

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА *SEE THE SEA* ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БАЛТИЙСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Митягина М.И., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А., Уваров И.А.

Институт космических исследований РАН (Москва, Россия)

E-mail: mityag@iki.rssi.ru

Введение

На современном этапе исследование океана невозможно представить без использования информации, полученной с помощью сенсоров, установленных на различных спутниках, специализированных для дистанционного зондирования Земли. Размеры Мирового океана и большая изменчивость его характеристик затрудняют сбор сведений о процессах и явлениях, происходящих в самом океане и атмосфере над ним, поэтому значение наблюдений океана из космоса невозможно переоценить. Область применения данных дистанционного зондирования, получаемых с различных спутников, применительно к морям и океанам, чрезвычайно широка [1,2].

Следует отметить, что благодаря фактически взрывному росту объемов информации, получаемой на основе данных дистанционного зондирования, эффективная работа с этой информацией, в том числе ее комплексный анализ, становятся возможными только посредством использования специально разработанных систем и технологий, позволяющих оперировать с большими, постоянно пополняющимися архивами данных. Эти технологии позволяют реализовать совершенно новые подходы к работе с данными дистанционного зондирования. В частности, в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) создан и находится в опытной эксплуатации спутниковый сервис *See The Sea* (STS), ориентированный на описание и изучение различных процессов и явлений, происходящих в океане и атмосфере над ним, на основе разнородных данных спутниковых систем дистанционного зондирования [3].

Спутниковый информационный сервис *See The Sea* не только обеспечивает возможность доступа к спутниковым данным, накопленным в архивах различных центров, а также различным информационным продуктам, полученным на их основе, но и предоставляет специалистам различные инструменты для анализа этой информации. В системе также предусмотрены возможности описания различных процессов и явлений, происходящих в Мировом океане, и ведения долговременных баз данных таких описаний.

Структура и основные функции спутникового сервиса *See The Sea*

Автоматический сбор и обработку данных в спутниковом сервисе STS осуществляет специализированная подсистема сбора данных и обработки данных. Для автоматизированного ведения архивов данных создана подсистема ведения специализированных архивов. Обе эти подсистемы созданы на основе разработанных в ИКИ РАН технологий сбора, архивации, обработки и распространения данных [4-8]. Отметим, что данные подсистемы рассчитаны на то, что как источники данных, так и типы входной информации могут меняться и расширяться.

В спутниковом сервисе STS большое внимание уделено вопросу созданию интерфейсов работы данными. Для этого создана специализированная система представления данных, которая обеспечивает работу пользователей с данными посредством развитого картографического WEB-интерфейса, что позволяет организовать работу с данными для распределенных групп исследователей, участвующих в различных научных проектах. Основой при создании системы STS стала технология GEOSMIS, разработанная в ИКИ РАН и хорошо зарекомендовавшая себя при построении систем работы с данными в различных научных и прикладных проектах выполняемых в Институте [9]. Подсистема работы с данными обеспечивает решение нескольких основных групп задач:

- поиск и выбор нужного для анализа набора данных;
- проведение анализа данных и выделение информации о том или ином наблюдаемом на поверхности океана явлении;
- создание описания явления, наблюдаемого на поверхности моря, сохранение данного описания в специализированной базе данных;
- отображение и анализ информации о различных описанных явлениях.

Поскольку спутниковый сервис STS позволяет работать с архивами данных, которые сегодня содержат в общей сложности более ста тысяч сцен различной информации более чем 10 лет, одной из основных процедур, которую вынужден осуществлять исследователь, работающий с сервисом - это поиск и выбор нужного ему для анализа набора данных. Поэтому особое внимание в интерфейсах, использующихся в сервисах, уделяется вопросам обеспечения удобного выбора параметров поиска данных (географический район, дата, время, тип информационного продукта, источник, из которого получены данные и т.д.).

