Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 56–75

Численное моделирование рисков нефтяного загрязнения в юго-восточной части Балтийского моря и в Финском заливе

А.Г. Костяной [1, 2], Е.В. Булычева [3]

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия
[2]Московский университет им. С.Ю. Витте, Москва, 115432, Россия
E-mail: kostianoy@gmail.com
[3]Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Калининград, 236022, Россия
E-mail: bulycheva.lena@gmail.com

В статье приведены результаты использования численной модели дрейфа и трансформации нефтяных пятен Seatrack Web Шведского института метеорологии и гидрологии (SMHI). Проведена оценка рисков нефтяного загрязнения акватории юго-восточной части Балтийского моря в районе нефтедобывающей платформы ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» D-6 и Финского залива в районе основных судоходных трасс. Подробно рассмотрены примеры обнаружения нефтяных пятен в непосредственной близости от платформы D-6 и результаты их моделирования, которые позволяют выявлять истинных виновников нефтяного загрязнения. Выявлены районы вероятного загрязнения акватории вокруг платформы D-6, а также берегов Самбийского полуострова и Куршской косы. В сентябре-ноябре 2014 г. поставлен 61 численный эксперимент по равномерному сбросу нефтепродуктов с судоходной трассы в Финском заливе. Выявлены районы потенциального риска нефтяного загрязнения берегов и островов Финляндии и России в Финском заливе, среди которых о. Гогланд (Россия) подвергается наибольшей опасности. Модельные результаты не показали ни одного случая потенциального нефтяного загрязнения берегов и островов Эстонии. Выполнено моделирование дрейфа и трансформации нефтяного пятна, обнаруженного со спутника 3 октября 2014 г. на акватории Финляндии.

Ключевые слова: Юго-восточная часть Балтийского моря, Финский залив, нефтяное загрязнение, прогноз дрейфа нефтяных пятен, численное моделирование, модель Seatrack Web.

Введение

Огромную роль в экспорте нефти из России играют порты Балтийского моря. Главным нефтяным терминалом здесь традиционно был латвийский порт Вентспилс, затем выросло значение Таллиннского порта, хотя к нему нефть нужно транспортировать по железной дороге, тогда как к Вентспилсу подходит трубопровод. В настоящее время Россия продолжит сокращать зависимость от транзита нефти через страны Балтии. Нефтяной транзит через эти страны или любые другие государства будет действовать только как дополнительный маршрут для случаев, с которыми российские терминалы не смогут справиться самостоятельно.

В Финском заливе основными действующими и проектируемыми российскими нефтяными терминалами являются: Приморск (Транснефть), Высоцк (Лукойл), Большой порт Санкт-Петербурга (Морской порт Санкт-Петербурга), Усть-Луга (Роснефть), Батарейная (Сургутнефтегаз), Вистино (Северо-Западный альянс), Горки (ТНК-ВР) и Ломоносов (Hanninen, Rytkonen, 2004; Kuronen et al., 2008). Приморск - самый крупный балтийский нефтяной терминал, находящийся на российской территории в Балтике. Максималь-

ные возможности терминала оцениваются в 120 млн. т. к 2015 году. В 2008 г. из Приморска было отправлено 75,6 млн. т. нефтепродуктов, из Высоцка – 13,6 млн. т. (к 2015 г. экспорт может достигнуть 20,5 млн. т.), с Петербургского нефтяного терминала – 14,4 млн. т. В ноябре 2000 г. «ЛУКОЙЛ» открыл нефтяной терминал в Калининграде. В 2001 г. компания построила еще один терминал в Калининграде с объявленной пропускной способностью 2,5 млн. т. Эти терминалы, по оценкам, способны перегружать до 3-5 млн. т. нефти ежегодно. С 2004 г. на шельфе Балтийского моря в Калининградской области началась добыча нефти на Кравцовском месторождении (D-6) и ее транспортировка по подводному трубопроводу на материк.

По оценкам Центра морских исследований Университета Турку (Финляндия) в 2007 году 263 млн. т. грузов было транспортировано через Финский залив, среди которых доля нефтепродуктов составляет 56% (Kuronen et al., 2008). Через российские порты переваливалось 60% грузов, финские – 23% и эстонские – 17 %. Доля импорта составила 22%, экспорта – 76%, местных перевозок – 2%. Через российские порты проходило 68,6 % всего грузооборота нефтепродуктов, через эстонские - 17,2% и финские - 14,2%.

Наиболее крупными портами являются – Приморск (74,2 млн. т.), Санкт-Петербург (59,5 млн. т.), Таллинн (35,9 млн. т.), Сколдвик (19,8 млн. т.), Высоцк (16,5 млн. т.) и Хельсинки (13,4 млн.т.). В 2007 г. в порты Финского залива было осуществлено около 53 600 заходов судов, при этом чаще всего суда заходили в Санкт-Петербург (14 651), Хельсинки (11 727) и Таллинн (10 614).

Прогнозы финского Центра на 2015 год согласно трем основным сценариям экономического развития России, Финляндии и Эстонии дают величину в 322,4-507,2 млн. т. грузов, которые будут транспортированы по Финскому заливу, что на 23-93% больше, чем в 2007 г., причем при любом сценарии прирост грузооборота будет происходить главным образом за счет России (Kuronen et al., 2008). Кроме того, доля нефти и нефтепродуктов среди других грузов будет еще больше увеличиваться и в абсолютном выражении она может достигнуть 158-262 млн. т. При этом для перевозки нефтепродуктов будет задействовано от 6655 до 7779 танкеров.

В Мировом океане судоходство является причиной 45% нефтяного загрязнения океана (Kostianoy, Lavrova, 2014). Рост перевалки нефти и других грузов через терминалы и порты морей России неизбежно приводит к увеличению числа танкеров и других типов судов, что приводит к росту «хронического» загрязнения морей и вероятности аварий судов, и, как следствие, к увеличению их загрязнения нефтепродуктами. Судоходство, включая транспортировку и перевалку нефти на терминалах, оказывает основное негативное влияние на морскую окружающую среду и береговую зону морей.

В связи с этим важную роль играет не только спутниковый мониторинг различных акваторий и объектов морской нефтегазовой отрасли в Балтийском море, но и оценка потенциально возможных рисков нефтяного загрязнения морской окружающей среды (Kostianoy et al., 2014). Оригинальная методика оценки таких рисков, основанная на использовании численной модели Seatrack Web дрейфа и трансформации нефтяных пятен, была разработана в 2004 г. во время комплексного спутникового мониторинга Юго-Восточной Балтики в связи с началом добычи нефти на платформе D-6 (Kostianoy et al., 2005, 2006, 2014; Лаврова и др., 2011; Костяной и др., 2012). Затем она была развита для оценки рисков нефтяного загрязнения морской окружающей среды, охраняемых зон и берегов в результате судоходства по основным трассам в Балтике (Kostianoy et al., 2014).

Численная модель Seatrack Web

Модель Seatrack Web - это уникальная европейская модель, позволяющая рассчитывать на всей акватории Балтики дрейф и трансформацию пятен различных типов нефтепродуктов на 5 суток вперед с пространственным разрешением 1 морская миля и временным разрешением 15 мин, с учетом обновляющегося прогноза поля ветра (и ряда других метеорологических параметров) и течений каждые 3 часа. Она основана на европейских оперативных атмосферных моделях ECMWF и HIRLAM и гидродинамической модели HIROMB, кроме того, она включает модель трансформации и дрейфа пятен нефтепродуктов различного типа, объема и состояния. Кроме положения пятна, рассчитывается его состояние на каждые 15 минут - координаты центра, скорость и направление дрейфа, объем смеси с водой, процент испарившейся, диспергированной, осевшей на дно и достигшей побережья нефти, воды в смеси. Она также позволяет восстанавливать историю дрейфа пятен до 30 суток назад.

Именно эта модель используется HELCOM для оперативного прогноза дрейфа нефтяных загрязнений на акватории Балтики и установления виновников загрязнений, благодаря встроенной оперативной системе автоматической идентификации судов (Automatic Identification System, AIS). Эта модель сегодня активно используется в Швеции, Дании, Финляндии, Польше, Эстонии, Латвии, Литве и России (Ambjörn, 2004, 2006; Kostianoy et al., 2008, 2014; Булычева, Костяной, 2011). Кроме того, модель позволила делать оценки рисков загрязнения нефтепродуктами различных акваторий и береговой зоны от разных источников (Kostianoy et al., 2008, 2014). Следует отметить, что в Балтийском море существует более 60 морских охраняемых зон, которые требуют не только спутникового мониторинга нефтяного загрязнения, но и оценки рисков загрязнения.

Модель разрабатывается и модифицируется с 1995 г. Федеральным морским и гидрологическим агентством (Гамбург, Германия, Federal Maritime and Hydrological Agency (BSH)) и Шведским институтом метеорологии и гидрологии (Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)). В 1998 году к работе над моделью присоединилась Датская королевская администрация по навигации и гидрографии (Royal Danish Administration of Navigation and Hydrography (RDANH)), в 2003 году – Финский институт окружающей среды (Finnish Environment Institute (SYKE)). В работе над моделью принимают участие еще 6 институтов в Швеции, Германии, Финляндии и Польше.

