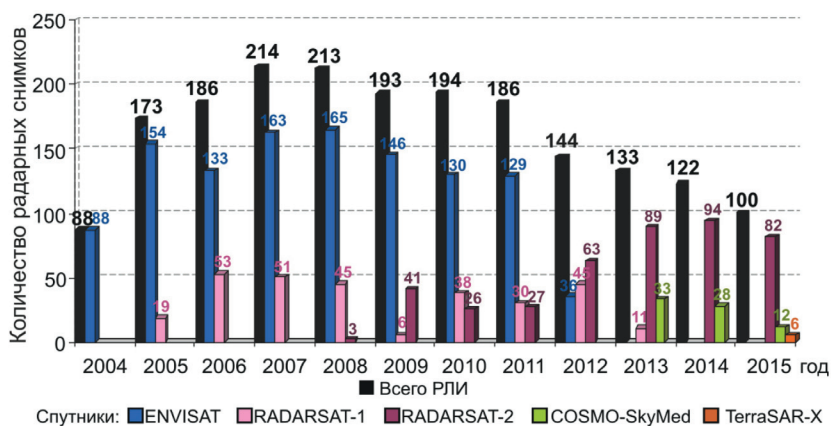


Рис. 4. Количество РЛИ, полученных и проанализированных со спутников, оснащенных РСА, с 2004 по 2015 г. [21]

На рис. 4 представлена гистограмма РЛИ, полученных с различных спутников в 2004-2015 гг. Она показывает, что количество снимков менялось примерно от 200 до 100 в год, при этом мы считали, что 200 РЛИ в год вполне достаточно для определения основных характеристики нефтяного загрязнения в Юго-Восточной Балтике, учитывая чрезвычайно высокую стоимость оперативных РЛИ (примерно от 1000 до 4000 долл. США за 1 снимок в зависимости от спутника). Именно высокая стоимость РЛИ стала причиной неуклонного снижения количества снимков, заказываемых для мониторинга (рис. 4). С появлением радиолокационных

спутников Sentinel-1A в 2014 г. и Sentinel-1B в 2016 г. и политикой Европейского космического агентства по расширению бесплатного предоставления спутниковых данных появилась возможность получать до 200–240 бесплатных РЛИ по изучаемому району, но не в оперативном режиме.

За период спутниковых наблюдений с 2004 по 2015 год всего было проанализировано 1946 РЛИ (рис. 4), на которых было идентифицировано 1232 нефтяных пятен (рис. 5) из них 638 в районе мониторинга (рис. 6), который включал исключительные экономические зоны (ИЭЗ) России, Литвы и частично Польши [18, 20, 21].

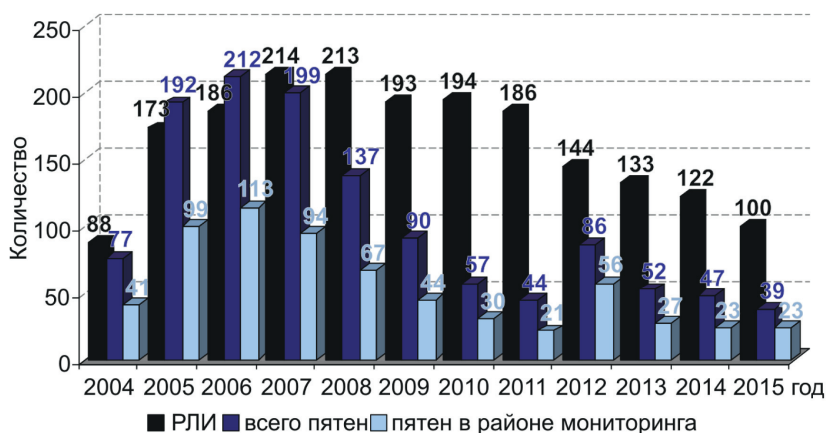


Рис. 5. Количество проанализированных РЛИ и обнаруженных на них нефтяных пятен с 12.06.2004 г. по 31.12.2015 г. [21]

Анализ формы нефтяных пятен показал, что основным источником загрязнения поверхности моря являются движущиеся суда, которые оставляют за собой узкие пятна протяженной формы. Наиболее загрязненным районом Юго-Восточной Балтики остается район к западу от Самбийского полуострова и на подходе к Калининградскому каналу (в районе Балтийска) (см. рис. 6). Рейд порта Балтийск и якорная стоянка вблизи него является наиболее загрязненной акваторией российского сектора Юго-Восточной Балти-

ки [1, 6–9, 11, 12–14, 16–18, 20, 21]. Нефтяные пятна концентрируются и вытягиваются вдоль основных судоходных трасс, идущих из Гдыни и Гданьска (Польша) на северо-запад и на северо-восток, из Калининградского канала (Россия) на северо-запад и на север, из Клайпеды (Литва) на запад и на юго-запад (рис. 6).