В настоящее время спутниковый сервис STS ориентирован на работу со следующими основными типами спутниковых данных и результатов их обработки:

- Радиолокационные данные применяются для изучения широкого класса процессов и явлений, проявляющихся на морской поверхности посредством модуляции гравитационно-капиллярной составляющей спектра поверхностного волнения и протекающих в океане и атмосфере над ним. Система STS обеспечивает возможность работы с

данными сенсоров SAR ERS-1,2, и ASAR Envisat, архив которых ведется в ИКИ РАН с 1999 года. На данном этапе в этих архивах накоплено около 5000 сцен, охватывающих в основном акватории Черного, Балтийского и Каспийского морей. Следует особо отметить, что это один из немногих существующих архивов, содержащих такой объем данных по акваториям этих морей.

- Данные метеорологических спутниковых систем обеспечивают наблюдения в видимом и инфракрасном диапазонах. На основе этих данных восстанавливаются параметры цветности моря, температура морской поверхности, характеристики течений и вихревых структур, оценивается ледовая обстановка и т.д. Система STS обеспечивает возможность работы данными прибор ов AVHRR NOAA, MODIS Terra/Aqua, MERIS Envisat. В архивах ИКИ РАН начиная с 2000 года накоплено несколько десятков тысяч сеансов данных этих сенсоров по территории пограничных морей, которые на данный момент интегрированы в сервис STS.
- Данные природоресурсных спутниковых систем обеспечивают наблюдения в видимой и инфракрасной областях спектра с достаточно высоким пространственным разрешением (несколько десятков метров) и используются для детального анализа различных морских процессов. Система STS обеспечивает возможность работы с данными сенсоров TM и ETM+, установленных, соответственно, на спутниках LANDSAT 5 и LANDSAT 7. В ИКИ РАН накоплены архивы этих данных по территории пограничных морей России, включающие несколько десятков тысяч сцен, интегрированных в спутниковый сервис STS.
- Метеорологические данные. В настоящее время в STS используются архивы метеоинформации, созданные в ИКИ РАН на основе данных, поступающих из Национального центра атмосферных исследований США (NCAR) (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds094.0/>). Эти данные получены с помощью модели NCEP Climate Forecast System Version 2 и представлены на основе регулярной сетки с шагом $0,5^{\circ}$ и временным разрешением 6 часов. Для архивных данных спутниковый сервис STS в настоящее время обеспечивает возможность работы со следующим набором метеорологических параметров: температура воздуха (средняя за период, минимальная и максимальная), количество осадков, относительная влажность, атмосферное давление, облачность, нисходящие и восходящие потоки солнечной радиации, скорость и направление ветра.
- Картографическая информация (карты глубин, береговые линии, населенные пункты и реки находящиеся в береговой зоне и т.д) также интегрирована в спутниковый сервис и используется при анализе различных процессов, происходящих в приграничных морях России. Дополнительные наборы данных. Спутниковый сервис STS изначально строится как достаточно открытая система, которая должна позволять интегрировать в себя дополнительные наборы

данных. При появлении дополнительных спутниковых систем наблюдения система будет расширяться. В частности, в ближайшее время в нее планируется интегрировать данные со спутника NPP, серии нового поколения метеорологических спутников наблюдений США (http://jointmission.gsfc.nasa.gov/spacecraft_inst.html).

Кроме того, в спутниковом сервисе STS имеется возможность оперативно получать доступ к информации из внешних источников на уровне интерфейсов работы с данными. Так, например, исследователям, использующим сервис STS, по согласованию с владельцами архивов данных, может быть открыт доступ к архивам данных НИЦ "Планета" (головная организация, обеспечивающая работу со спутниковыми данными в интересах Росгидромета, <http://planet.iitp.ru/>), НЦ ОМЗ (центр приема и обработки данных ДЗЗ Роскосмоса, <http://www.ntsomz.ru/>), геопортала Роскосмоса (информационный ресурс, поддерживаемый Роскосмосом, обеспечивающий доступ к каталогам и архивам данных, развивающимся в рамках Единой территориально-распределенной системы работы с данными ДЗЗ, создающейся Роскосмосом, <http://geoportal.ntsomz.ru/>).