Расчет ведется на суперкомпьютерах SGI Origin 3800 (33 процессора) и CRAY T3E-600 (216 процессоров, одна из последних версий CRAY). Пространственное разрешение модели составляет 1 морская миля, при этом численная сетка имеет 1,121,746 активных точек, из которых 144,449 - на поверхности моря. Модель имеет 24 слоя, толщиной от 4 м у поверхности до 60 м у дна. Шаг по времени составляет 15 мин.

Модель сопряжена с оперативной атмосферной моделью HIRLAM (разрешение 22 км), которая дает: атмосферное давление, скорость и направление ветра, влажность и температуру воздуха у водной поверхности, облачность 4 раза в день. Ветровое волнение задается моделью HYPAS. Кроме того, используется приливная модель, и задается уровень моря на входе в Балтийское море из Северного моря. Пресноводный сток дается по 82 рекам.

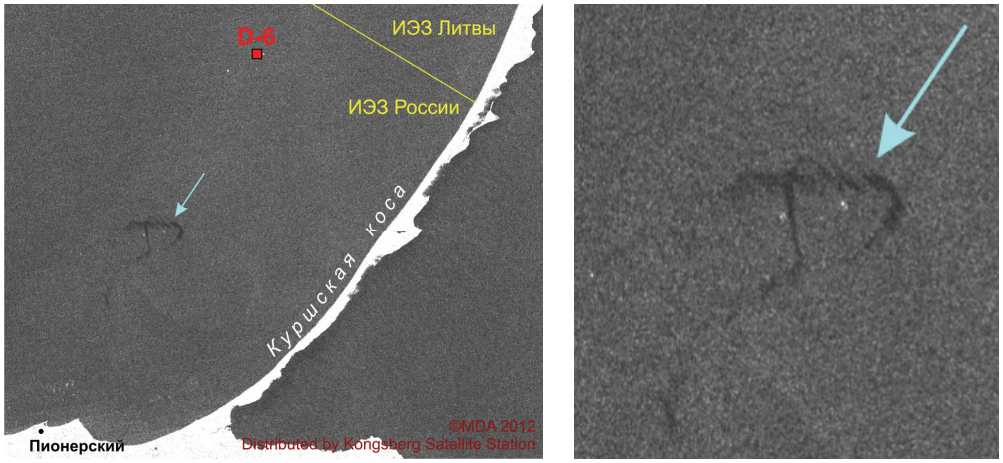
Результаты

Юго-Восточная Балтика

На основе интерактивной численной модели Seatrack Web выполнялся прогноз дрейфа: (1) всех крупных нефтяных пятен, обнаруженных с 2004 по 2014 г. на радиолокационных снимках со спутников ENVISAT, RADARSAT-1, RADARSAT-2 и COSMO-SkyMed-1, -2, -3, -4 в Юго-Восточной Балтике, полученных в рамках экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское» (D-6); (2) потенциальных модельных пятен с платформы D-6; (3) потенциальных модельных пятен с главной судоходной трассы, ведущей в порт Калининград, и (4) потенциальных модельных пятен к западу от Самбийского полуострова (Kostianoy et al., 2005, 2006, 2014; Лаврова и др., 2011; Булычева, Костяной, 2011; Костяной и др., 2012; Bulycheva et al., 2014). Приведем несколько примеров.

На РЛИ, полученном со спутника RADARSAT-2 22.07.2012 г. в 16:27 UTC, было обнаружено нефтяное загрязнение в 25 км северо-восточнее порта Пионерский и в 21 км юго-западнее МЛСП D-6 (*рис. 1*). При тщательном анализе формы пятна был сделан вы-

вод, что источником нефтяного загрязнения являлось одно из судов, которые на момент съемки находились в непосредственной близости к пятну (яркие белые точки). Информация AIS по данным судам была не доступна, следовательно, это были небольшие рыболовные суда, не оснащенные оборудованием AIS (Bulycheva et al., 2014). Был сделан прямой прогноз дрейфа нефтяного загрязнения, чтобы проследить дальнейшую траекторию движения пятна, и прогноз «назад во времени», чтобы исключить или подтвердить вероятность происхождения пятна от нефтедобывающей платформы D-6.



а *б*

Рис. 1. Фрагмент РЛИ от 22.07.2012 г. (16:27 UTC), полученного со спутника RADARSAT-2, (а) и увеличенное изображение нефтяного загрязнения (б)

Прогноз дрейфа обнаруженного нефтяного загрязнения «назад во времени» (*рис. 2*) показал, что пятно дрейфовало с запада, что опровергает предположение о возможном загрязнении с платформы D-6. Красным пунктиром показано положение пятна на снимке.

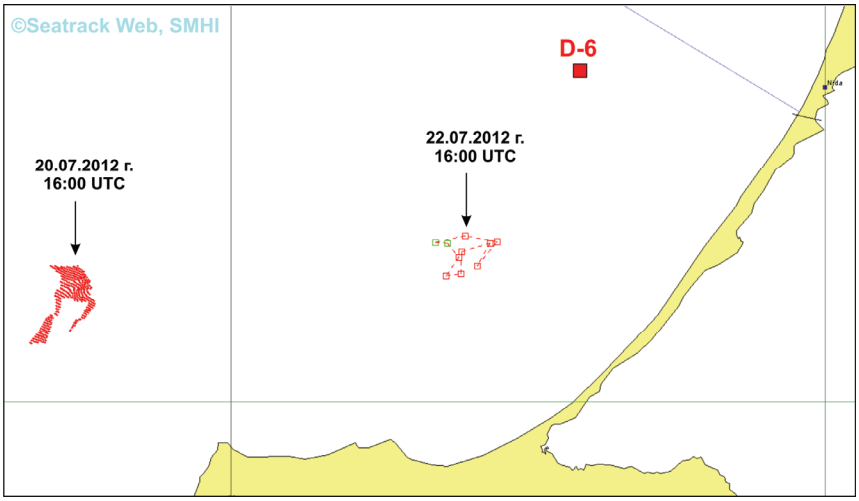


Рис. 2. Прогноз дрейфа нефтяного пятна, обнаруженного 22.07.2012 г. «назад во времени». Красным пунктиром показано положение пятна на снимке

Прямой прогноз дрейфа показал, что пятно будет перемещаться на северо-восток и к 16:00 (UTC) 24 июля находилось бы в 10 км к юго-востоку от платформы D-6 (*рис. 3*).

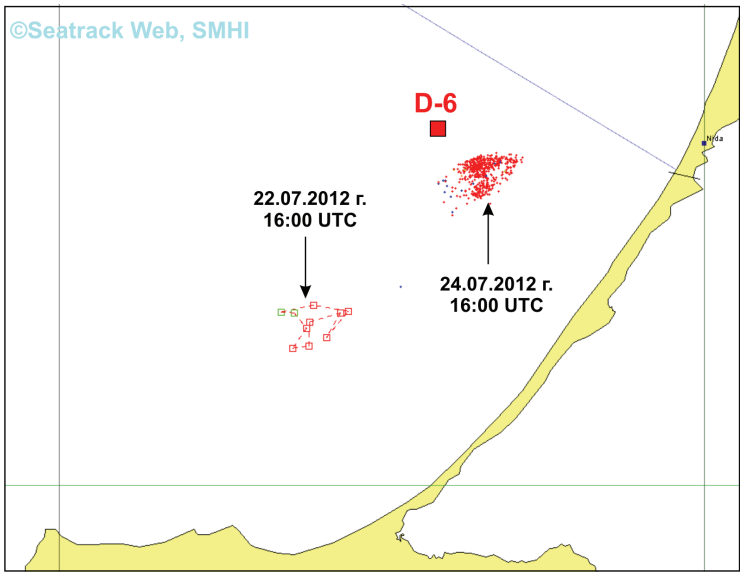


Рис. 3. Прогноз прямого дрейфа пятна обнаруженного 22.07.2012 г.
Красным пунктиром показано положение пятна на снимке

Особый интерес вызвало нефтяное пятно, обнаруженное 09.04.2013 г. в 16:15 UTC на РЛИ со спутника RADARSAT-2 (*рис. 4*). Оно находилось в 8 км юго-западнее платформы D-6. По резкости очертания контуров пятна и характерному шлейфу можно сказать, что оно дрейфовало с северо-востока на юго-запад, пока не было зарегистрировано на снимке. В районе нефтяного загрязнения находилось два неизвестных судна (белые точки внутри зеленых окружностей).

