

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-108-124>

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ  
И ЯВЛЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ НА ОСНОВЕ  
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАЗИСИНХРОННЫХ  
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ\***

**О.Ю. Лаврова, Е.В. Краюшкин, К.Р. Назирова, А.Я. Строчков**

Институт космических исследований РАН, Москва

В связи с наличием на орбите Земли большого количества приборов спутникового базирования, предоставляющих информацию о состоянии морской среды с высоким пространственным разрешением, и с небольшим временным интервалом, появилась возможность получать не только пространственные характеристики, но и некоторые динамические характеристики, такие как скорость и направление распространения некоторых гидродинамических процессов, в частности мезо- и субмезомасштабных вихрей и диполей, внутренних волн и фронтов распределенных вод.

В статье приводятся примеры комплексного использования спутниковых данных, полученных с небольшими по времени интервалами, для восстановления параметров распространения нефтяного загрязнения, скопления водорослей, вихревых структур и внутренних волн.

***Ключевые слова:** дистанционное зондирование из космоса, радиолокационные изображения, спутниковые данные видимого диапазона, нефтяные загрязнения, вихревые структуры, внутренние волны, скопления водорослей, Черное море, Балтийское море, Лионский залив.*

**Введение**

Исследование процессов и явлений в морях и океанах в последние десятилетия невозможно себе представить без использования спутниковых данных. Дистанционное зондирование водной поверхности из космоса предоставило океанологам, географам и экологам мощнейший инструмент, позволяющий изучать огромные просторы

---

\* Работа проводится при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».

океана во всем его многообразии, не снаряжая дорогостоящие экспедиции, не проводя измерений с научных судов, которые, при всех их неоспоримых достоинствах, предоставляют локальную информацию, зачастую не дающую представление о пространственных масштабах океанических явлений. Совершенствование приборов, разработанных специально для исследования Земли из космоса, доступность большинства спутниковой информации, имеющей высокое пространственное разрешение, позволяет изучать самые разные процессы в океане и приземном слое атмосферы, выявлять антропогенные и биогенные загрязнения, а также оценивать экологическое состояние водной среды. Однако какое бы ни было единичное спутниковое изображение: радиолокационное, которое не зависит от погодных условий и степени освещенности, или полученное в видимом или инфракрасном диапазоне, по нему можно восстановить только пространственные характеристики процесса. Для получения динамических характеристик требуется серия спутниковых изображений, полученных с небольшим временным интервалом. Еще большую и подробную информацию можно получить, применяя так называемый комплексный многосенсорный подход, т.е. используя спутниковые данные, полученные квазисинхронно в различных диапазонах электромагнитного спектра [5, 6].

С 2014 г., когда Европейское космическое агентство начало свою программу запусков спутников «семейства» Sentinel, появилась возможность получать спутниковые данные над одним и тем же районом с высоким временным разрешением. В настоящее время на орбите находится 6 спутников «семейства» Sentinel, оснащенных следующими приборами: SAR-C Sentinel-1A, SAR-C Sentinel-1B, MSI Sentinel-2A, MSI Sentinel-2B, OLCI Sentinel-3A, OLCI Sentinel-3B. В совокупности с другими имеющимися приборами дистанционного зондирования Земли, предоставляющими информацию в свободном доступе, при благоприятном расположении орбит можно получить последовательность восьми изображений одного района, снятую различными спутниковыми сенсорами со следующими интервалами:

- SAR-C Sentinel-1 – OLI Landsat-8 – 4 ч 30 мин;
- OLI Landsat-8 – MSI Sentinel-2 – 15 мин;
- MSI Sentinel-2 – OLCI Sentinel-3A – 30 мин;
- OLCI Sentinel-3A – MODIS Terra – 15 мин;
- MODIS Terra – MODIS Aqua – 1 ч 50 мин;
- MODIS Aqua – SAR-C Sentinel-1 – 4 ч 20 мин;
- SAR-C Sentinel-1 – SAR-C Sentinel-1 – 12 ч.

Такая подборка спутниковых изображений позволяет восстанавливать не только пространственные, но и динамические характеристики различных процессов и явлений, в частности скорости и

направление их распространения. В данной статье приводятся примеры комплексного использования спутниковых данных, полученных с небольшими по времени интервалами для восстановления параметров распространения нефтяного загрязнения, скопления водорослей, вихревых структур и внутренних волн.

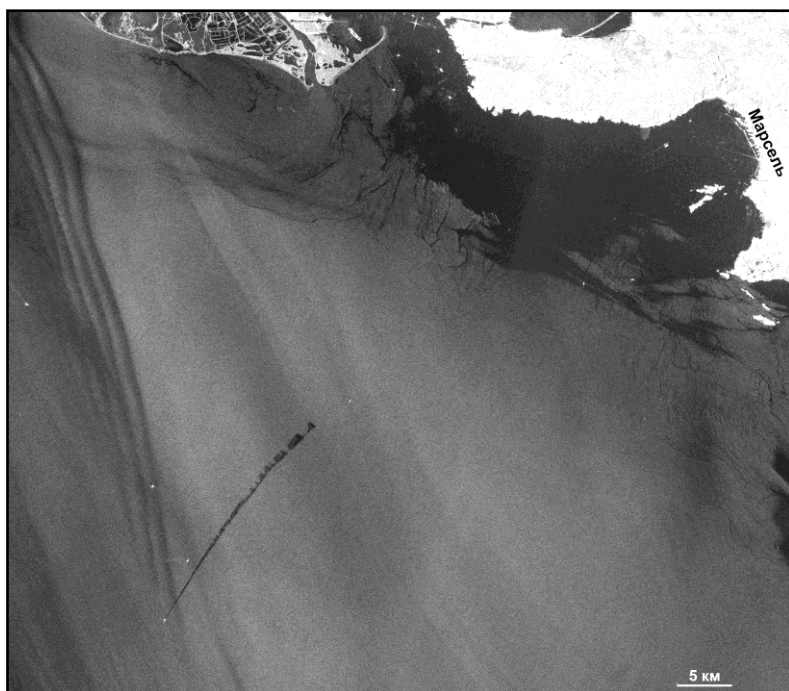
### **Восстановление параметров распространения нефтяного пятна по трем последовательным спутниковым изображениям**