Произведя выбор данных, необходимых для анализа какого-то объекта или явления, исследователь может, используя возможности интерфейсов STS, начать проведение их анализа. Следует особо отметить, что такая возможность позволяет исключить достаточно трудоемкий этап работы с данными дистанционного зондирования, который в настоящее время присутствует практически во всех системах, использующих такие данные. Это этап создания собственной системы хранения, обработки и анализа данных, ориентированных на конкретный проект или организацию. Спутниковый сервис STS позволяет проводить операции преобразования и анализа данных, не перемещая их в какое-то специализированное хранилище, а получая данные "на ходу" из архивов STS.

В настоящее время интерфейсы STS позволяют, в частности: проводить контрастирование данных, преобразование данных к различным шкалам, сравнение разновременных данных, построение различных цветосинтезированных композитов на основе различных каналов и типов данных (в том числе, используя разновременные данные), оценку численных характеристик параметров различных объектов, поточечный анализ значений для различных продуктов и т.д. Некоторые примеры, такого анализа приведены на рис 1. Следует отметить, что набор операций, которые можно производить с данными в интерфейсах STS, постоянно расширяется.

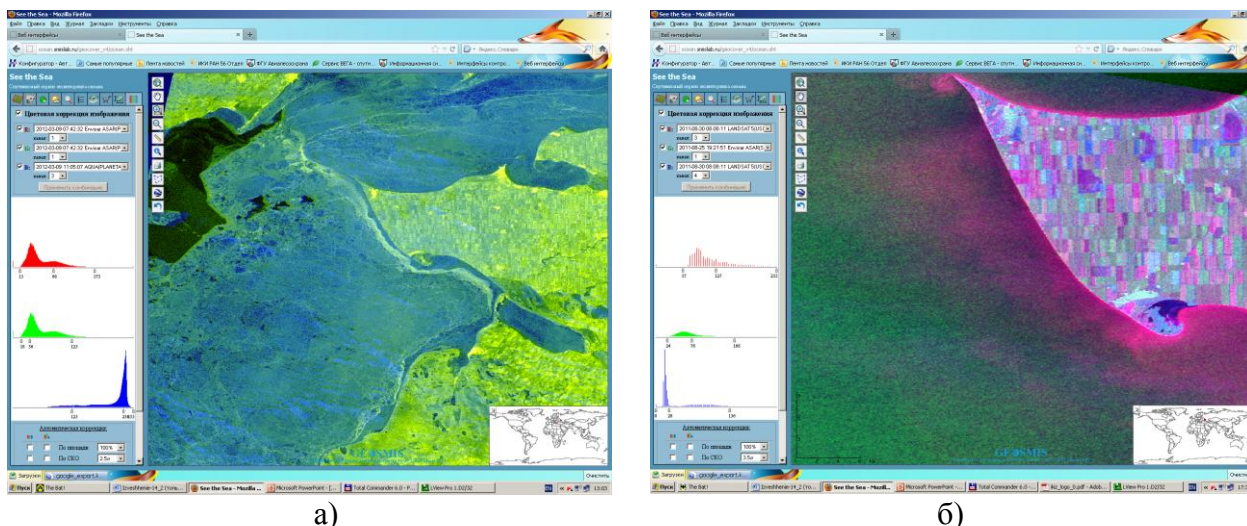
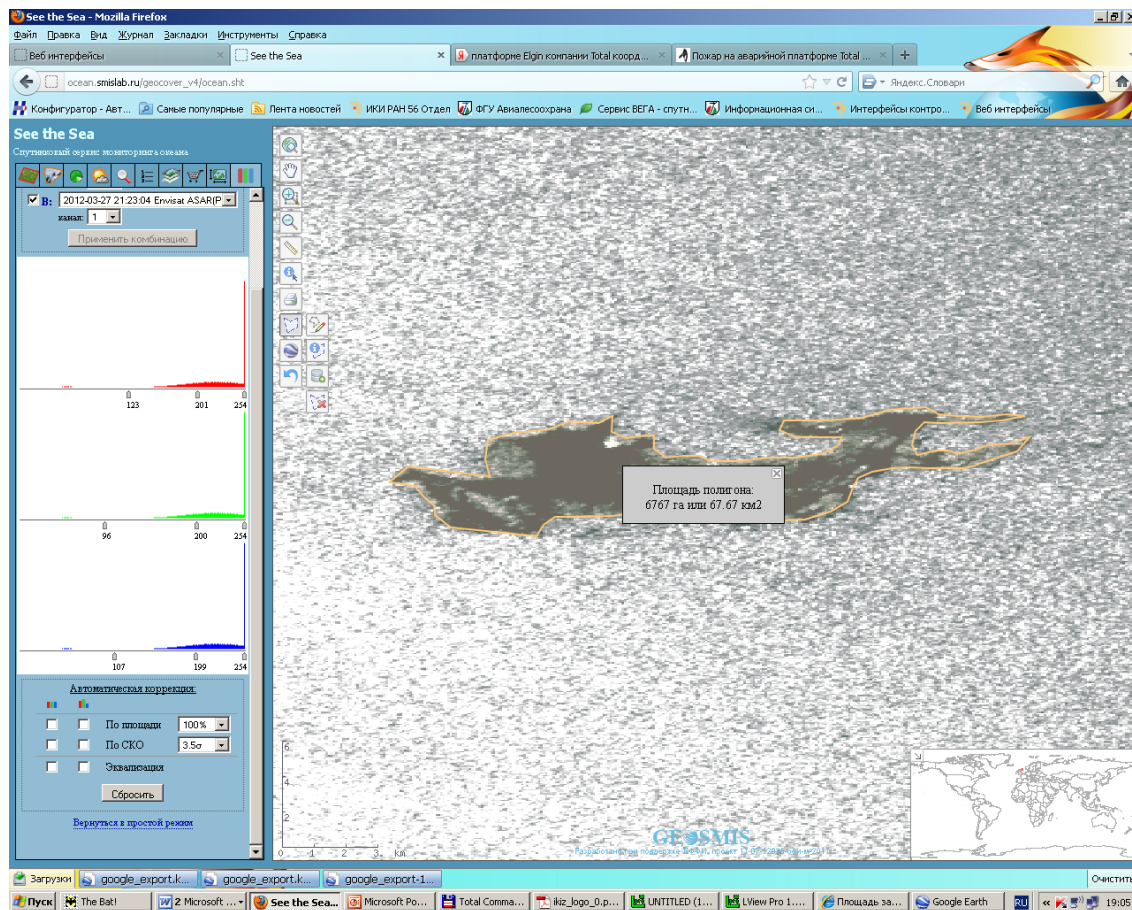


Рис. 1 Примеры операций над спутниковыми данными и результатами их обработки в интерфейсах спутникового сервиса STS: а) пример анализа гистограмм и построения комплексных композитных изображений на основе данных различных спутниковых систем MODIS, и ASAR Envisat за 09.03.2012, северо-восточная часть Азовского моря; б) пример совместного анализа данных приборов LANDSAT-5 TM и ASAR Envisat за 25.08.2011, восточная часть Азовского моря.