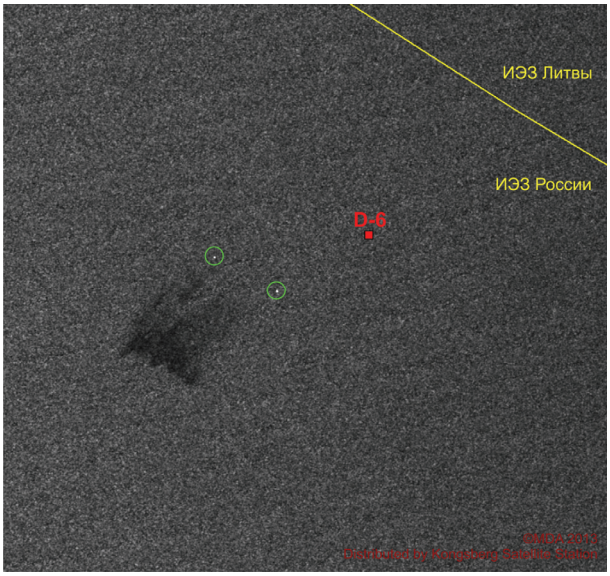


Рис. 4. Увеличенный фрагмент РЛИ со спутника RADARSAT-2
от 09.04.2013 г. (16:15 UTC).

Модельный прогноз «назад во времени» показал, что на минимальном расстоянии в 3 км от МЛСП D-6 пятно находилось в 01:00 UTC 09.04.13 г., куда пришло с северо-запада (*рис. 5*). Таким образом, исключается возможность его происхождения с платформы D-6.

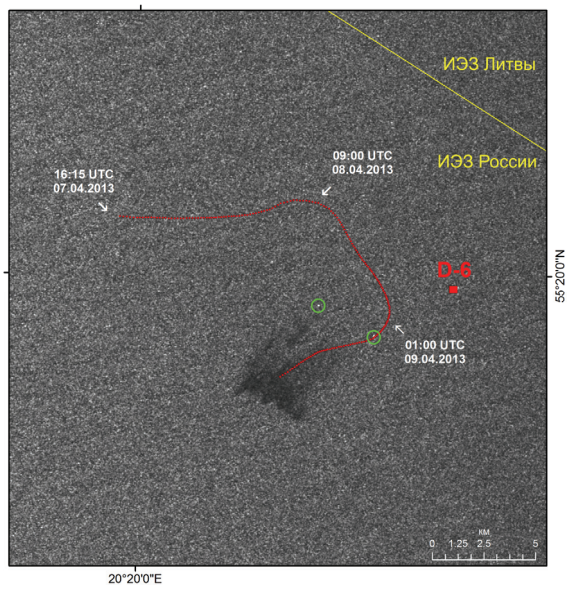


Рис. 5. Обратная траектория дрейфа центра пятна, обнаруженного на РЛИ со спутника RADARSAT-2 от 09.04.2013 г. (16:15 UTC). Зелеными кружками показаны суда, находящиеся в районе нефтяного загрязнения

В 2004-2005 гг. ежедневно выполнялся численный прогноз на 48 часов распространения нефтяного пятна (траектория движения) в случае аварийного разлива нефти объемом 10 м^3 на платформе D-6. На *рис. 6* представлено несколько результатов численного моделирования дрейфа пятен в октябре 2005 г. Сильная изменчивость скорости и направления дрейфа пятен связана с большой изменчивостью как поля ветра, так и результирующих течений в этой мелководной части моря. Это лишний раз подтверждает необходимость использования оперативных гидрометеорологических данных в численном моделировании, как это делается в модели Seatrack Web, а не среднеклиматических характеристик гидрометеорологических условий, как это обычно делается при оценках воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Статистика ежедневных прогнозов дрейфа нефтяных пятен с платформы D-6 за июль-декабрь 2004 г. показывает ареал распространения и потенциальную вероятность (%) нахождения пятна в любой точке акватории или направления его дрейфа в течение 48 часов после аварийного разлива нефти объемом 10 м^3 (*рис. 7, 8*). На сектор (150˚), направленный на Куршскую косу, приходится 67% вероятных дрейфов пятен, причем, только в половине этих случаев (35%) пятна достигали бы береговой линии, что объясняется интенсивным вдольбереговым течением.

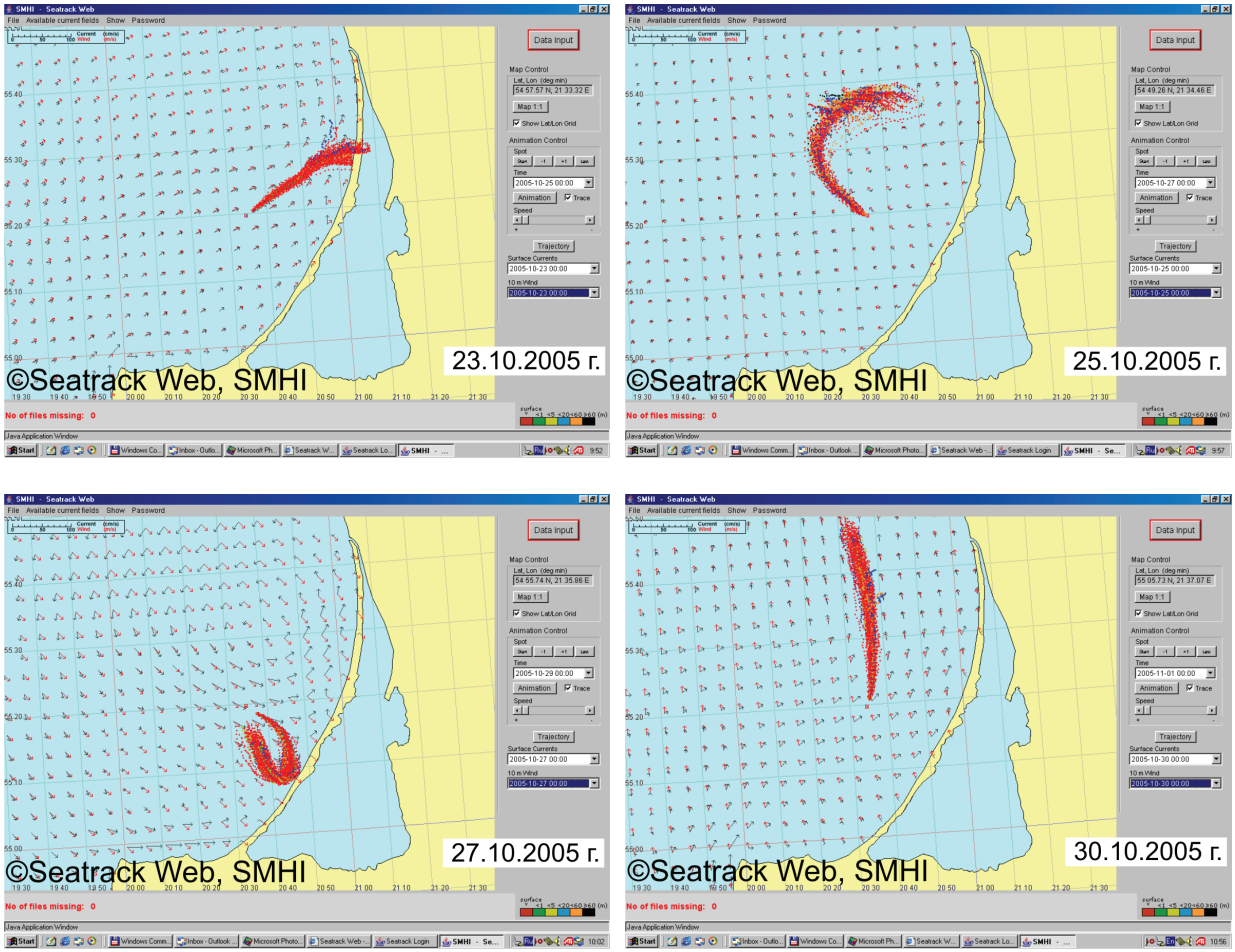


Рис. 6. Прогноз дрейфа виртуального нефтяного пятна с платформы D-6 в октябре 2005 г.

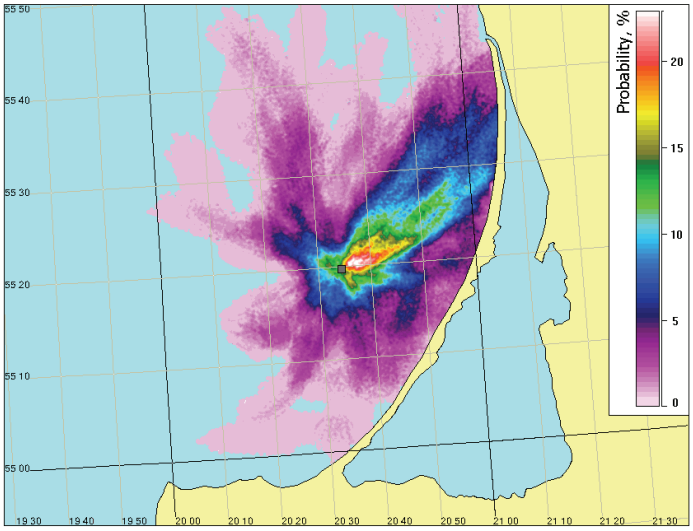


Рис. 7. Вероятность распространения (%) в течение 48 часов потенциального нефтяного загрязнения с платформы D-6 с июля по декабрь 2004 г.