Как показывает наш многолетний опыт проведения спутникового экологического мониторинга [5, 6, 16], подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности представляют собой сбросы и утечки с судов вод, содержащих нефтепродукты. Катастрофические разливы нефти, прежде всего, при авариях танкеров или на нефтедобывающих платформах, случаются достаточно редко. Гораздо чаще загрязнения моря происходят при рутинных операциях на судах при промывке танков, сливах или повреждении судового оборудования. Далее будем называть такие загрязнения «нефтяными» пятнами, хотя кроме сырой нефти они могут быть образованы и различными иными низкомолекулярными углеводородами. Основными задачами экологического спутникового мониторинга является обнаружение таких загрязнений и прогноз распространения «нефтяных» пятен. Выявление нефтяных загрязнений базируется в первую очередь на данных спутниковой радиолокации, где они проявляются в виде темных пятен пониженного рассеянного сигнала. Данной проблеме посвящено огромное количество публикаций, ссылки на часть из которых можно найти в монографиях [5, 6]. Гораздо более трудная задача – это составление прогноза распространения нефтяных загрязнений. Опираясь только на единичное спутниковое изображение, на котором выявлено «нефтяное пятно», сделать это можно очень приблизительно, даже имея достаточно точную гидро-метеорологическую информацию о поле ветра и волнении. Как правило такой прогноз делается на основе численных моделей, которые далеко не всегда доступны широкому кругу исследователей, к тому же современные модели практически никогда не учитывают локальные гидродинамические процессы, в частности мезо- и субмезомасштабные вихри, диполи и внутренние волны. А именно они могут играть существенную роль в переносе загрязнений [1, 14].

Наличие последовательных изображений, содержащих проявление одного и того же «нефтяного» пятна, позволяет проследить его трансформацию и распространение. В качестве примера рассмотрим трансформацию «нефтяного» пятна в Лионском заливе (северо-западная часть Средиземного моря) 19 июня 2017 г. [7].

На радиолокационном изображении (РЛИ) SAR-C Sentinel-1B, полученном в 05:43:30 UTC, был выявлен сброс с судна вод, содержащих нефтепродукты. Судно, виновное за несанкционированный сброс

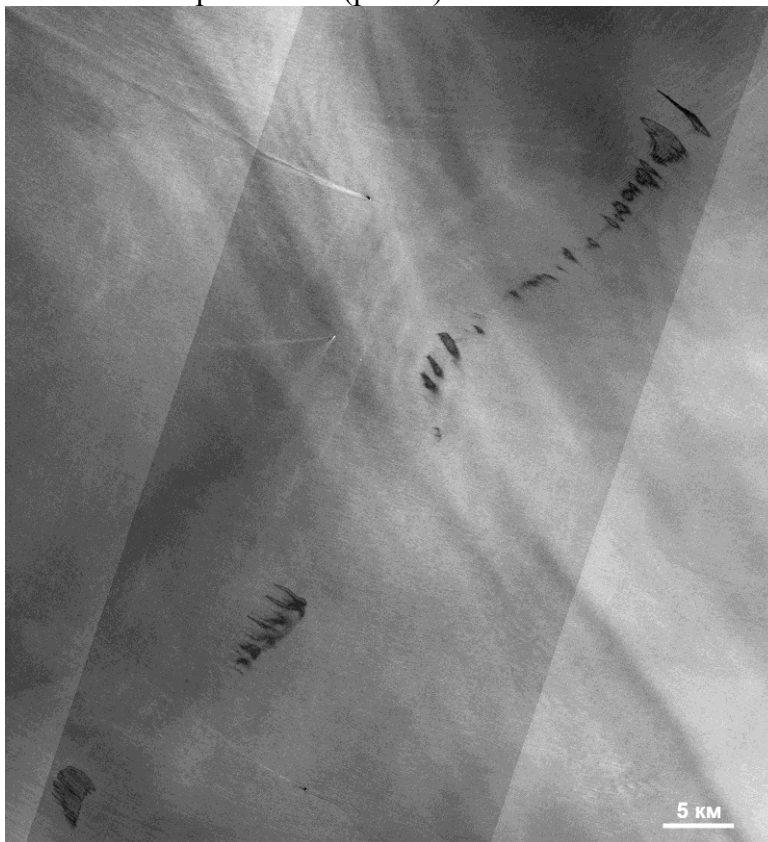
загрязненных вод, было определено с помощью системы Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com>). Нарушителем являлся нефтехимический танкер (oil/chemical tanker) CATHY THERESA, следующий под датским флагом из Марселя. Благодаря информации, полученной по нашему запросу от Marine Traffic, которая включала скорость судна, истинный курс (heading), путевой угол (course), размеры судна и координаты его положения на момент 05:43:52 UTC, т.е. через 22 секунд после начала радиолокационной съемки, удалось определить момент сброса, который начался примерно в 04:37 UTC, и рассчитать скорость растекания «нефтяного» пятна. Так, например, наиболее широкое пятно в начальной части сброса (его ширина по РЛИ определена в 682 м), растекалось со скоростью 19 см/с (рис. 1).