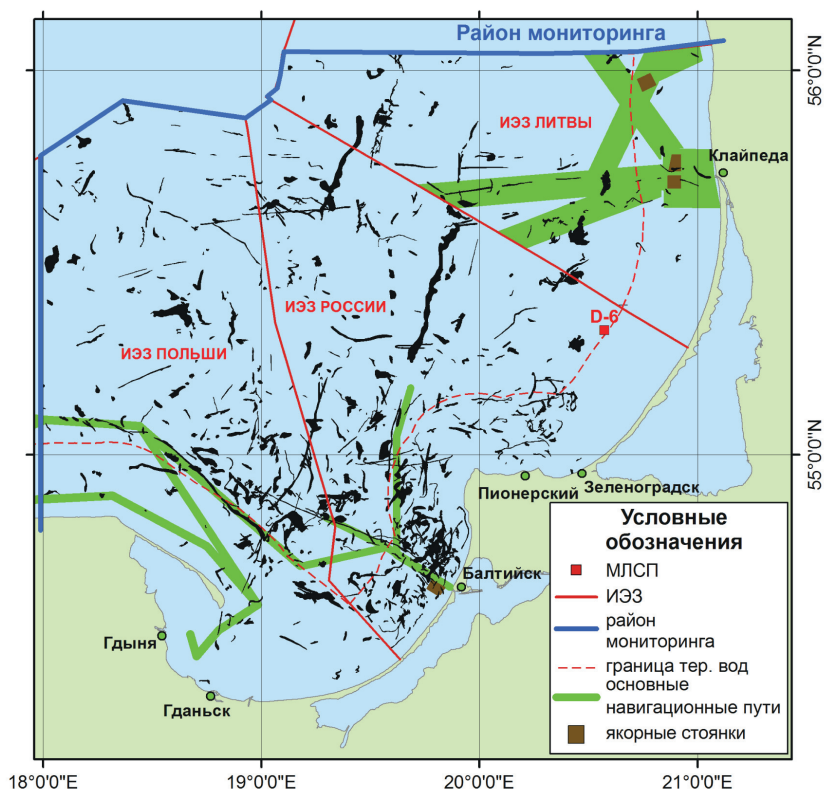


Рис. 6. Сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных на РЛИ в районе экологического мониторинга Кравцовского нефтяного месторождения в 2004-2015 гг. [21]

Сравнительный анализ концентрации нефтяных пятен и плотности сигналов AIS (системы автоматической идентификации судов) показал, что существующее смещение нефтяных пятен от основной судоходной трассы в районе

порта Балтийск к северо-востоку является следствием преобладающих ветров в Юго-Восточной Балтике и поверхностных течений в Гданьском заливе [17, 20].

В отдельные годы (2006–2009, 2012) наблюдалось скопление нефтяных пятен к северу от Самбийского полуострова вблизи морского порта Пионерский (см. рис. 6), где уровень судоходства очень низкий, о чем свидетельствует маленькая плотность сигналов AIS. Это объясняется сбросом нефтепродуктов с маломерных судов, в основном рыболовных, не оснащенных оборудованием AIS [16]. За 13-ти летний период ни одного случая нефтяного загрязнения от МЛСП D-6 зафиксировано не было.

Как было показано выше, около 600 нефтяных пятен было зафиксировано в 2004–2015 гг. за пределами района мониторинга. На рис. 7 представлена сводная карта всех нефтяных пятен, зарегистрированных на всех полученных и обработанных РЛИ, включая воды Германии, Дании, Польши, Литвы, Латвии, Эстонии и Швеции [18]. В качестве цветной подложки показана степень покрытия данной акватории Балтики радиолокационными изображениями, которая существенно неоднородна, что объясняется фокусировкой РЛ-съемки на район нефтяной платформы D-6 и циклической геометрией РЛ-съемки, отличающейся для каждого спутника. В связи с этим, необходимо понимать, что концентрация или отсутствие нефтяных пятен на той или иной акватории частично объясняется разной плотностью покрытия акватории радиолокационными изображениями.

Анализ полученной карты выявил концентрацию нефтяных пятен (кроме выявленных выше) на подходах к портам Лиепая, Вентспилс и Рига (Латвия), а также четко прорисовал основные судоходные трассы восточнее и южнее острова Готланд (Швеция), еще одну трассу чуть севернее границы ИЭЗ Швеции и Польши и две судоходные трассы, ведущие из Клайпеды и Гданьского залива на запад (рис. 7).

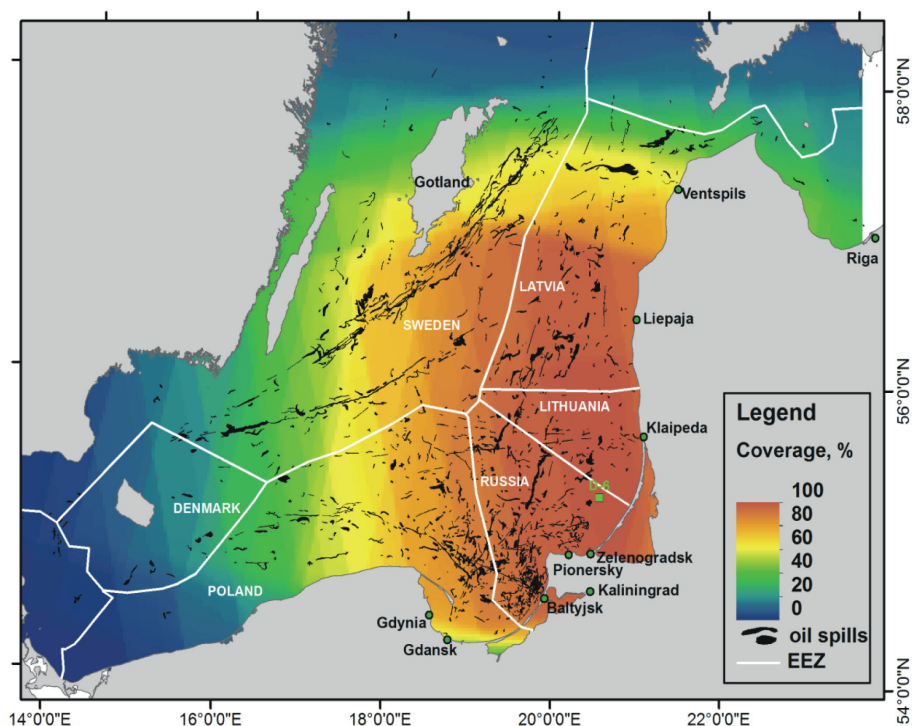


Рис. 7. Сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных на РЛИ в Юго-Восточной Балтике в 2004–2015 гг. [18].
Цвет фона показывает степень покрытия данной акватории радиолокационными изображениями. Белые линии показывают границы ИЭЗ балтийских стран.

Для подтверждения сделанного вывода и большей наглядности в качестве подложки для сводной карты нефтяных пятен была взята плотность сигналов AIS, которая фактически красными линиями прорисовывает основные судоходные трассы в исследуемом районе Балтийского моря (рис. 8). Анализ этой карты показывает, что достаточно большое количество нефтяных пятен «ложится» точно на судоходные трассы с большой интенсивностью движения, однако не менее значительное число пятен остается в «зеленой» зоне, где интенсивность судоходства минимальна.