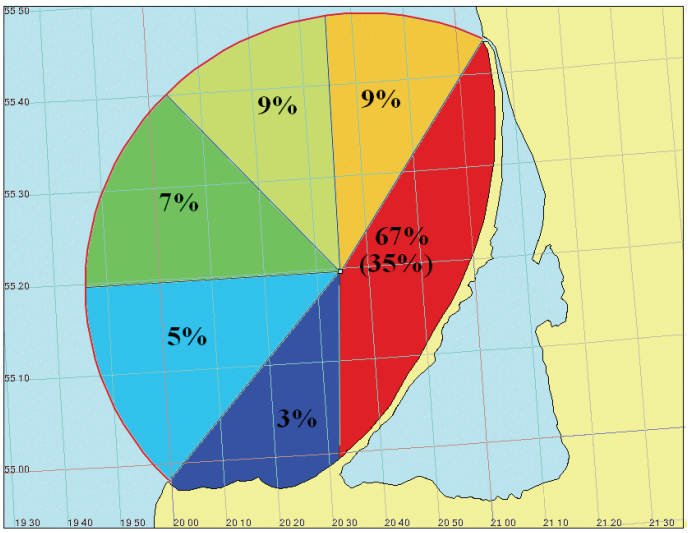


Рис. 8. Вероятность распространения в течение 48 часов потенциального нефтяного загрязнения с платформы D-6 в соответствующих секторах с июля по декабрь 2004 г.

Разработанная методика позволяет ежедневно планировать и корректировать план работ по ликвидации потенциально возможной аварии (утечка нефти) на платформе D-6 или на подводном нефтепроводе, идущим от платформы к берегу, что в случае реальной чрезвычайной ситуации даст ощутимый эффект в быстроте и правильности принимаемых решений по ликвидации последствий аварии и защите побережья Куршской косы или Самбийского полуострова. Аналогичную работу можно было бы проводить и для моделирования потенциально возможной утечки нефти из нефтепровода, соединяющего нефтяную платформу с берегом.

С 1 января 2013 г. по 31 декабря 2014 г. выполнялись ежедневные численные прогнозы потенциального выброса нефти с морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) D-6. Траектории дрейфа модельных пятен по месяцам 2013 г. и розы ветров представлены на *рис. 9*. Результаты модельного прогноза показали, что при преобладающем ветре западных румбов (например, октябрь, ноябрь 2013 г.), нефтяное пятно, исходящее от платформы при данных метеорологических условиях, не будет двигаться в сторону побережья Куршской косы, а будет увлекаться вдольбереговыми течениями на северо-восток. Модельный прогноз показал (*рис. 9*), что при потенциальной аварии на платформе в 2013 г. нефтяное пятно ни разу не достигло бы побережья Куршской косы в течение первых 48 часов. Потенциальную вероятность (%) нахождения пятна в любой точке акватории или направления его дрейфа в течение 48 часов после аварийного разлива нефти для 2013 г. показана на *рис. 10*.

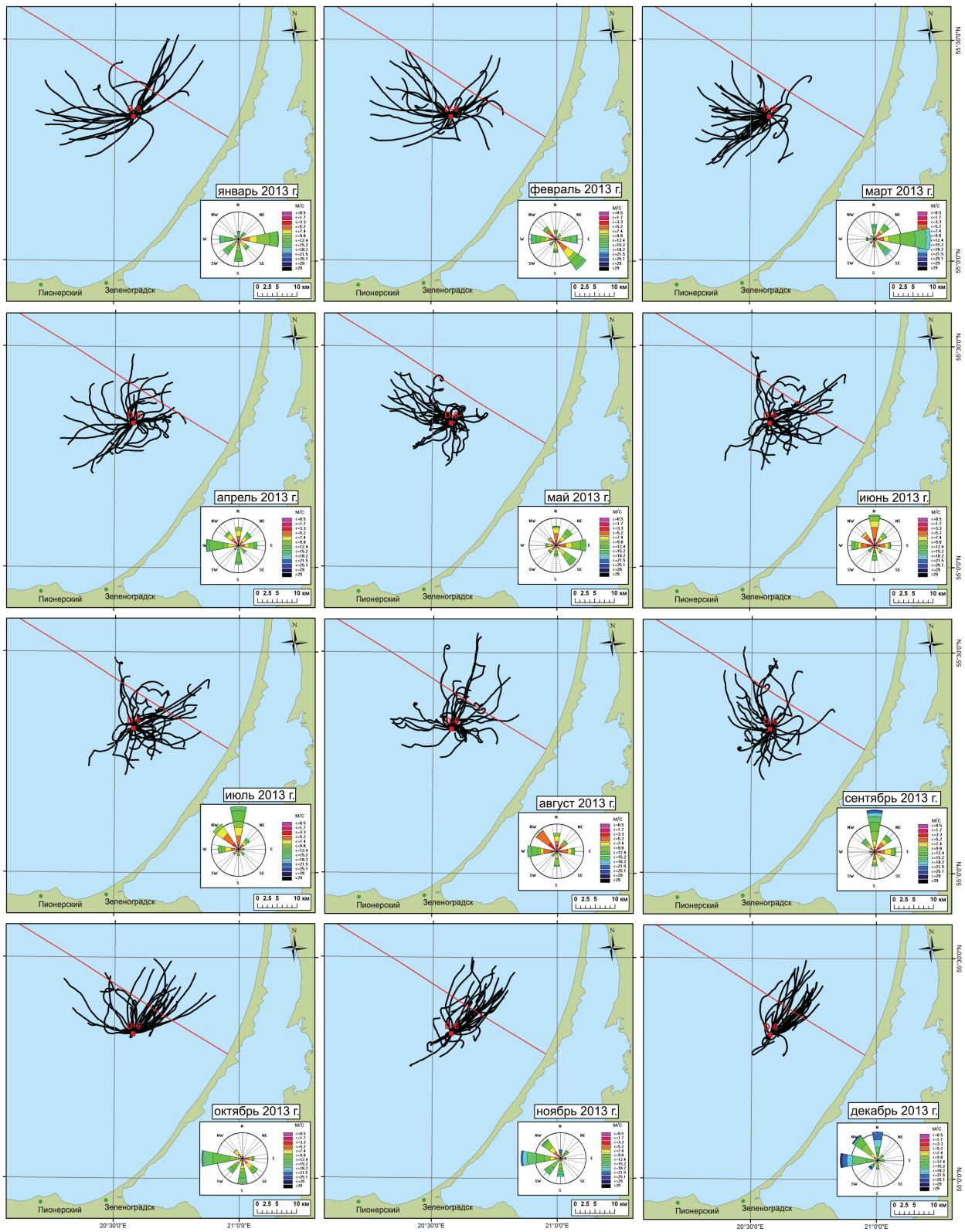


Рис. 9. Ежемесячные кумулятивные траектории распространения потенциального нефтяного пятна, образовавшегося от МЛСП D-6 по данным Seatrack Web для 2013 г.

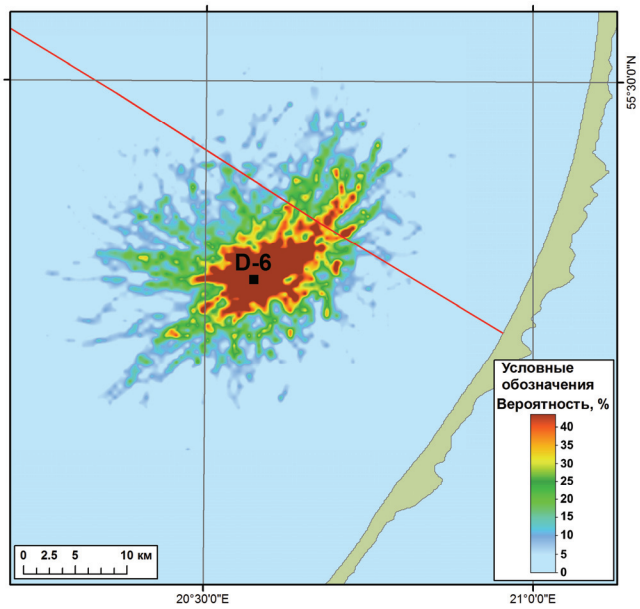


Рис. 10. Вероятность распространения (%) в течение 48 часов потенциального нефтяного загрязнения с платформы D-6 с января по декабрь 2013 г.

В 2013-2014 гг. также были сделаны ежедневные прогнозы дрейфа потенциального нефтяного загрязнения от главной судоходной трассы, ведущей к портам Калининград и Балтийск. Так, для конкретной метеорологической ситуации 15.07.2013 г., потенциальное нефтяное пятно уже через 3 часа достигло бы западного побережья Самбийского п-ова в районе г. Балтийск (*рис. 11а*). За последующие три дня (до 18.07.2013 г. 00:00 UTC) практически вся нефть оказалась бы на пляжах от г. Балтийска до пос. Янтарный (*рис. 11б*).