Р и с. 1. Проявление сброса загрязненных вод с судна в Лионском заливе на РЛИ SAR-C Sentinel-1B от 19 июня 2017 г. 05:43:30 UTC

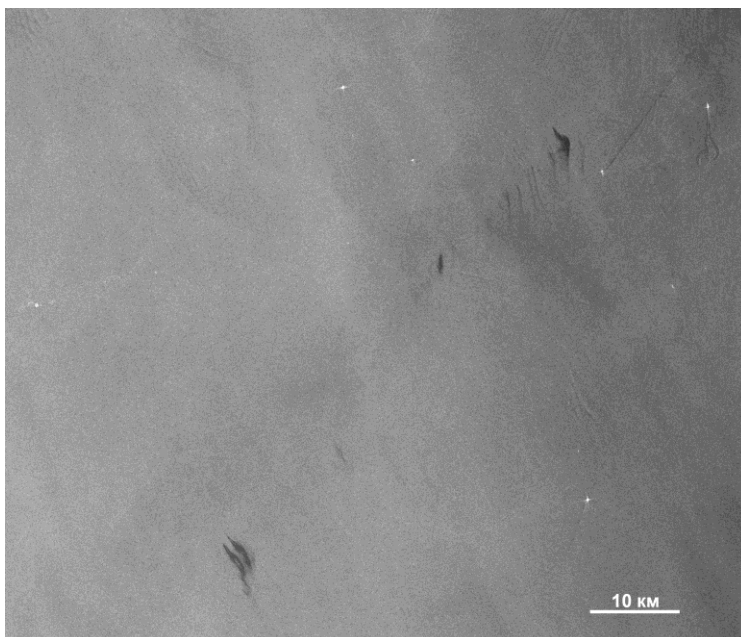
Практически через пять часов после утренней радиолокационной съемки, в 10:30:21 UTC данная акватория была заснята уже в видимом диапазоне с помощью MSI Sentinel-2A (рис. 2). Как видно на изображении MSI, сброс с судна осуществлялся в четыре этапа, три из которых были сделаны уже после радиолокационной съемки и на утреннее РЛИ не попали. Суммарная протяженность сброса составила примерно 35 км, что на 12 км больше, чем на утреннем РЛИ.

Через семь часов после съёмки MSI и соответственно, через 12 часов после утренней радиолокационной съёмки, в 17:38:35 UTC была проведена ещё одна радиолокационная съёмка данного района с помощью SAR-C Sentinel-1A. Выявленный ранее сброс был зафиксирован и на вечернем РЛИ (рис. 3).

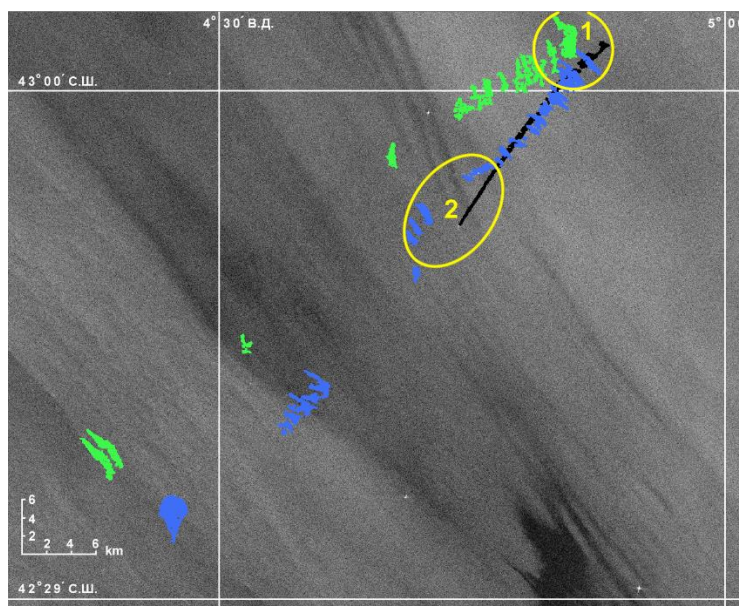


Р и с. 2. Проявление «нефтяных» пятен через 6 ч после первоначального сброса с судна загрязненных вод. Фрагмент MSI Sentinel 2A изображения, полученного 19 июня 2017 г. в 10:30:21 UTC; 2-й спектральный канал — 490 нм

Совместный анализ всех трех изображений проводился в разработанной в ИКИ РАН информационной системе See The Sea [9]. Полуавтоматическим способом (по текстурным характеристикам) на каждом изображении были выделены области поверхностных загрязнений, общая картина представлена на рис. 4. Чёрным цветом отмечен сброс, выявленный на утреннем РЛИ, синим — на MSI и зелёным — на вечернем РЛИ.