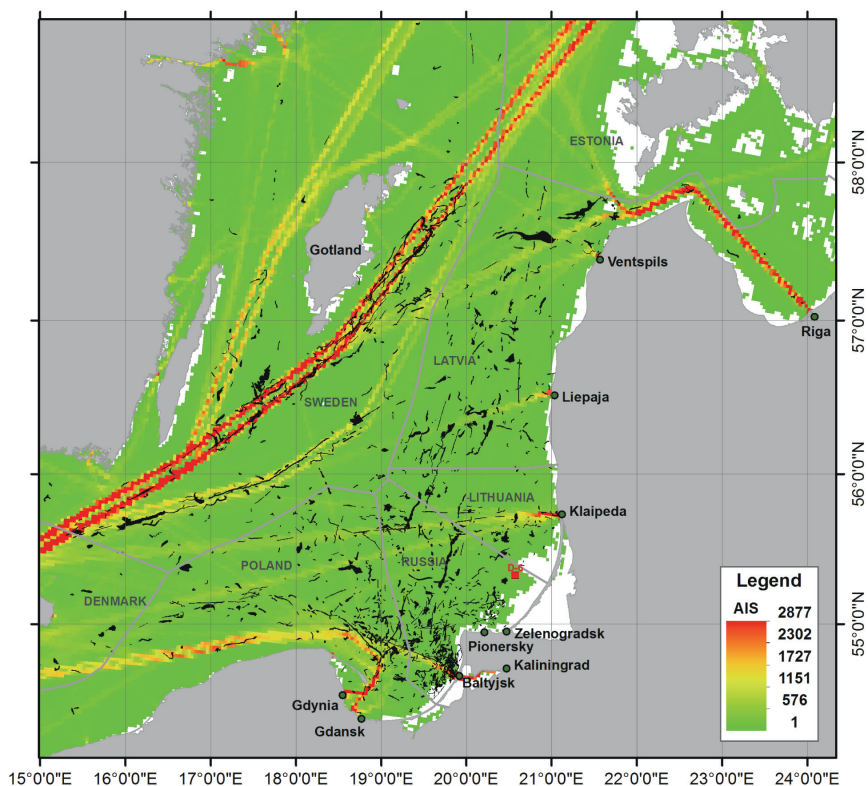


Рис. 8. Сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных на РЛИ в Юго-Восточной Балтике в 2004–2015 гг. [18]. Цвет фона показывает плотность сигналов AIS по данным ХЕЛКОМ за 2011 год. Серые линии показывают границы ИЭЗ балтийских стран.

Полученные сводные результаты анализа нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики позволили выявить районы, наиболее подверженные нефтяному загрязнению, что позволяет более точно сфокусировать спутниковые, авиационные и морские средства контроля окружающей среды, имеющиеся в странах балтийского региона. Для Российской Федерации проводимый спутниковый мониторинг Юго-Восточной Балтики имеет чрезвычайно важное значение еще и с точки зрения: (1) разграничения ответственности за наблюдаемое загрязнение; (2) трансграничного

переноса загрязнений между сопредельными странами; (3) добычи нефти на платформе D-6, риска возможной аварии и потенциальных негативных последствий для экологии региона.

ФИНСКИЙ ЗАЛИВ

Экологическое состояние Финского залива вызывает серьёзное беспокойство учёных Финляндии, Швеции, Эстонии и России в связи с ключевой ролью Финского залива в экологическом состоянии восточной части бассейна Балтийского моря. Особенное беспокойство вызывают проекты строительства нефтеналивных портов в Финском заливе. В период с января 2009 г. по апрель 2012 г., включая время строительства газопровода Северный поток – с мая 2010 по апрель 2012 – проводился комплексный спутниковый мониторинг для контроля состояния поверхности Финского залива. Основным средством дистанционного контроля состояния морской поверхности и оценки степени загрязнённости являлись радиолокаторы с синтезированной апертурой, установленные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) ERS-2 и Envisat Европейского космического агентства. Для уверенной интерпретации радиолокационных изображений (РЛИ) привлекались данные сенсоров MODIS ИСЗ Aqua/Terra, MERIS ИСЗ Envisat и AVHRR ИСЗ NOAA видимого и инфракрасного диапазонов, несущие информацию о полях температуры поверхности моря, взмученности вод, содержании хлорофилла, ледяном покрове и мезомасштабной динамике вод. Дополнительно использовались данные сканирующих радиометров ETM+ ИСЗ Landsat 7 и TM Landsat 5.

Обобщённая карта-схема антропогенных загрязнений (представлены реальные формы и размеры пятен) акватории Финского залива, составленная на основе дешифрирования данных спутниковой радиолокации за 2009–2012 гг., представлена на рис. 9. Как видно из карты, в акватории Фин-

ского залива можно выделить три района, подверженных наибольшему загрязнению: (I) Участок акватории Балтийского моря вблизи входа в Финский залив; (II) Центральная часть Финского залива, восточнее судоходной трассы Хельсинки – Таллинн; (III) Невская губа (рис. 9 и 12). Загрязнениям в каждом из вышеперечисленных районов присущи свои отличительные черты.

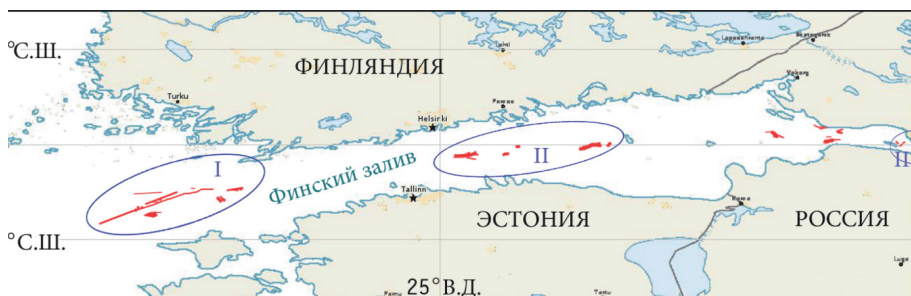


Рис. 9. Сводная карта нефтяных пятен в Финском заливе Балтийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009–2012 гг.