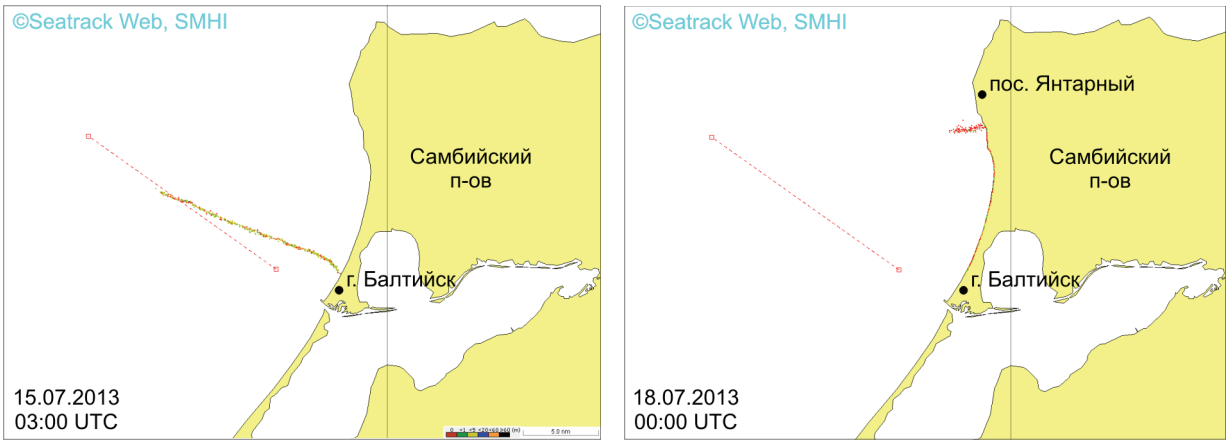


Рис. 11. Прогноз дрейфа потенциального загрязнения на трассе западнее Самбийского п-ова для метеорологической ситуации 15.07.2013 г. (00:00 UTC) - 18.07.2013 г. (00:00 UTC)

В Юго-Восточной Балтике наиболее загрязненной нефтепродуктами акваторией является район к западу от Самбийского п-ова (Булычева, Костяной, 2011; Костяной и др., 2012; Булычева, 2012; Kostianoy, Lavrova, 2014; Bulycheva et al., 2014). Известен случай,

когда нефтяное загрязнение морской поверхности в указанном районе явилось результатом нефтяного загрязнения пляжей северного побережья Самбийского п-ова, а так же пляжей Куршской косы от пос. Лесной до пос. Морское (Булычева, Костяной, 2011). Причем, выброс нефти на пляжи наблюдался в течение более чем месяца после обнаруженного на РЛИ нефтяного пятна (Булычева, Костяной, 2011).

За период 2013-2014 гг. было отмечено несколько похожих ситуаций, когда модельное пятно от района западнее Самбийского п-ова достигало побережья Куршской косы. На *рис. 12* приведен пример прогноза для метеорологической ситуации, начиная с 17 по 26 августа 2014 г. За начальное положение модельного пятна был выбран район, аналогичный случаю 2008 г. (Булычева, Костяной, 2011). Результат модельного прогноза показал, что при сложившихся метеорологических условиях гипотетическое нефтяное пятно может достичь побережья Куршской косы в районе пос. Морское (Россия) - пос. Нида (Литва) уже через 9 дней. Эта ситуация наглядно показала важность комбинации спутниковых наблюдений и численного моделирования в случае трансграничного переноса нефтяных загрязнений.

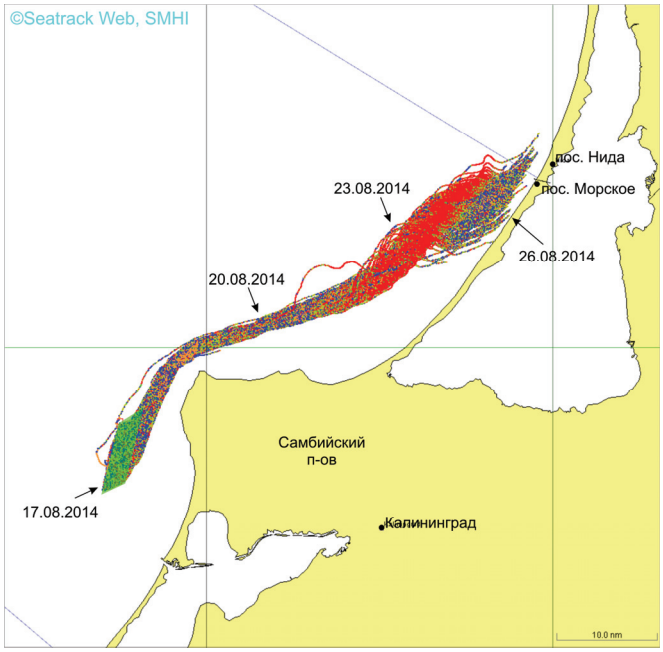


Рис. 12. Прогноз потенциального нефтяного пятна, обнаруженного западнее Самбийского п-ова 17.08.2014 г. Положение модельного пятна показано зеленым четырехугольником.

Финский залив

С 19 сентября по 18 ноября 2014 г. проводилось численное моделирование (модель Seatrack Web) ежедневного дрейфа потенциально возможного нефтяного загрязнения вдоль судоходной трассы в Финском заливе для исследования влияния гидрометеорологических, динамических и циркуляционных процессов на перенос загрязнений. Общая

длина выбранного участка судоходной трассы от дамбы комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) до выхода из Финского залива примерно на 22°30' в.д. – 400 км (*рис. 13*). Вдоль трассы модельным образом ежедневно в 00:00 UTC равномерно выливалось 40 м^3 смазочного масла. Моделирование дрейфа нефтяного пятна проводилось на 48 часов вперед с момента сброса нефтепродукта на поверхность моря, при этом каждые 3 часа моделью задавались необходимые прогнозные гидрометеорологические параметры, такие как скорость и направление ветра, скорость направление течений и др. Основные гидрометеорологические параметры также отображались на картах (всего 61 карта) дрейфа нефтяных пятен для наглядности. Синими стрелками указано поле течений, зелеными – поле ветра, а черными линиями – дрейф нефтяных пятен от судоходной трассы. Красными линиями отмечался дрейф нефтяных пятен в тех случаях, когда в течение 48 часов после разлива нефтепродуктов, нефтяное пятно садилось на берег островов или суши. Пространственное разрешение отдельных линий дрейфа вдоль трассы – около 1 км. На *рис. 14, 15, 16* представлены примеры результатов моделирования в виде карт с указанием необходимой информации.

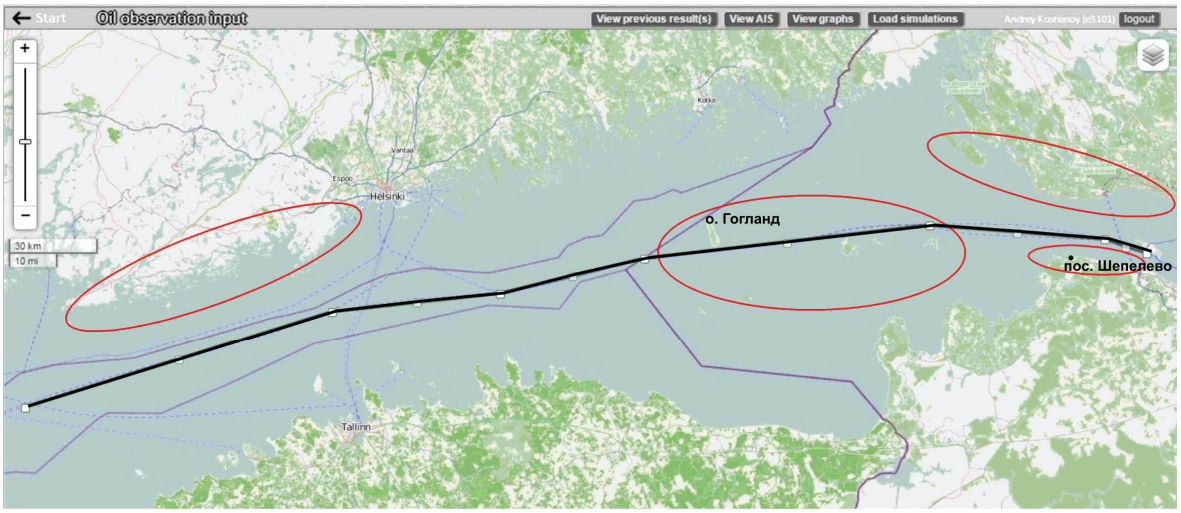


Рис. 13. Участок судоходной трассы в Финском заливе, выбранный для моделирования нефтяных разливов (черная линия), и районы потенциального риска нефтяного загрязнения берегов и островов (красные эллипсы). Синие линии разграничивают исключительные экономические зоны Финляндии, России и Эстонии. Синие пунктирные линии – основные судоходные трассы

На *рис. 14* представлена характерная ситуация с дрейфом нефтяного загрязнения от судоходной трассы на север, что наблюдается в большинстве случаев, поскольку преобладающий ветер в Финском заливе направлен на северо-восток. При достаточно сильном южном ветре (15 м/с), который устойчиво дул 24 и 25 октября 2014 г., дрейф нефтяного загрязнения на отдельных участках трассы достигал 30-45 км за 48 часов. Таким образом,

к концу вторых суток нефтяному загрязнению подверглись берега многочисленных островов к западу от Хельсинки, о. Гогланд и северный берег РФ в крайней восточной части Финского залива (красные линии).