Р и с. 3. Проявление «нефтяных» пятен на РЛИ SAR-C Sentinel 1A, полученном 19 июня 2017 г. в 17:38:35 UTC через 13 ч после первоначального сброса



Р и с. 4. Сводная картина распространения загрязнения в Лионском заливе 19 июня 2017 г. Черным цветом отмечен сброс, выявленный на РЛИ, полученном в 05:43:30 UTC; синим - на MSI в 10:30:21 UTC; зеленым – на РЛИ в 17:38:35 UTC. Процессы, происходящие в области 1 и 2, описаны в тексте [7]

Анализ трех последовательных изображений позволил определить скорость растекания нефтяного загрязнения, которая в разных его областях оказалась разной. Если в области первоначального сброса (область 1 на рис. 4) за 13 ч (12 ч между съёмками и 1 ч с начала сброса до утренней съёмки) сместилось на северо-запад только на 3 км, его площадь увеличилась с 0,61 до 2,24 км<sup>2</sup>, а средняя скорость сноса составила 7 см/с, то для остальных областей загрязнений скорость распространения в северо-западном направлении составляла от 15 до 19 см/с. Следует отметить, что во всех областях, кроме области 1, загрязнение дрейфовало по ветру, который в течение дня стихал с 8,16 до 5,7 м/с и менял свое направление с юго-западного на практически южное. Как следует из анализа трех спутниковых изображений, наибольший снос пятна произошел в области 2 (рис. 4), где наблюдалось локальное усиление ветра.

В области 1 влияние ветра практически никак не сказалось (рис. 4). Объяснений отсутствия влияния ветра на дрейф пятна может быть несколько: наличие вдольберегового противотечения, внутренних волн, проявление которых отчетливо видны на спутниковых изображениях, и потенциальное влияние которых вполне возможно [13]; или же сброс в области 1 мог быть наиболее обильным, с большим содержанием нефтепродуктов, образовавшаяся здесь плёнка была менее подвержена влиянию ветра, который, к тому же, ближе к берегу мог быть слабее.

Данный результат не мог быть предсказан ни одной численной моделью, а может быть получен только по последовательным спутниковым данным с небольшой (для данной задачи) разницей по времени, когда нефтяное загрязнение еще оставалось на поверхности моря.

### **Выявление скоплений водорослей**

Как было отмечено в предыдущем разделе, спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений базируется в первую очередь на данных радиолокации. Однако задача распознавания нефтяных пятен на РЛИ существенно усложняется тем, что эти пятна бывает нелегко отличить от других проявлений, которые принято называть «подобиями» пятен [12]. Среди РЛ-подобий нефтяных пятен можно назвать органические пленки, некоторые типы льда («сало»), области затененные сушей (ветровая тень), области локального ослабления приповерхностного ветра, гидрологические фронты, поверхностные проявления океанических внутренних гравитационных волн, дождевые ячейки, зоны апвеллинга [5].

Главная трудность заключается в различении пятен загрязнений нефтепродуктами и пленок биогенных поверхностно активных веществ на морской поверхности. Органические пленки естественного происхождения повсеместно встречаются на обширных площадях

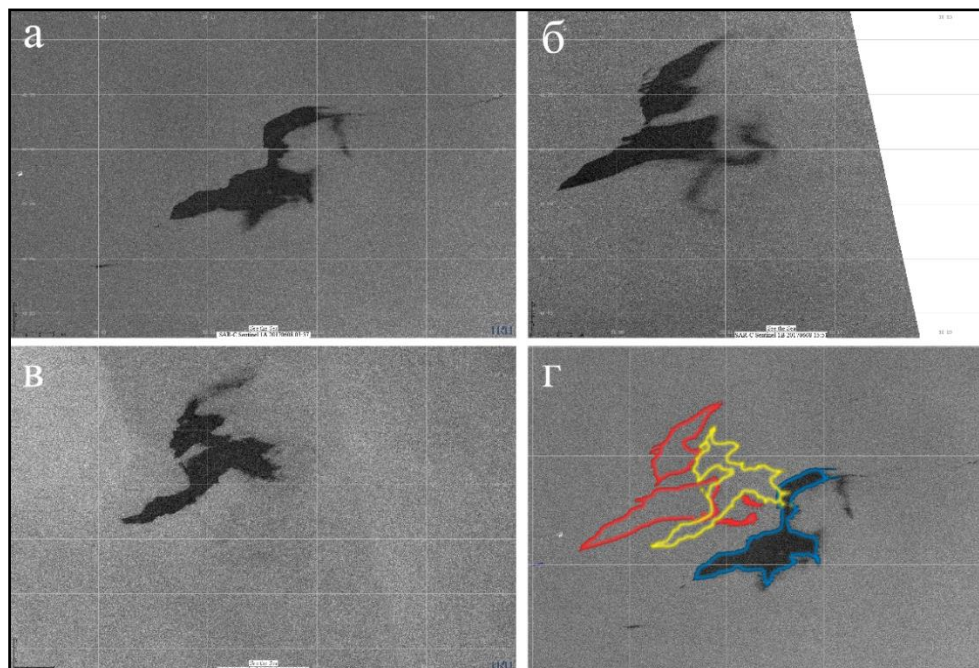
морской поверхности, преимущественно в теплое время года и в областях повышенной биологической активности, особенно в прибрежной зоне. В период интенсивного цветения водорослей на поверхности воды образуются не только биогенные пленки, но и целые так называемые «маты» - скопления водорослей, которые гасят гравитационно-капиллярные волны. На РЛИ эти «маты» проявляются в виде темных областей с пониженной интенсивностью радиолокационного сигнала, т.е. имеют те же радиолокационные образы, что и «нефтяные» пятна [8]. В разрешении проблемы различения нефтяных пятен и водорослевых «матов» может помочь привлечение спутниковых данных оптического диапазона и построенных на их основе карт концентрации хлорофилла-а. К сожалению, из-за наличия облачности, такие данные могут быть неинформативны. Серия последовательных РЛИ, полученных над одним и тем же районом позволяет решить эту задачу.