Район I. Спутниковая съёмка выявила высокий уровень загрязнённости вдоль судоходных трасс вблизи входа в Финский залив. Основными источниками антропогенных загрязнений морской поверхности в этом районе являются сбросы вод, содержащих нефтепродукты с движущихся судов. При этом суда могут сбрасывать воды, содержащие нефтепродукты, на протяжении нескольких десятков километров своего пути. На рис. 10 приведены характерные примеры радиолокационного проявления нефтяного загрязнений такого типа. На рис. 10а представлен фрагмент ASAREnvisat изображения, полученного 6 июня 2009 г. северо-западнее о. Сааремаа в условиях слабого ветра и небольшого волнения. С двух судов, следующих один другим из Финского залива, были произведены сбросы вод, содержащих нефтепродукты. Совокупная длина тонкой сли-

ковой полосы за судами составила 88,6 км. Подобные ситуации наблюдаются регулярно. Чаще всего незаконные сбросы нефтепродуктов детектируются в районе судоходной трассы севернее острова Хийумаа. В частности, на РЛИ от 17 июня 2010 г. (рис. 10б) за судном, которое выделяется в виде яркой белой точки на конце сликовой полосы, выявлено загрязнение морской поверхности, растянувшиеся на 18,5 км. Сужение полосы к юго-западу свидетельствует о том, что судно, сбрасывающее нефтесодержащие воды, движется в этом направлении.

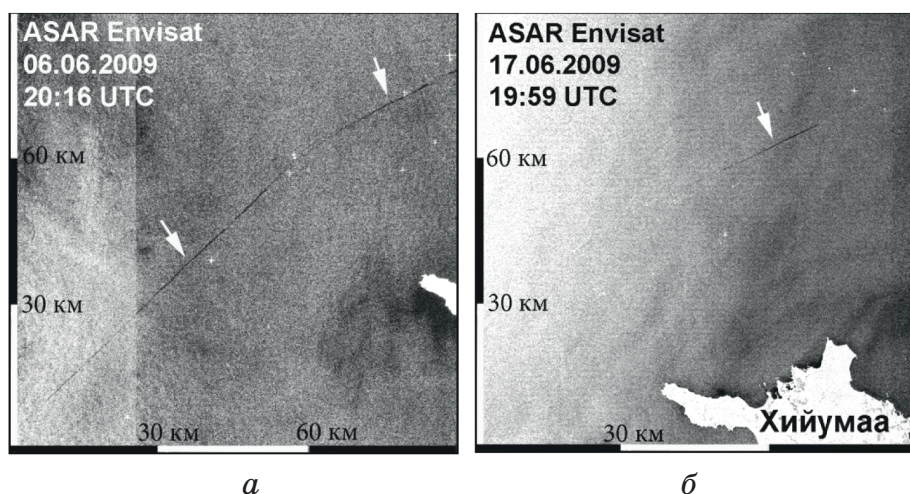


Рис. 10. Фрагменты РЛИ ASAR Envisat.

а) Два свежих сброса с движущихся судов: совокупная длина – 88,6 км;

б) свежий сброс с движущегося судна: длина – 18,5 км

Район II. В центральной части Финского залива на РЛИ выявляются плёночные загрязнения меньшей протяжённости, но значительно большей площади. Такие признаки характерны либо для сбросов с неподвижных судов, когда растекание нефтесодержащих пленок происходит более или менее равномерно во все стороны, благодаря чему пятно принимает округлую форму, либо для достаточно «старых»

разливов, подвергшихся частичной деградации вследствие воздействия локальных течений и приповерхностного ветра. Зачастую осложняющим фактором в данном случае является неустойчивая стратификация пограничного слоя море-атмосфера, дающая неровный, ячеистый фон на изображении.

Характерные примеры загрязнений, выявленных в центральной части Финского залива представлены на рис. 11. Сброс с неподвижного судна, выявленного на РЛИ от 22 июля 2010 г., представлен на рис. 11а. Площадь загрязнения, которое распространялось под действием умеренного южного ветра и вдольберегового северо-восточного течения, составила 6,27 км². Самое большое загрязнение, выявленное на РЛИ в период наблюдений 2009–2012 гг., было детектировано на РЛИ от 9 октября 2011 г., полученном над центральной частью Финского залива. Фрагмент этого изображения представлен на рис. 11б. Нефтедержащее пятно расположено к юго-западу от о-ва Гогланд (Россия) и на 7 км южнее трассы газопровода Северный поток. В четырёх километрах к востоку от этого пятна расположено меньшее пятно, имеющее размеры примерно 3 км x 1 км. Большое пятно представляет собой типичный случай «старого» разлива в виде характерной гребёнки, который подвергся частичной деградации: контраст между областью разлива и окружающей морской поверхностью невысок, форма пятна искажилась вследствие воздействия локальных течений и приповерхностного юго-юго-восточного ветра, скорость которого на момент радиолокационной съёмки составила 4 м/с. Площадь загрязнения на момент радиолокационной съёмки составила 28,5 км². Выявить судно, с которого произошёл сброс, не представляется возможным, поскольку загрязнение находилось в районе интенсивного судоходства, о чем свидетельствуют многочисленные яркие белые точки, соответствующие судам, которые идентифицируются на РЛИ на самом пятне загрязнения и вокруг него.