Как уже говорилось выше, основной задачей спутникового сервиса STS является обеспечение возможности анализа различных океанических процессов и явлений на основе спутниковых данных. При этом следует иметь в виду, что в настоящее время далеко не для всех явлений и типов наблюдения могут быть созданы системы автоматической обработки данных, позволяющие проводить поиск и выбор интересующих явлений. Особенно трудно поддаются автоматизации процесса обработки информации, поступающей от радиолокационных систем наблюдения. С учетом этих особенностей, спутниковый сервис STS в основном ориентирован на то, чтобы обеспечить для исследователя инструмент, позволяющий визуально найти тот или иной процесс, описать его, используя различную комплексную информацию, и сохранить эту информацию в специализированную базу данных для ее дальнейшего анализа. Для решения этой задачи в STS создана подсистема создания и ведения описаний различных типов изучаемых явлений (STS ЯВЛ). STS ЯВЛ позволяет с помощью интерфейсов STS выделить то или иное явление или процесс, сформировать его описание и поместить в СБД. Пример, выделения одного из таких объектов (нефтяное пятно) приведен на рис 2. В настоящее время в спутниковом сервисе STS реализован действующий прототип подсистемы STS ЯВЛ, ориентированный на изучение следующих процессов и явлений: океанические вихревые структуры, вихревые структуры в приповерхностном слое атмосферы, океанические внутренние волны, нефтяные загрязнения, обусловленные сбросами с судов, антропогенные загрязнения морской поверхности; поверхностные пленки биогенного происхождения; береговые стоки; районы цветения водорослей; атмосферные гравитационные волны; атмосферные и океанические фронты; дождевые ячейки, конвективные структуры в приповерхностном слое атмосферы. Естественно, что список явлений и

наборы, описывающих их параметров, являются открытыми и могут достаточно легко быть расширенными и модифицированы. Для наиболее полного описания каждого такого процесса и явления из данного списка определен оптимальный набор, характеризующих их параметров и сформирован раздел СДБ, ориентированный на работу с тем или иным явлением.

Рис. 2. Пример выделения на радиолокационном изображении ASAR Envisat пятна,



образовавшегося в результате утечки на платформе ELGIN компании Total Северное море 27.03.2012. Площадь пятна более 60 кв. км

Для того чтобы можно было в дальнейшем работать с СБД STS для исследования различных процессов и явлений, в составе STS создается подсистема система анализа различных явлений (STS АНЯ). Эта подсистема должна обеспечить не только возможность анализа различных характеристик изучаемых явлений, в частности пространственных и временных распределений, но и поиск связей между ними, для построения различных моделей динамики изучаемых океанических процессов. В целом, спутниковый сервис STS должен обеспечить возможность реализации комплексных исследований.

Выявление нефтяного загрязнения Балтийского и Каспийского морей на основе данных спутникового дистанционного зондирования

В ходе тестовой эксплуатации информационного сервиса STS начато решение задачи о выявлении акваторий, наиболее подверженных загрязнениям нефтепродуктами и иными антропогенными загрязнениями, на основе данных спутниковых наблюдений.

Основным средством спутникового контроля состояния морской поверхности и оценки степени загрязненности являются радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), установленные на искусственных спутниках Земли ERS-2 и Envisat Европейского космического агентства. Кроме того, для интерпретации РЛИ привлекались данные сенсоров MODIS ИСЗ Aqua/Terra, MERIS ИСЗ Envisat и AVHRR ИСЗ NOAA видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, несущие информацию о полях температуры поверхности моря (ТПМ) и мезомасштабной динамике вод. Дополнительно использовались данные в восьми диапазонах сканирующих радиометров ETM+ ИСЗ Landsat 7 и TM Landsat 5. Проведены обобщение и систематизация результатов, полученных в разных тестовых регионах [10].