Рассмотрим следующий пример. На изображении SAR-C Sentinel-1A, полученном 8 июня 2017 г. в 03:57:38 UTC в южной части Черного моря в 85 км от побережья Турции было выявлено темное пятно, площадь которого составляла 44 км<sup>2</sup> (рис. 5а). Учитывая, что это пятно расположено в районе судоходных трасс, можно было предположить, что это сброс вод, содержащих нефтепродукты, с неподвижного судна. При сбросе с судна в движении пятно нефтепродуктов, в отсутствие сильного ветра и волнения, проявляется на РЛИ, как мы видели в предыдущем разделе, в виде узкой полосы понижения сигнала, повторяющей маршрут движения корабля [16]. На РЛИ, полученном SAR-C Sentinel-1B в 15:51:21 UTC (рис. 5б), т.е. через 12 часов, то же самое пятно несколько трансформировалось, увеличилось в размере, но распространилось северо-восток незначительно. Еще через 24 часа, 9 июня 2017 г. в 15:43:43 UTC, т.е. через 36 часов после первой радиолокационной съемки, было получено третье РЛИ SAR-C Sentinel-1A, содержащее проявление того же самого пятна (рис. 5в).

За 36 часов наблюдений пятно оставалось практически на одном месте (рис. 5г), несколько изменяя свою форму под действием сначала западного ветра (8 июня), а потом усилившегося до 10-15 м/с юго-восточного ветра (9 июня). Совместный анализ трех последовательных РЛИ убедительно доказывает, что данное темное пятно не может быть проявлением «нефтяного» пятна. Нефтяные загрязнения, находясь в воде, достаточно быстро подвергаются испарению, эмульгированию и диспергированию [11]. За 36 часов интенсивность модуляции обратно рассеянного сигнала практически не изменилась, что для нефтяных пленок не может быть ни при каких условиях, а тем более при резком усилении ветра. Такая ситуация гипотетически была бы возможна, если бы происходило постоянное поступление нефти, как это наблюдалось после аварии в Мексиканском заливе в 2010 г. [14]. Катастрофического



разлива нефти 8–9 июня 2017 г. у берегов Турции не произошло, данный район не содержит подводных метановых сипов и тем более подводных грифонов [15]. Единственно разумное объяснение данного явления – это проявление скоплений водорослей. К сожалению, облачная погода не позволила подкрепить предлагаемую гипотезу спутниковыми оптическими данными.



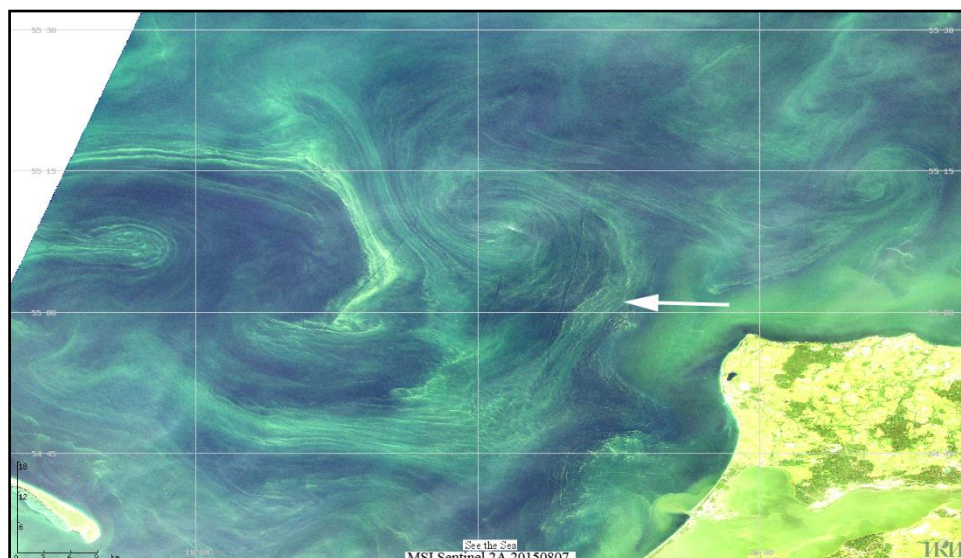
Р и с. 5. Проявление скоплений водорослей в южной части Черного моря на РЛИ: а) SAR-C Sentinel-1A от 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; б) SAR-C Sentinel-1B от 8 июня 2017 г., 15:51:21 UTC; в) SAR-C Sentinel-1A от 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC; г) сводная картина по трем РЛИ: синий контур – 8 июня 2017 г., 03:57:38 UTC; красный – 8 июня 2017 г., 15:51:21; желтый – 9 июня 2017 г. 15:43:43 UTC