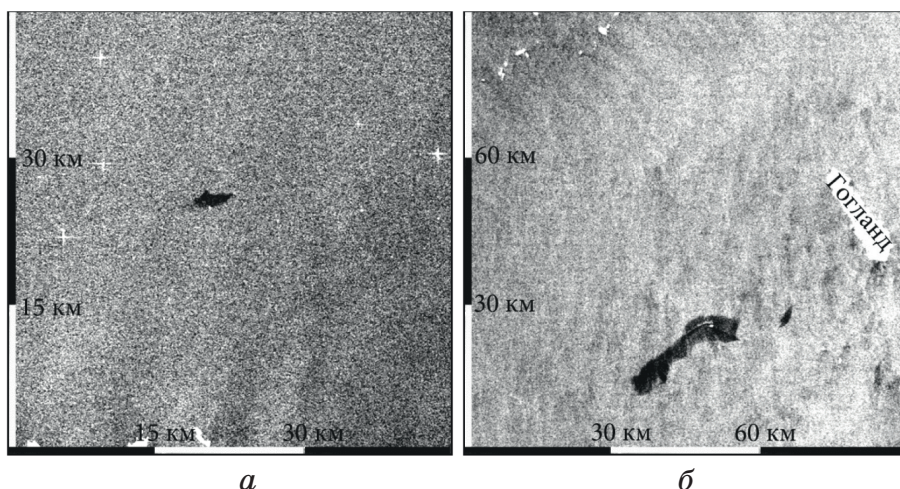
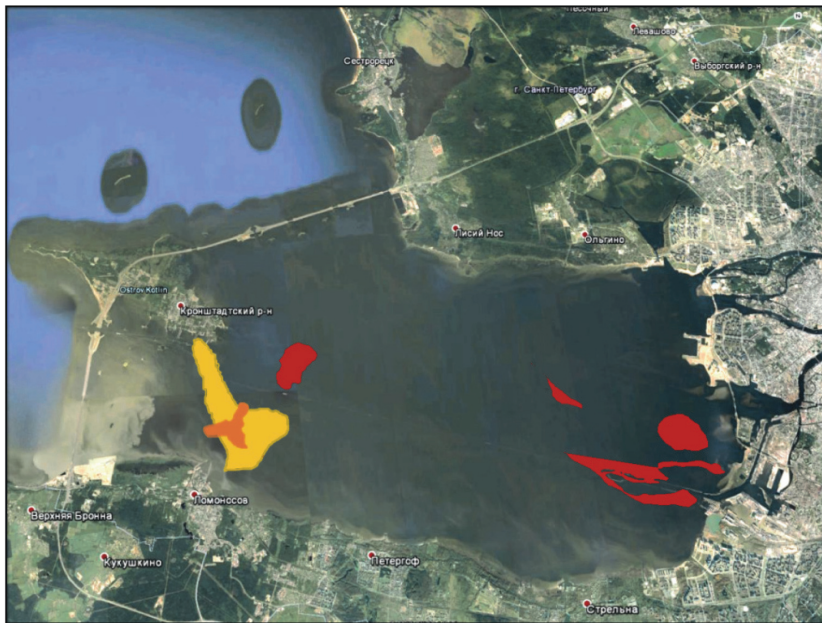


Рис. 11. а) Фрагмент (РЛИ ASAR Envisat, полученного 22.07.2010 в 20:00 UTC. Сброс с неподвижного судна: площадь загрязнения 6,27 км²; б) Фрагмент РЛИ ASAR Envisat, полученного 09.10.2011 в 08:50 UTC. Самое большое загрязнение в Финском заливе за период наблюдений 2009–2012 гг. Площадь загрязнения – 28,5 км². Типичный случай «старого» разлива в виде характерной «гребенки»

Район III. Невская губа – это восточная часть Финского залива между городами Кронштадт и Санкт-Петербург, в которую впадает река Нева. С остальной частью Финского залива Невская губа ранее сообщалась через два пролива у острова Котлин, именуемых Северными и Южными Воротами. В современном состоянии Невская губа отделена от Финского залива комплексом защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, вызываемых сильными западными ветрами, и является изолированным проточным водоёмом площадью около 330 км² (рис. 12, 13).

Основные плёночные загрязнения, выявленные на радиолокационных изображениях акватории Невской губы, обусловлены нефтесодержащими береговыми сбросами как бытового, так и промышленного характера. В частности, на нескольких РЛИ детектированы обширные сликовые области, локализованные в непосредственной близости от берега

в районе г. Ломоносов (рис. 13а). Обширные слики регулярно наблюдаются и вблизи устья Невы (рис. 13б). Кроме того, достаточно крупные разливы выявлены вдоль судоходной трассы, ведущей к устью Невы.



*Рис. 12. Сводная карта пятен антропогенных загрязнений
в Невской губе, обнаруженных в результате анализа
данных спутниковой радиолокации
в 2009–2012 гг.*

Накопление антропогенных загрязнений в Невской губе оказывает негативное влияние на морскую окружающую среду и береговую зону в силу ослабленного, благодаря наличию дамбы, водообмена с открытыми водами Финского залива. Ситуация усугубляется постоянно усиливающимся судоходством в этом районе. Для примера скажем, что в 2010 г. Через Санкт-Петербург проследовало 5124 судна, 1168 из которых перевозили нефтепродукты. Ещё одним потенциальным источником экологической угрозы является

Санкт-Петербургский нефтяной терминал с оборотом около 10 млн. тонн в год (2015 г.) и сам Большой порт Санкт-Петербурга с общим грузооборотом около 50 млн. тонн в год (2015 г.).

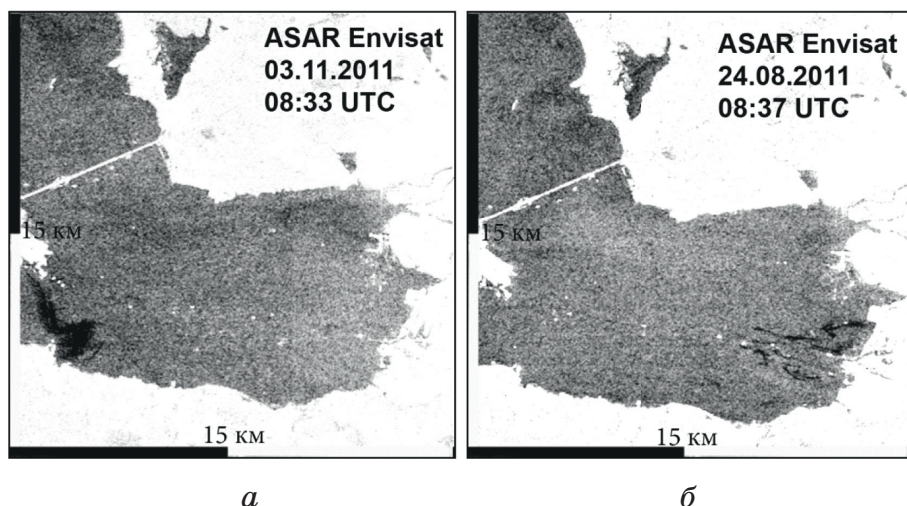


Рис. 13. а) Фрагмент РЛИ ASAR Envisat, полученного 03.11.2011 в 08:33 UTC. Загрязнение морской поверхности площадью 13,1 км² вблизи береговой черты поблизости от г. Ломоносов; б) Фрагмент РЛИ ASAR Envisat, полученного 24.08.2011 в 08:37 UTC. Снимки антропогенного происхождения вблизи устья Невы. Совокупная площадь загрязнения 3,5 км²