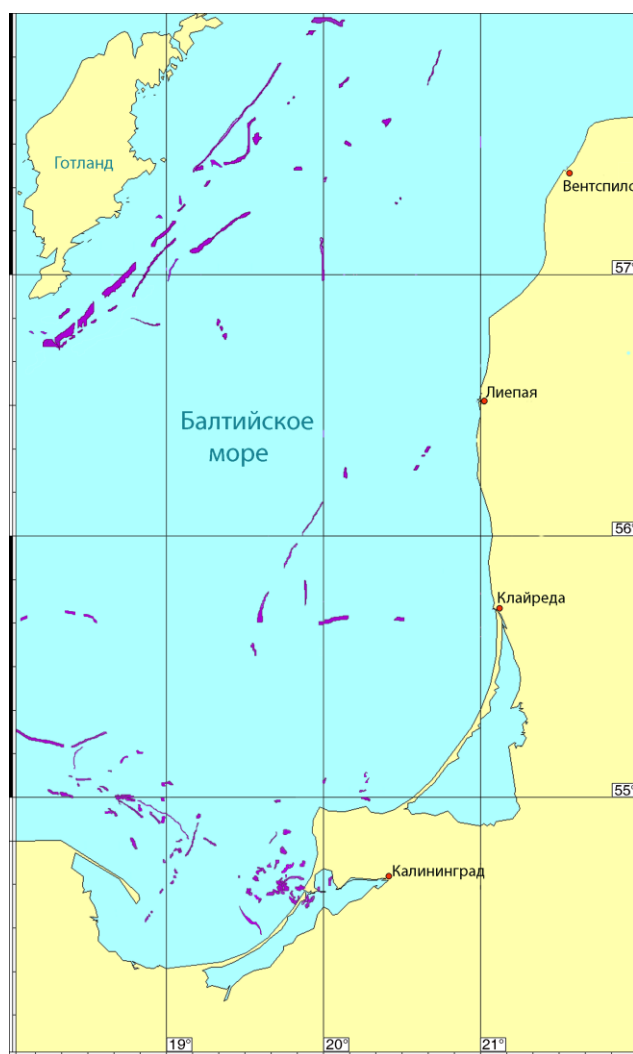


Рис. 3. Сводная карта нефтяных пятен в юго-восточной части Балтийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009- 2012 гг.

Составлена сводная карта всех нефтяных пятен, обнаруженных в юго-восточной Балтике в 2009-2012 гг, на которой представлены реальные формы и размеры пятен (рис. 3). Выявлены районы, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами.

Подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности, выявленных в юго-восточной части Балтийского моря, представляют собой утечки и сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты. Массив пятен четко вырисовывает основные судоходные трассы в юго-восточной части Балтийского моря, а также трассу вдоль Готланда. Следовательно, основными источниками нефтяных загрязнений являются несанкционированные сбросы с морских судов. Как видно из карты, в этой части акватории Балтики можно выделить четыре района, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами. Такими районами являются:

1. Основные судоходные трассы к юго-востоку от о-ва Готланд.
2. Судоходные трассы к портам Клайпеда и Лиепая.
3. Участок акватории в окрестности Хельской косы.
4. Участок акватории Гданьского залива вблизи входа в Балтийский (Пилавский) пролив.

Выявленная нами в ходе спутникового мониторинга картина поверхностных загрязнений Каспийского моря нефтесодержащими пленками во многом предопределена природными особенностями Каспийского моря, главной из которых является наличие больших запасов нефти и газа в его недрах. Наиболее существенными источниками загрязнения поверхности Каспийского моря являются разведка и эксплуатация нефтяных месторождений, а также проявления грязевого вулканизма

Как видно из приведенной на рис. 4 обобщенной карты загрязнений, можно выделить два основных района наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности Каспийского моря, каковыми являются области Апшеронского и Бакинского архипелагов, а также Западный борт Южно-Каспийской впадины.

Основным источником поверхностного загрязнения открытых участков моря в центральной его части и в области Апшеронского и Бакинского архипелагов является поступление нефти при добыче и разведочном бурении, подводном ремонте скважин, при аварийных разрывах нефтепроводов и зачистке выкидных линий, и т.д.