### **Восстановление динамических и пространственных характеристик вихревых структур по серии спутниковых изображений**

Вихри, вихревые диполи и мультипольные вихревые структуры являются одними из наиболее важных гидродинамических процессов, отвечающих за эффективное перемешивание вод, особенно в прибрежной зоне. На РЛИ они визуализируются либо посредством пассивных трассеров, либо за счет контрастов в конвергентно-дивергентных зонах [5]. Пассивными трассерами в основном служат

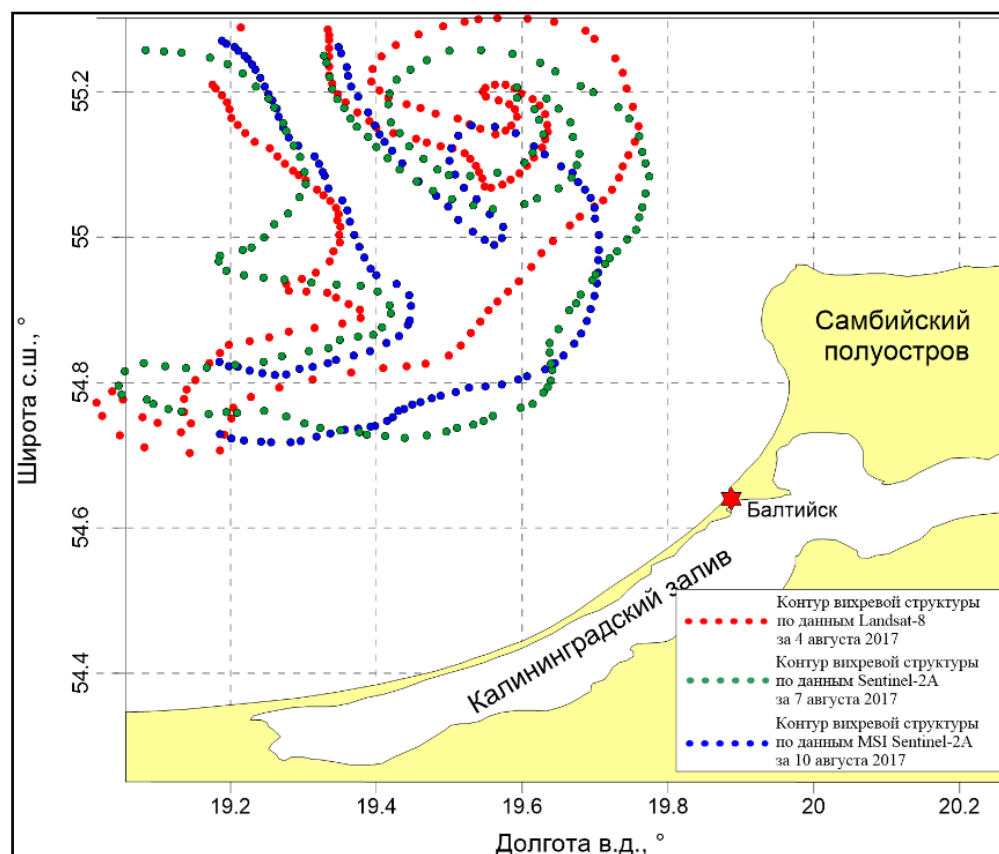
пленки поверхностно-активных веществ, количество которых резко возрастает во время интенсивного цветения водорослей. На спутниковых изображениях видимого диапазона рассеяние солнечного излучения формируется на гидрозоле (фитопланктоне и взвешенном минеральном веществе). Гидрозоли можно также рассматривать как пассивные трассеры поверхностных течений, и формируемые ими фронтальные зоны, как правило, соответствуют линиям тока, визуализируя в частности вихревые структуры на изображениях видимого диапазона. Особенно ярко проявление вихревых структур наблюдается в данных видимого диапазона, полученных в летнее время над акваторией Балтийского моря, когда происходит интенсивное цветение цианобактерий [3]. В продолжительный период безоблачной погоды на последовательности спутниковых изображений, полученных с высоким пространственным разрешением, можно пронаблюдать формирование, трансформацию и деградацию вихревых структур.

В начале августа 2015 г. под влиянием антициклонической завихренности ветрового поля северо-западнее м. Таран Самбийского полуострова (юго-восточная часть Балтийского моря) сформировались вихревые структуры разных масштабов, распространяющиеся в прибрежную акваторию из открытого моря. На изображениях видимого диапазона в поле цветности отчетливо проявились эти вихревые структуры. Основываясь на серии спутниковых данных, которая состояла из изображений высокого пространственного разрешения (10-30 м) ETM+ Landsat-7 за 3 августа, OLI Landsat-8 за 4 августа, MSI Sentinel-2A за 07 и 10 августа, OLI Landsat-8 за 11 августа, MSI Sentinel-2A за 17 августа, OLI Landsat-8 и MSI Sentinel-2A за 20 августа; а также данных среднего разрешения (250 м) MODIS Aqua за 11, 13, 14 и 15 августа 2015 г. удалось оценить пространственно-временную изменчивость рассматриваемых вихревых структур. Основное внимание уделялось крупному вихревому диполю, диаметр циклонической части которого составлял 20 км (на рис. 6 отмечен стрелкой). Для него определялись скорость и направление его перемещения. Время «жизни» этого диполя составило 8 дней.