Основные характеристики наиболее значительных загрязнений морской поверхности нефтесодержащими плёнками, выявленных по спутниковым радиолокационным данным, приведены в табл. 1. За время проведения спутниковых наблюдений в акватории Финского залива выявлено 45 случаев существенных антропогенных плёночных загрязнений морской поверхности. Индивидуальная площадь пятен изменялась в пределах от 0,1 до 30 км². Совокупная площадь нефтесодержащих загрязнений морской поверхности составила 28,57 и 116 км² в 2009, 2010 и 2011 г. соответственно.

Успешное обнаружение нефтяных загрязнений средствами спутниковой радиолокации в определенной степени обусловлено погодными условиями [22, 23]. Этим объясняется тот факт, что все загрязнения, выявленные по радиолокационным данным, приходится на период с апреля по ноябрь, когда скорость ветра и волнение преимущественно умеренные или слабые. В ноябре и декабре нередко наблюдаются ветра со скоростью более 12 м/с и шторма – условия, при которых пленки нефтяных загрязнений быстро разрушаются, и заметного выглаживания морской поверхности не происходит. В период с января по март почти вся площадь Финского залива покрывается льдом.

Таблица 1.

Основные характеристики наиболее значительных загрязнений морской поверхности

Дата	Время (UTC)	Широта	Долгота	Длина (км)	Площадь (кв. км)	Комментарий
2009/05/11	09:03	58°40'44.87"СШ	21°30'22.85"ВД	36,3	20	Протяжённый сброс вблизи входа в залив в районе о-ва Сааремаа
2009/05/24	08:50	59°14'29.33"СШ	21°50'31.57"ВД		0,54	Вход в Финский залив. Два округлых сброса, рядом с каждым виден корабль.
		59°18'2.72"СШ	21°58'40.47"ВД		0,78	
2009/06/06	20:16	58°54'28.41"СШ	21°15'16.44"ВД	88,6	6,645	Тонкий и протяженный сброс
2010/05/16	08:38	60°6'44.71"СШ	29°1'9.18"ВД		13,4	Крупный сброс, деформированный под влиянием приповерхностного ветра
2010/06/17	19:59	59°23'58.47"СШ	22°11'32.51"ВД	23,7	3,5	Свежий многократный сброс с движущегося судна
2010/07/15	08:53	59°52'54.00"СШ	25°18'25.17"ВД		9,7	Сброс в стадии деградации
2010/07/22	20:06	59°53'13.91"СШ	25°44'58.23"ВД		6,27	Свежий сброс с неподвижно-стоящего судна
2010/08/03	09:26	59°52'30.41"СШ	25°18'15.71"ВД	12,7	8,4	Вытнутый сброс – «гребенка»
2010/10/03	08:36	60°2'9.35"СШ	28°31'24.66"ВД		14,5	Сброс-«гребенка»

Дата	Время (UTC)	Широта	Долгота	Длина (км)	Площадь (кв. км)	Комментарий
2011/04/28	09:02	59°25'13.71"СШ	22°51'18.99"ВД	6 и 5	0,99	Два тонких сброса с изломами
2011/05/05	19:30	60° 4'22.61"СШ	29°26'35.69"ВД		0,68	Два слабо-контрастных-слика
		60° 1'31.67"СШ	29° 5'9.24"ВД		1	
		59°59'18.00"СШ	29° 4'31.19"ВД		3,9	Слик, обусловленный береговыми стоками
2011/05/10	19:44	59°53'14.13"СШ	25°21'17.36"ВД	7,94 и 6,96	2,3	Тонкий искривлённый сброс
2011/05/24	19:43	59°57'52.24"СШ	29°51'23.18"ВД		1,8	Невская Губа. Сброс нефтесодержащих вод с неподвижно-стоящего судна
		59°56'6.86"СШ	29°47'33.93"ВД		0,7	Невская Губа. Слик, обусловленный береговыми стоками вблизи г. Ломоносов
2011/06/19	08:56	59°15'1.42"СШ	22° 9'2.40"ВД		15	Большой сброс
		59°30'56.69"СШ	23° 0'19.85"ВД		20,6	Сброс-«гребенка»
2011/06/22	08:45	60° 8'40.60"СШ	29°13'9.59"ВД		4,9	Слик, обусловленный береговыми стоками
2011/06/25	19:58	59° 8'47.18"СШ	21°36'11.72"ВД	78	6,24	Прямой тонкий сброс
2011/07/09	19:48	59°57'54.29"СШ	25°51'58.55"ВД	2,76	0,2208	Округлый слик
2011/08/16	08:29	59°56'34.50"СШ	30° 4'41.47"ВД		3,3	Два слика вблизи устья Невы
		59°55'24.16"СШ	30°10'35.05"ВД		2,8	
2011/08/21	20:11	59°27'21.87"СШ	22° 5'13.68"ВД	16,8	1,2	Слабо-контрастный прерывистый слик
2011/08/24	08:37	59°54'13.31"СШ	30° 9'4.55"ВД		3,5	Невская Губа. Слики вблизи береговой черты
2011/10/09	08:50	59°59'19.77"СШ	26°40'22.84"ВД		28,5	Крупнейший сброс за период наблюдений 2009-2012 гг
		59°58'51.37"СШ	26°48'35.44"ВД		1,1	Округлый слик
2011/11/03	08:33	59°55'33.50"СШ	29°48'22.25"ВД		13,1	Невская Губа. Слик, обусловленный береговыми стоками вблизи г. Ломоносов
2011/11/03	19:59	59°31'1.68"СШ	22°33'26.27"ВД	41,7	4,20	Тонкий прерывистый слик