Всего в 11 случаях из 61 нефтяному загрязнению подвергался южный берег РФ в крайней восточной части Финского залива, расположенный между КЗС и пос. Шепелево (*рис. 15*). Это объясняется редкими случаями ветров северных румбов. На том же *рисунке* видно, что при северном ветре происходит загрязнение нескольких мелких островов, находящихся на акватории РФ в Финском заливе. При западном или восточном ветре происходит дрейф нефтяного загрязнения вдоль судоходной трассы на восток и запад, соответственно, и загрязнение только островов на акватории РФ, включая остров Котлин, через который проходит КЗС (*рис. 16*).

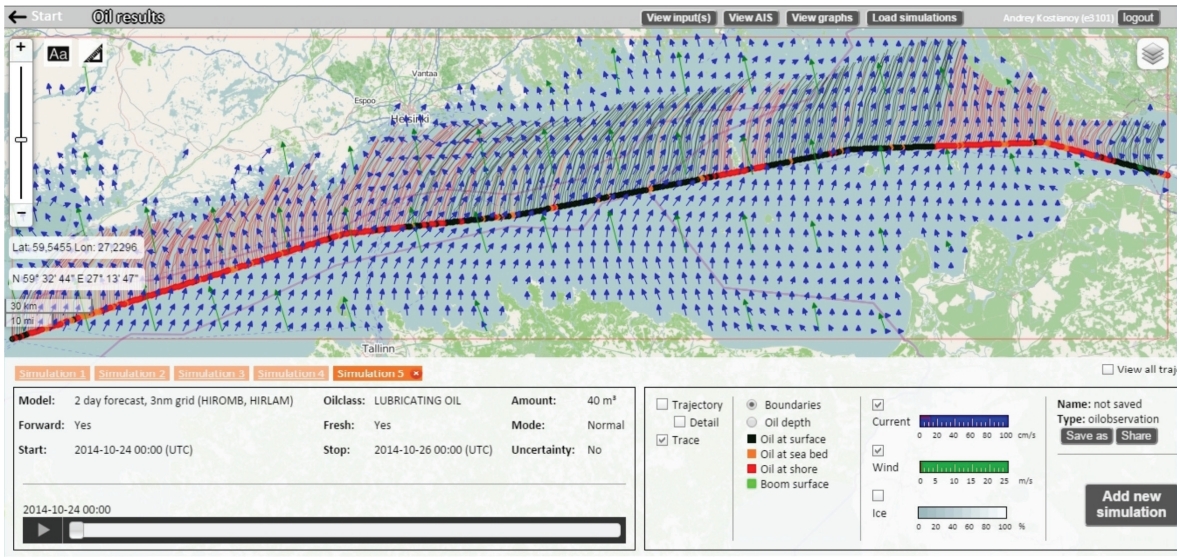


Рис. 14. Дрейф нефтяного загрязнения 24 октября 2014 г.

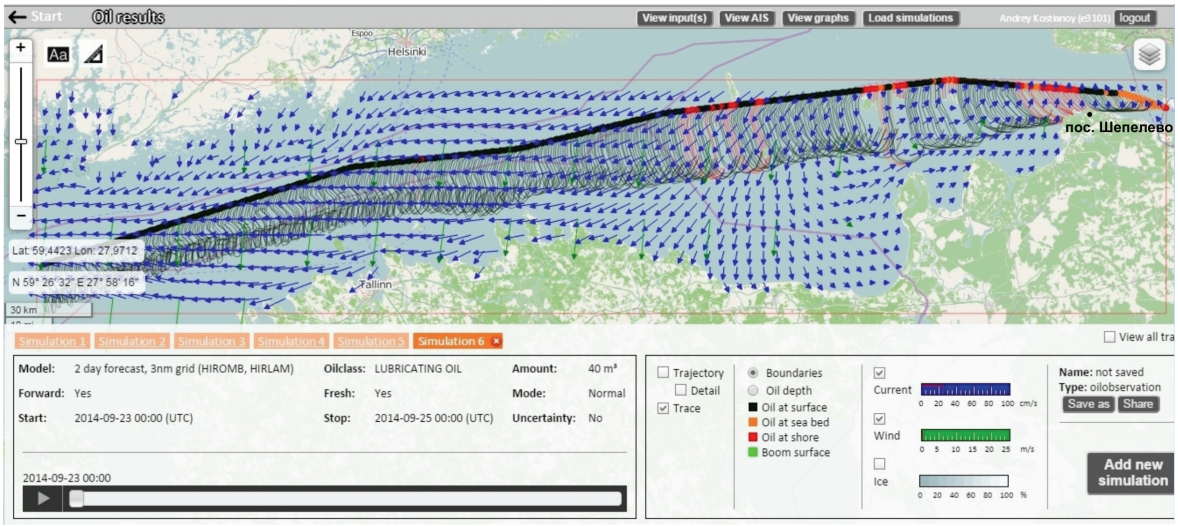


Рис. 15. Дрейф нефтяного загрязнения 23 сентября 2014 г.

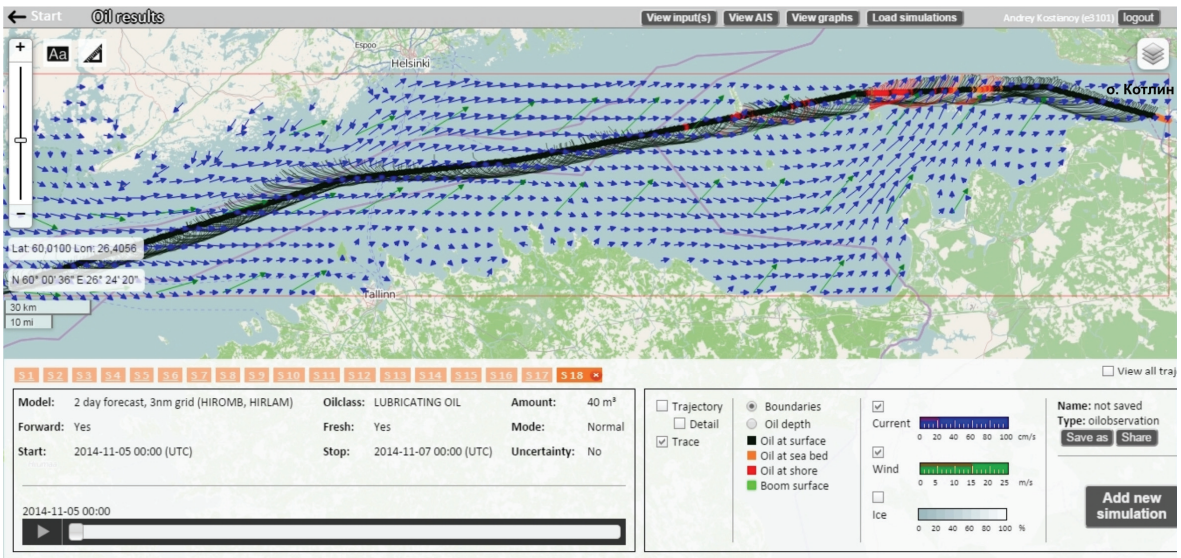


Рис. 16. Дрейф нефтяного загрязнения 5 ноября 2014 г.

Моделирование показало, что наибольшей потенциальной опасности нефтяного загрязнения подвергается о. Гогланд, южнее которого проходит судоходная трасса. В 61 модельном эксперименте было зафиксировано 57 случаев загрязнения острова нефтепродуктами. В 29 случаях оказались загрязненными берега нескольких мелких островов на акватории РФ. В 26 случаях подвергались опасности мелкие острова у берега Финляндии к западу от Хельсинки. В 20 случаях это был северный берег РФ в крайней восточной части Финского залива и только в 11 случаях - южный берег РФ. Все эти районы показаны на *рис. 13*. Ни одного случая загрязнения островов и побережья Эстонии зафиксировано не было.

Кроме того, по данным Шведского института метеорологии и гидрологии (SMHI) в период с 19 сентября по 18 ноября 2014 г. по спутниковым данным было обнаружено 1 нефтяное пятно на акватории Финского залива (3 октября 2014 г., 04:39 UTC). Оно находилось в финской акватории в нескольких километрах от многочисленных островов (*рис. 17*). Пятно имело вытянутую форму, ориентированную с запада на восток, и площадь 0,2 км^2 (*рис. 18*). Ширина пятна составляла 50-200 м, длина – около 2 км. Моделирование дрейфа нефтяного пятна проводилось на 48 часов вперед с момента обнаружения пятна на поверхности моря. Всего было получено 7 карт, показывающие детальную форму пятна, его географическое положение, поля ветра и течений, а также результаты моделирования в различных видах. На *рис. 19* и *20*, в качестве примера, представлены результаты моделирования, показывающие, что дрейф нефтяного загрязнения будет происходить на запад, в результате чего оно значительно приблизится к берегам многочисленных островов.