Р и с. 6. Проявление вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря на цветосинтезированном изображении MSI Sentinel-2A от 7 августа 2017 г. Стрелка указывает на вихревой диполь, для которого оценивалась скорость распространения

По результатам последовательного картирования контура вихревого диполя (рис. 7) было определено, что средняя скорость распространения подобной структуры составила всего 3,3 см/с. Направление распространения за рассматриваемый период – юго-юго-западное, т. е. осуществлялось медленное вращение в антициклоническом направлении. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что вихревые структуры, образуемые в открытом море предположительно под действием крупномасштабных атмосферных процессов, могут существовать длительное время. Они оказывают существенное влияние на динамику вод в регионе и на распространение пассивных объектов на поверхности моря, в том числе и на распространение загрязнений [2].



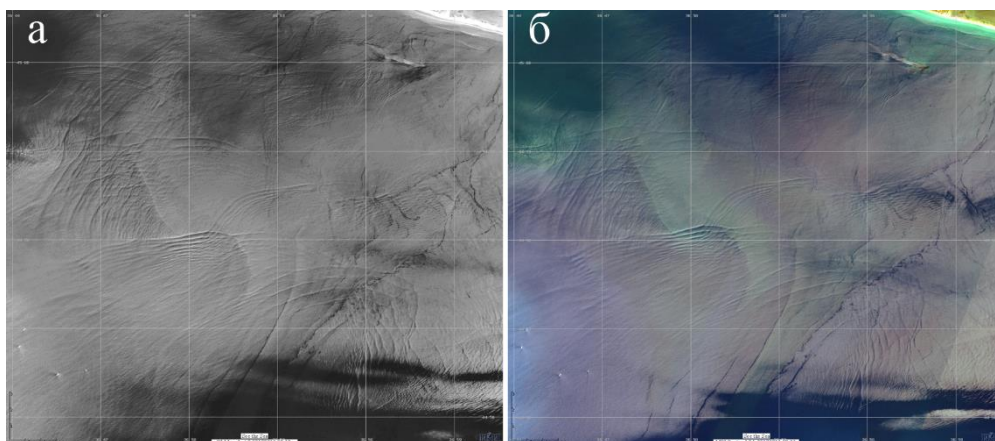
Р и с. 7. Сводная картина трансформации вихревого диполя по трем изображениям видимого диапазона

### Определение скорости распространения внутренних волн по серии последовательных спутниковых изображений

Внутренние волны, как и вихревые структуры, являются неотъемлемой частью динамики всех стратифицированных водоемов. Они играют огромную роль в вертикальном перемешивании вод и формировании термохалинной циркуляции. Использование спутниковых данных позволило существенно продвинуться в изучении внутренних волн. На основе спутниковых данных выявляются основные районы их генераций, оцениваются пространственные характеристики, такие как длина фронта ведущей волны, ширина цуга внутренних волн, число волн в цуге, максимальная длина волн и направление их распространения. Определение параметров внутренних волн базировалось в первую очередь на данных спутниковой радиолокации. На РЛИ внутренние волны проявляются в виде квазипериодических темных и светлых полос – полос выглаженной (слики) и шероховатой (сулои) морской поверхности. В последнее время к исследованию поверхностных

проявлений внутренних волн стали привлекаться спутниковые данные видимого диапазона высокого пространственного разрешения [4].

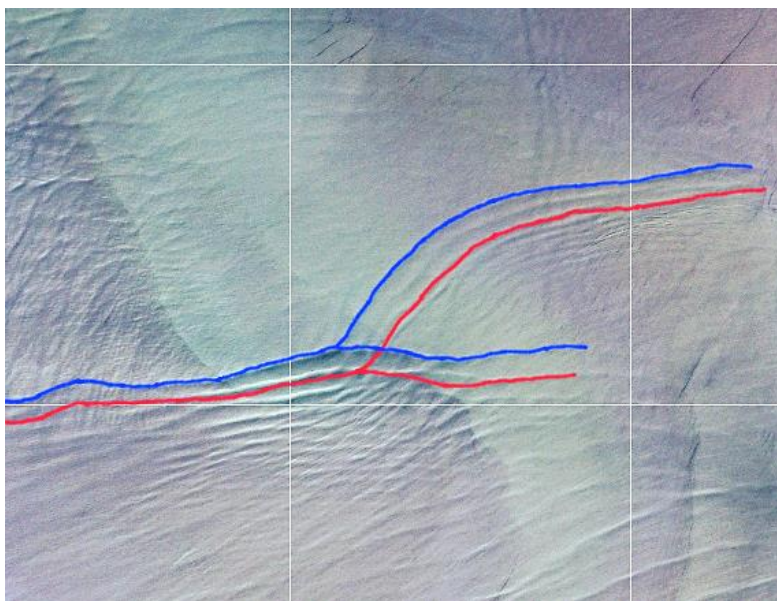
Одна из важнейших задач, которую практически невозможно было решить по единичному спутниковому изображению – это определение скорости распространения цуга внутренних волн. Это удавалось сделать только тогда, когда на изображении присутствовало два или очень редко три цуга, и для которых с большой вероятностью можно было доказать, что это проявление одного и того же процесса. Наличие двух или нескольких последовательных изображений, содержащих поверхностные проявления одних и тех же цугов, позволяет с большой точностью определить скорость распространения внутренних волн. Так, например, на изображениях, полученных 13 июля 2017 г. над северо-восточной акваторией Черного моря с разницей в 17 мин была проведена съёмка одного и того же района приборами OLI/TIRS, установленными на ИСЗ Landsat-8, и прибором MSI, размещённым на ИСЗ Sentinel-2A, в 08:19:41 и 08:36:34 UTC соответственно отчетливо проявляются многочисленные цуги внутренних волн. Фрагменты этих изображений представлены на рис. 8.