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 2004 г. по настоящее время спутниковый мониторинг нефтяного месторождения «Кравцовское» (D-6) является единственным оперативным инструментом контроля нефтяного загрязнения морской поверхности вод РФ в юго-восточной части Балтийского моря, поскольку в рамках государственного экологического мониторинга Балтийского моря спутниковые и авиационные наблюдения не проводятся ни в Калининградской области, ни в Ленинградской области (Финский залив). За весь период спутниковых наблюдений (2004–2016 гг.) ни одного случая нефтяного загрязнения, исходящего от МЛСП D-6, зарегистрировано не было. Районами наиболее частого обнаружения нефтяных пленок являются основные судоходные трассы Балтийского моря и подходы к портам и нефтяным терминалам. Для Юго-Восточной Балтики наиболее загрязненным районом является акватория к западу от Самбийского п-ова, включая подходы к порту Балтийск. С 2006 по 2011 гг. наблюдалось устойчивое снижение нефтяного загрязнения, а наблюдаемый в последующие годы небольшой рост, связан с единичными крупными нефтяными разливами.

На акватории Финского залива можно выделить три района, подверженных наибольшему загрязнению: (I) Участок акватории Балтийского моря вблизи входа в Финский залив; (II) Центральная часть Финского залива, восточнее судоходной трассы Хельсинки – Таллинн; (III) Невская губа.

Преобладание пятен протяженной формы говорит о том, что основными источниками загрязнения морской поверхности нефтепродуктами являются суда, сброс с которых регулируется конвенцией HELCOM [24].

Благодарности: А.Г. Костяной и Е.В. Булычева занимались исследованием нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики в рамках и за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00095). О.Ю. Лаврова и М.И.

Митягина выполняли исследование нефтяного загрязнения Финского залива в рамках и за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00555).

Литература

1. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu. (Eds.) (2014) Oil pollution in the Baltic Sea. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2014. V27. 268 pp.
2. HELCOM (2016), HELCOM Annual report on discharges observed during aerial surveillance in the Baltic Sea, 2015, 18 p.
3. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. (2009) Комплексный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения морей России. – В кн.: “Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем”, Ю.А. Израэль (ред.), 2009, Т. 22, С. 235–266.
4. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Litovchenko K.Ts., Stanichny S.V., Pichuzhkina O.E. (2004) Satellite remote sensing of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea // Gayana. 2004. Vol. 68. No. Part 2. P. 327–332.
5. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Pichuzhkina O.E. (2005) Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea. Annual Report 2004. Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005. 36 p. (in Russian and English).
6. Kostianoy A.G., Litovchenko K.Ts., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Soloviev D.M., Sirota A.M., Pichuzhkina O.E. (2006) Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience // Environmental Research, Engineering and Management. 2006. No. 4 (38). P. 70–77.
7. Kostianoy A.G., Bulychева E.V., Semenov A.V., Krainyukov A.V. (2015) Satellite monitoring systems for shipping, and offshore oil and gas industry in the Baltic Sea // Transport and Telecommunication, 2015. Vol.16 (2), P. 117–126.
8. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. (2011) Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 472 с.
9. Булычева Е.В., Костяной А.Г. (2011) Результаты спутникового мониторинга нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря в 2006–2009 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 74–83.
10. Немировская И.А., Сивков В.В., Булычева Е.В. Содержание и состав углеводов в районе месторождения Кравцовское Балтийского моря // Доклады РАН. 2011. С. 520–525.
11. Костяной А.Г., Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Лебедев С.А., Станичный С.В., Соловьев Д.М., Сирота А.М. Нефть и окружающая среда Калинин-

градской области // Комплексный оперативный спутниковый мониторинг в 2004-2005 гг. Калининград: Янтарный сказ, 2012. Т. 2: Море. С. 483–518.

12. Булычева Е.В. Нефть и окружающая среда Калининградской области // Нефтяное загрязнение поверхности моря в 2006–2009 гг. по данным спутниковой радиолокации. Калининград: Янтарный сказ, 2012. Т. 2: Море. С. 518–529.

13. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G., Semenov A.V. Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2009–2011 // *Transport and Telecommunication*. 2014. Vol. 15. No. 4. P. 322–331.

14. Булычева Е.В., Костяной А.Г. Итоги спутникового мониторинга нефтяного загрязнения морской поверхности Юго-Восточной Балтики за 2004–2013 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 111–126.

15. Костяной А.Г., Булычева Е.В. Численное моделирование рисков нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики и Финского залива // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 56–75.

16. Bulycheva E., Kuzmenko I., Sivkov V. Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013 // *Baltica*. Vol. 27. Special Issue. Vilnius. 2014. P. 9–14.

17. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostianoy A.G., Semenov A.V., Joksimovich A. Oil Pollution of the

Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data and in-situ measurements // *Transport and Telecommunication*. 2015. Vol. 16. No. 4. P. 296–304.

18. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostianoy A.G., Semenov A.V., Joksimovich A. (2016) Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data in 2004-2015 // *Transport and Telecommunication*, 2016. Vol.17. No 2. P. 155–163.

19. Гинзбург А.И., Булычева Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. О роли вихрей в распространении нефтяных загрязнений по акватории Юго-Восточной Балтики (по данным спутникового мониторинга) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 3. С. 149–157.

20. Булычева Е.В., Крек А.В., Костяной А.Г. (2016а) Нефтяное загрязнение Юго-Восточной Балтики по спутниковым наблюдениям и натурным данным // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 81–89.

21. Булычева Е.В., Крек А.В., Костяной А.Г. (2016б) Межгодовая изменчивость нефтяного загрязнения морской поверхности Юго-Восточной Балтики в 2004–2015 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 74–84.

22. Brekke C., Solberg A. (2005) Oil spill detection by satellite remote sensing // *Remote Sensing of Environment*. 2005. V. 95. N. 1. P. 1–13.

23. Espedal H. A., Johannessen O. M. (2000) Detection of oil spills near offshore installations using synthetic

aperture radar (SAR) // Intern. J. Remote Sensing. 2000. V. 21. N. 11. P. 2141–2144.