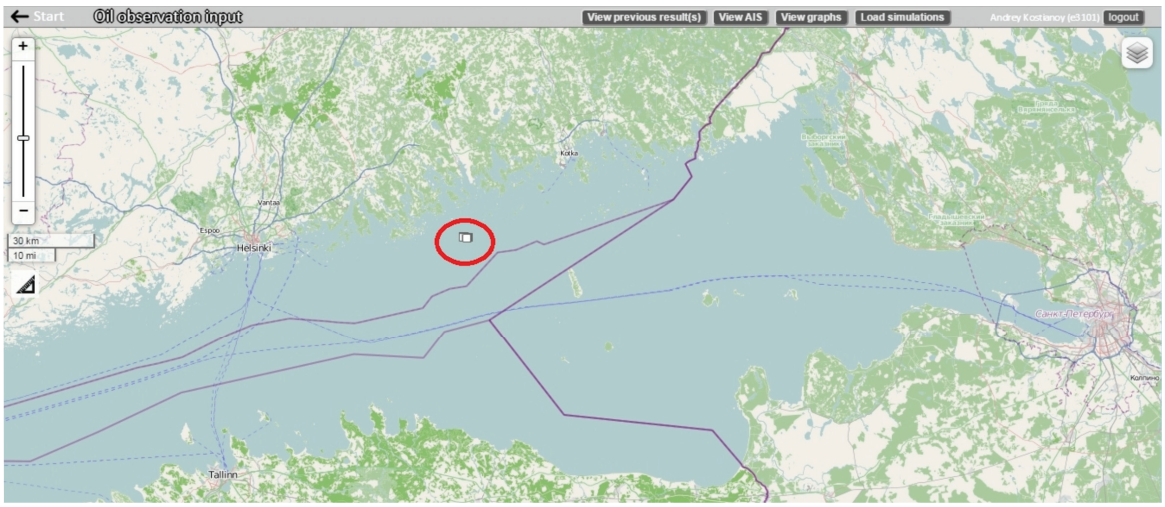


Рис. 17. Положение нефтяного пятна, обнаруженного по спутниковым данным 3 октября 2014 г. (Seatrack Web, SMHI)

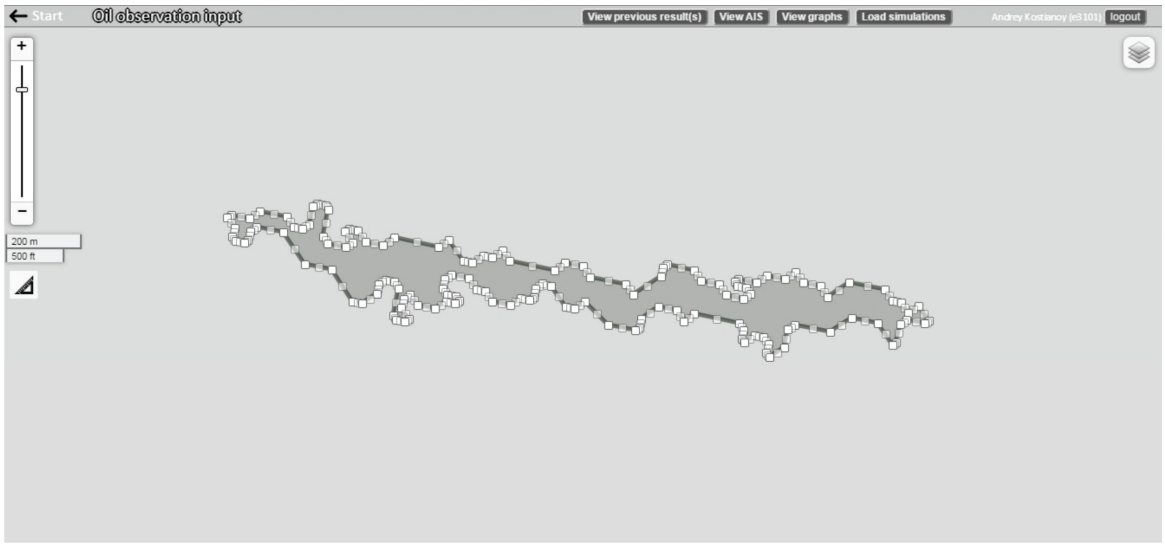


Рис. 18. Форма и размеры нефтяного пятна, обнаруженного 3 октября 2014 г. (Seatrack Web, SMHI)

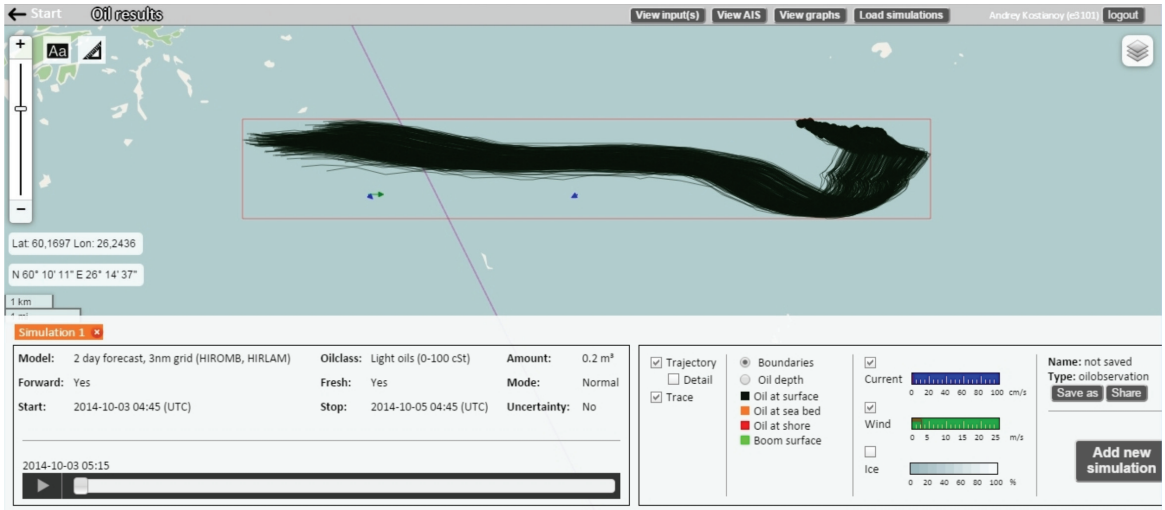


Рис. 19. Модельный расчет дрейфа нефтяного пятна, обнаруженного 3 октября 2014 г. (Seatrack Web, SMHI)

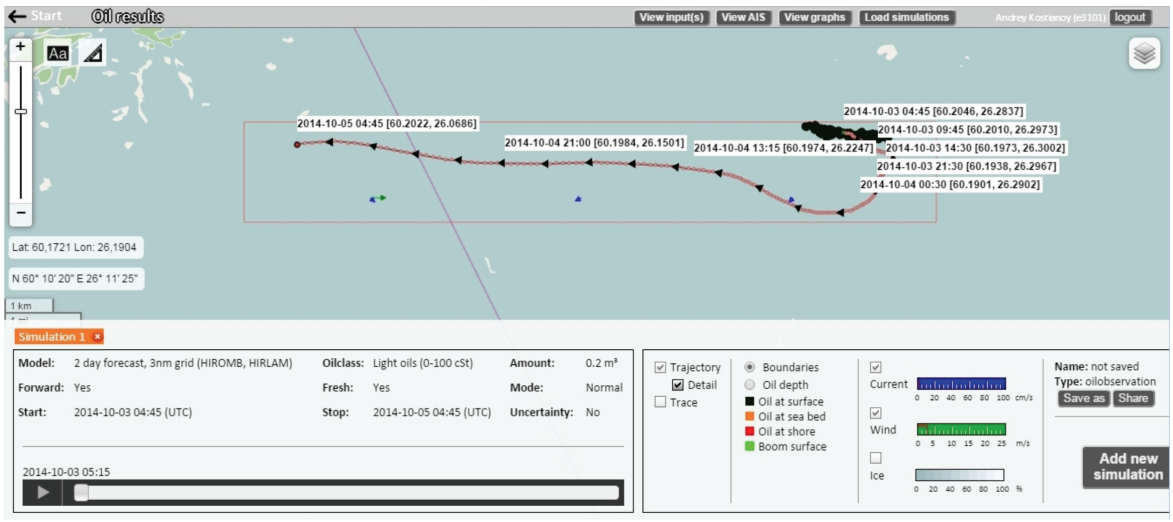


Рис. 20. Модельный расчет траектории перемещения центра нефтяного пятна, обнаруженного 3 октября 2014 г. (Seatrack Web, SMHI)

Выводы

В работе показано, что интерактивная оперативная модель SeatrackWeb Шведского института метеорологии и гидрологии, предназначенная для моделирования дрейфа и трансформации нефтяных пятен различного типа, является уникальным инструментом для оценки рисков нефтяного загрязнения берегов и островов юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива. На основе численного моделирования с июля по декабрь 2004 г. показано, что при потенциальной аварии на МЛСП D-6 67% вероятных дрейфов нефтяных пятен было бы направлено на Куршскую косу, причем только в половине этих случаев (35%) эти пятна достигли бы береговой линии, что объясняется интенсивным вдольбереговым течением. По данным моделирования 2013 г. ни одного случая загрязнения берега Куршской косы (в течение первых 48 часов после гипотетической аварии на платформе) отмечено не было.