На северо-западном борту Южно-Каспийской впадины. Сконцентрировано наибольшее количество подводных вулканов (более 300), притом крупных. Большинство грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины находится в грифонной стадии развития, выделяя илистую грязь, воду, газ и нефть. Активизация подводных вулканов и грифонов в местах разгрузки углеводородов приводит к появлению на воде грязевых и нефтяных пятен.

В Каспийском море несанкционированные сбросы нефтепродуктов с судов не являются основным источником пленочных загрязнений морской поверхности, однако, к сожалению, их объемы с каждым годом увеличиваются.

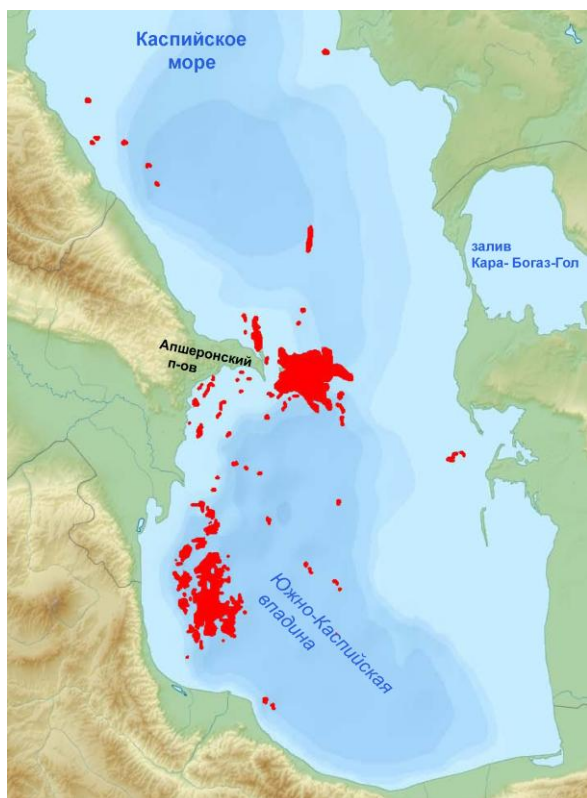


Рис. 4. Сводная карта нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации за 2009 - 2011 гг.

Заключение

Основной целью спутникового сервиса STS является обеспечение исследователей возможностями доступа и инструментами анализа информации, полученной на основе данных дистанционных наблюдений, для изучения различных процессов происходящих на поверхности океана. При этом исследователи, в идеале, должны получить возможность комплексного описания различных явлений и процессов, оценку их количественных и качественных характеристик, а также инструменты анализа для изучения условий возникновения и развития этих явлений, исследования пространственных и временных характеристик распределений различных явлений, наблюдаемых в Мировом океане. Планируется, что спутниковый сервис STS в перспективе должен стать доступным различным исследователям и специалистам, занимающимся изучением океанических процессов. Ознакомиться с текущими возможностями сервиса STS и узнать об его использовании можно по адресу <http://ocean.smislab.ru/>.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект 11-07-12025-офи-м-2011. Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов C1P.6342 и Bear 2775.

Список литературы

1. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии //Новые идеи в океанологии. М.: Наука. Т 1. Физика. Химия. Биология. 2005. С. 55-117.
 2. *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. 472 с.
 3. *Лузян Е.А., Матвеев А.А., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Спутниковый сервис See the Sea - инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 251-261.
 4. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 81-88.
 5. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С.* Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.26-43.
 6. *Ефремов В.Ю., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Выпуск 1. Т.1. С. 437-443.
 7. *Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Оптимизированная система хранения и представления географически привязанных спутниковых данных //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. 1. С. 125-132.
 8. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных информационных систем сбора обработки и хранения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач. //Аэрозоли Сибири. /Под ред. К.П. Куценого. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2006. С. 458-470.
 9. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лузян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS). //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 3. С. 93-108.
- Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Многолетний комплексный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012.Т 9. № 5. С. 269-288.