24. [http://www.helcom.](http://www.helcom.fi/)

[Documents/About%20us/Convention%20and%20commitments/Helsinki%20Convention/Helsinki%20Convention_July%202014.pdf](http://www.helcom.fi/Documents/About%20us/Convention%20and%20commitments/Helsinki%20Convention/Helsinki%20Convention_July%202014.pdf)

Literatura

1. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu. (Eds.) (2014) Oil pollution in the Baltic Sea. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2014. V27. 268 pp.

2. HELCOM (2016), HELCOM Annual report on discharges observed during aerial surveillance in the Baltic Sea, 2015, 18 p.

3. Kostjanov A.G., Lavrova O.Ju., Mitjagina M.I. (2009) Kompleksnyj sputnikovyj monitoring neftjanogo zagraznenija morj Rossii. – V kn.: “Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem”, Ju.A. Izrajel’ (red.), 2009, T. 22, S. 235–266.

4. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Litovchenko K.Ts., Stanichny S.V., Pichuzhkina O.E. (2004) Satellite remote sensing of oil spill pollution in the south-eastern Baltic Sea // Gayana. 2004. Vol. 68. No. Part 2. P. 327–332.

5. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Pichuzhkina O.E. (2005) Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea. Annual Report 2004. Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005. 36 p. (in Russian and English)

6. Kostianoy A.G., Litovchenko K.Ts., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Bocharova T.Yu., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Soloviev D.M., Sirota A.M., Pichuzhkina O.E. (2006) Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months

experience // Environmental Research, Engineering and Management. 2006. No. 4 (38). P. 70–77.

7. Kostianoy A.G., Bulycheva E.V., Semenov A.V., Krainyukov A.V. (2015) Satellite monitoring systems for shipping, and offshore oil and gas industry in the Baltic Sea // Transport and Telecommunication, 2015. Vol.16 (2), P. 117–126.

8. Lavrova O. Ju., Kostjanov A. G., Lebedev S. A., Mitjagina M. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A. (2011) Kompleksnyj sputnikovyj monitoring morej Rossii. M.: IKI RAN, 2011. 472 s.

9. Bulycheva E.V., Kostjanov A.G. (2011) Rezul’taty sputnikovogo monitoringa neftjanogo zagraznenija jugovostochnoj chasti Baltijskogo morja v 2006–2009 gg. // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2011. T. 8. № 2. S. 74–83.

10. Nemirovskaja I.A., Sivkov V.V., Bulycheva E.V. Soderzhanie i sostav uglevodorodov v rajone mestorozhdenija Kravcovskoe Baltijskogo morja // Doklady RAN. 2011. S. 520–525.

11. Kostjanov A.G., Litovchenko K.C., Lavrova O.Ju., Mitjagina M.I., Bocharova T.Ju., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Solov’ev D.M., Sirota A.M. Neft’ i okruzhajushhaja sreda Kaliningradskoj oblasti // Kompleksnyj operativnyj sputnikovyj monitoring v 2004–2005 gg. Kaliningrad: Jantarnyj skaz, 2012. T. 2: More. S. 483–518.

12. Bulycheva E.V. Neft' i okruzhajushhaja sreda Kaliningradskoj oblasti // Neftjanoe zagrjaznenie poverhnosti morja v 2006–2009 gg. po dannym sputnikovoj radiolokacii. Kalinigrad: Jantarnyj skaz, 2012. T. 2: More. S. 518–529.
13. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostianoy A.G., Semenov A.V. Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2009–2011 // Transport and Telecommunication. 2014. Vol. 15. No. 4. P. 322–331.
14. Bulycheva E.V., Kostjanov A.G. Itogi sputnikovogo monitoringa neftjanogo zagrjaznenija morskoy poverhnosti Jugo-Vostochnoj Baltiki za 2004–2013 gg. // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2014. T. 11. № 4. S. 111–126.
15. Kostjanov A.G., Bulycheva E.V. Chislennoe modelirovanie riskov neftjanogo zagrjaznenija Jugo-Vostochnoj Baltiki i Finskogo zaliva // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2014. T. 11. № 4. S. 56–75.
16. Bulycheva E., Kuzmenko I., Sivkov V. Annual sea surface oil pollution of the south-eastern part of the Baltic Sea by satellite data for 2006–2013 // Baltica. Vol. 27. Special Issue. Vilnius. 2014. P. 9–14.
17. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostianoy A.G., Semenov A.V., Joksimovich A. Oil Pollution of the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data and in-situ measurements // Transport and Telecommunication. 2015. Vol. 16. No. 4. P. 296–304.
18. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostianoy A.G., Semenov A.V., Joksimovich A. (2016) Oil pollution in the Southeastern Baltic Sea by satellite remote sensing data in 2004–2015 // Transport and Telecommunication, 2016. Vol.17. No 2. P. 155–163.
19. Ginzburg A.I., Bulycheva E.V., Kostjanov A.G., Solov'ev D.M. O roli vihhrej v rasprostranenii neftjanyh zagrjaznenij po akvatorii Jugo-Vostochnoj Baltiki (po dannym sputnikovogo monitoringa) // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2015. T. 12. № 3. S. 149–157.
20. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostjanov A.G. (2016a) Neftjanoe zagrjaznenie Jugo-Vostochnoj Baltiki po sputnikovym nabljudenijam i naturnym dannym // Okeanologija. 2016. T. 56. № 1. S. 81–89.
21. Bulycheva E.V., Krek A.V., Kostjanov A.G. (2016b) Mezhhodovaja izmenchivost' neftjanogo zagrjaznenija morskoy poverhnosti Jugo-Vostochnoj Baltiki v 2004–2015 gg. // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa. 2016. T. 13. № 4. S. 74–84.
22. Brekke C., Solberg A. (2005) Oil spill detection by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment. 2005. V. 95. N. 1. P. 1–13.
23. Espedal H. A., Johannessen O. M. (2000) Detection of oil spills near offshore installations using synthetic aperture radar (SAR) // Intern. J. Remote Sensing. 2000. V. 21. N. 11. P. 2141–2144.
24. http://www.helcom.fi/Documents/About%20us/Convention%20and%20commitments/Helsinki%20Convention/Helsinki%20Convention_July%202014.pdf.