Численное моделирование и разработанная методика построения вероятностных карт нефтяного загрязнения акватории моря и берегов позволяет ежедневно планировать план работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с потенциально возможной аварией (утечка нефти) на платформе D-6 или на подводном нефтепроводе.

Прогнозы дрейфа нефтяного загрязнения от судоходной трассы западнее Самбийского п-ова показали, что при соответствующих гидрометеорологических условиях нефтяное загрязнение может достичь побережья уже через 3 часа. Так же было отмечено, что существует вероятность загрязнения пляжей Куршской косы при выбросе нефтепродуктов в мористом районе порта Балтийск.

Численное моделирование дрейфа потенциально возможного нефтяного загрязнения вдоль судоходной трассы в Финском заливе ежедневно на протяжении 61 суток (сентябрь-ноябрь 2014 г.) позволило выявить 5 районов вероятного загрязнения островов и берегов Финляндии и России: о. Гогланд, другие острова на акватории РФ, мелкие острова у берега Финляндии к западу от Хельсинки, северный и южный берег РФ в крайней восточной части Финского залива. Ни одного случая загрязнения островов и побережья Эстонии зафиксировано не было.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00555).

Литература

1. *Булычева Е.В., Костяной А.Г.* 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.
2. *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.* Комплексный оперативный спутниковый мониторинг в 2004-2005 гг. / В кн.: Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. 2: Море. Калининград: Янтарный сказ, 2012. С. 483-518.
3. *Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А.* Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011, 470 с.
4. *Ambjörn C.* Forecasts of the trajectory and fate of spills, using Internet as the calculation platform. Abstracts, USA-Baltic International Symposium “Advances in Marine Environmental Research, Monitoring and Technologies”, Klaipeda, Lithuania, 15-17 June 2004.
5. *Ambjörn C.* Seatrack Web, forecast of oil spills, the new version 2.0. - Abstracts, US/EU–Baltic International Symposium on “Integrated Ocean Observation Systems for Managing Global & Regional Ecosystems Using Marine Research, Monitoring & Technologies”, May 23-25, 2006, Klaipeda, Lithuania.
6. *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. 2014. Vol. 27. Special Issue. P. 9-14.
7. *Hanninen S., Rytkonen J.* Oil transportation and terminal development in the Gulf of Finland. VIT publication N 547. VIT Technical Research Center of Finland. 2004. 141 p.
8. *Kostianoy A., Ambjorn C., Soloviev D.* Seatrack Web: a numerical tool to protect the Baltic Sea marine protected areas. Proc., US/EU Baltic 2008 International Symposium “Ocean Observations, Ecosystem-Based Management and Forecasting”, May 27-29, 2008, Tallinn, Estonia, 2008.
9. *Kostianoy A.G., Ambjörn C., Solovyov D.M.* Seatrack Web – a Numerical Tool for Environmental Risk Assessment in the Baltic Sea. / In: Oil Pollution in the Baltic Sea, (Eds.) A.G. Kostianoy and O.Yu. Lavrova. Springer-Verlag, 2014. Vol. 27. P. 185-220.
10. *Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu.* (Eds.) Oil pollution in the Baltic Sea. Springer-Verlag, 2014. Vol. 27. 268 pp.
11. *Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Pichuzhkina O.E.* Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea. Annual Report 2004. Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005. 36 pp.
12. *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.* 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.
13. *Kuronen J., Helminen R., Lehikoinen A., Tapaninen U.* Maritime transportation in the Gulf of Finland in 2007 and in 2015. Publications from the Centre for Maritime Studies, University of Turku. 2008. No. A-45, 114 pp.

Numerical simulation of risks of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea and in the Gulf of Finland

A.G. Kostianoy [1, 2], E.V. Bulycheva [3]

[1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia
[2]S.Yu. Witte Moscow University, Moscow 115432, Russia
E-mail: kostianoy@gmail.com
[3]Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad 236022, Russia
E-mail: bulycheva.lena@gmail.com

The paper presents the results of using the Seatrack Web numerical model of drift and transformation of oil spills elaborated by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). The assessment of risks of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea around the oil platform D-6 and in the Gulf of Finland from the main navigation routes was made. Two examples of oil spills detected in the vicinity of D-6 were considered and their drift forecast was performed what allowed to identify the possible polluter. The areas of the probable contamination of the waters around the platform D-6, as well as the beaches of the Sambian Peninsula and the Curonian Spit are revealed. In September-November 2014 61 numerical experiments with a uniform discharge of oil from the shipping route in the Gulf of Finland were performed. We identified areas of potential risk of oil pollution of coasts and islands in Finland and Russia, among them the Hogland Island (Russia) is most at risk. Model results showed no cases of potential oil pollution of the coasts and islands of Estonia. We show the results of the modeling of the drift and transformation of an oil spill detected by satellite on October 3, 2014 in the waters of Finland.

Keywords: The Southeastern Baltic Sea, the Gulf of Finland, oil pollution, oil spill drift forecast, numerical simulation, Seatrack Web model.

References

1. Bulycheva E.V., Kostianoy A.G. Rezultaty sputnikovogo monitoringa neftyanogo zagryazneniya yugo-vostochnoi chasti Baltiyskogo morya v 2006-2009 gg (Results of satellite monitoring of oil pollution in the Southeastern Baltic Sea in 2006-2009), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 2, pp. 74-83.
2. Kostianoy A.G., Litovchenko K.C., Lavrova O. Yu., Mitiagina M.I., Bocharova T.Yu., Lebedev S.A., Stanichny S.V., Solov'ev D.V., Sirota A.M. Kompleksnyj operativnyj sputnikovyj monitoring v 2004-2005 gg. (Integrated operational satellite monitoring in 2004-2005), In: *Neft' i okruzhajuschaia sreda Kaliningradskoj oblasti. Vol. 2: More* (Oil and the environment of the Kaliningrad Region. Vol.2: The sea). Kaliningrad: Yantarny skaz, 2012, pp. 483-518.
3. Lavrova O.Yu., Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Mitiagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N.A. *Kompleksnyj sputnikovyj monitoring morej Rossii* (Integrated satellite monitoring of Russian seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 470 p.
4. Ambjörn C. Forecasts of the trajectory and fate of spills, using Internet as the calculation platform. Abstracts, USA-Baltic International Symposium *"Advances in Marine Environmental Research, Monitoring and Technologies"*, Klaipeda, Lithuania, 15-17 June 2004.
5. Ambjörn C. Seatrack Web, forecast of oil spills, the new version 2.0. Abstracts, US/EU–Baltic International Symposium *"Integrated Ocean Observation Systems for Managing Global & Regional Ecosystems Using Marine Research, Monitoring & Technologies"*, May 23-25, 2006, Klaipeda, Lithuania.
6. 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,* 2014, Vol. 27, Special Issue, pp. 9-14.
7. Hanninen S., Rytkonen J. Oil transportation and terminal development in the Gulf of Finland. *VIT publication N 547*, VIT Technical Research Center of Finland, 2004, 141 pp.
8. Kostianoy A., Ambjorn C., Soloviev D. Seatrack Web: a numerical tool to protect the Baltic Sea marine protected areas. Proc., US/EU Baltic 2008 International Symposium *"Ocean Observations, Ecosystem-Based Management and Forecasting"*, May 27-29, 2008, Tallinn, Estonia, 2008.
9. Kostianoy A.G., Ambjörn C., Solovyov D.M. Seatrack Web – a Numerical Tool for Environmental Risk Assessment in the Baltic Sea. In: *Oil Pollution in the Baltic Sea*, (Eds.) A.G. Kostianoy and O.Yu. Lavrova, Springer-Verlag, 2014, Vol. 27, P. 185-220.
10. Kostianoy A.G., Lavrova O.Yu. (Eds.) *Oil pollution in the Baltic Sea*. Springer-Verlag, 2014, Vol. 27, 268 pp.

11. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Soloviev D.M., Pichuzhkina O.E. *Satellite monitoring of the Southeastern Baltic Sea. Annual Report 2004*, Kaliningrad: Lukoil-Kaliningradmorneft, 2005, 36 pp.
12. 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. Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea: 18 months experience, *Environmental Research, Engineering and Management*, 2006, No. 4 (38), pp. 70-77.
13. Kuronen J., Helminen R., Lehikoinen A., Tapaninen U. Maritime transportation in the Gulf of Finland in 2007 and in 2015, *Centre for Maritime Studies, University of Turku,* 2008, No. A-45, 114 pp.