Р и с. 8. Проявления цугов внутренних волн в северо-восточной части Черного моря на изображениях видимого диапазона, полученных 13 июля 2017 г. с разницей 17 мин: а) OLI Landsat-8 (8-й панхроматический канал), время съёмки 08:19:41 UTC; б) MSI Sentinel-2A (RGB – 4-й, 3-й, 2-й каналы), время съёмки 08:36:34 UTC

На основе совместного анализа данных за 13 июля, проведенного с помощью информационной системы See The Sea, по местоположению передних фронтов двух пересекающихся цугов на двух изображениях (рис. 9), были оценены скорости их распространения. Для разных цугов они составили от 0,35 до 0,42 м/с.





Р и с. 9. Сдвиг передних фронтов двух цугов внутренних волн за 17 мин. Фрагмент изображения MSI Sentinel-2A от 13 июля 2017 г., представленного на рис. 8б. Красным отмечено положение фронтов, определённое по изображению OLI Landsat-8 (рис. 8а), синим – положение тех же фронтов через 17 мин, определённое по изображению MSI Sentinel-2A (рис. 8б) [4]

### **Заключение**

Рассмотренные в статье примеры показывают, что комплексное использование спутниковых данных, полученных с высоким пространственным разрешением и с небольшим интервалом по времени, позволяет более детально изучать океанические/морские процессы и явления. В частности, стало возможным с большой точностью определить скорость распространения «нефтяных» загрязнений, выявить природу загрязнений и сделать предположения о процессах, влияющих на их распространение; пронаблюдать формирование и развитие вихревых структур, определить их «срок жизни» и оценить скорость распространения их отдельных частей; определить скорость распространения передних фронтов пакетов внутренних волн.

*Анализ спутниковых данных осуществлялся с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» [10], в частности с помощью информационной системы See The Sea, развиваемой и поддерживаемой в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Разработка методики получения динамических и пространственных характеристик субмезомасштабных процессов в прибрежной зоне на основе*

*комплексного использования спутниковых данных различных носителей проводилась в рамках и при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».*

### **Список литературы**

1. Гинзбург А.И., Крек Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря и вихревых диполей/мультиполей на его основе в Юго-Восточной Балтике (спутниковая информация: май–июль 2015 г.) // *Океанологические исследования* 2017. Т. 45. № 1. С. 10–22.
2. Голенко М.Н., Краюшкин Е.В., Лаврова О.Ю. Исследование особенностей прибрежных поверхностных течений в Юго-Восточной Балтике по результатам подспутниковых дрейфтерных экспериментов и численного моделирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 7. С. 280–296.
3. Каримова С.С., Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М. Наблюдения вихревых структур Балтийского моря с помощью радиолокационных и радиометрических спутниковых данных // *Исследование Земли из космоса*. 2011. № 5. С. 15–23.
4. Лаврова О.Ю. Проявление внутренних волн на спутниковых изображениях северо-восточной части Черного моря в июле 2017 г. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 1. С. 309–315.
5. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. Москва: ИКИ РАН, 2011. 470 с.
6. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. Москва: ИКИ РАН, 2016. 335 с.
7. Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Строчков А.Я. Современные возможности проведения комплексного анализа распространения нефтяного загрязнения морской поверхности на примере судового сброса в Лионском заливе // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 4. С. 193–203.
8. Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Строчков А.Я., Шендрик В.Д. Спутниковый мониторинг интенсивного цветения водорослей в Рыбинском водохранилище // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11. № 3. С. 54–72.

9. Лупян 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.
10. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С. А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
11. Brekke C., Solberg A. Oil spill detection by satellite remote sensing // *Rem. Sens. Environ.* 2005. No 95. P. 1–13.
12. Espedal H.A., Johannessen O.M. Detection of oil spills near offshore installations using synthetic aperture radar (SAR) // *Int. J. Rem. Sens.* 2000. V. 21. № 11. P. 2141–2144.
13. Jones C.E., Holt B. Experimental L-Band Airborne SAR for Oil Spill Response at Sea and in Coastal Waters // *Sensors*. 2018. 18(2). 641.
14. Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G. Catastrophic Oil Spill in the Gulf of Mexico in April–May 2010 // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. Vol. 47 No. 9. P. 1114–1118.
15. Lavrova O.Y., Mityagina, M.I. Satellite monitoring of oil slicks on the Black Sea surface // *Izvestiya - Atmospheric and Ocean Physics*. Vol. 49. Issue 9. P. 897–912.
16. Mityagina M., Lavrova O. Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas // *Remote Sensing*. 2016. 8(10). 875.

**THE POSSIBILITY OF RECEIVING DYNAMIC AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF PROCESSES AND PHENOMENA IN A COASTAL ZONE BASED ON INTEGRATED USE OF QUASI-SYNCHRONOUS SATELLITE DATA**

**O.Yu. Lavrova, E.V. Krayushkin, K.R. Nazirova, A.Ya. Strochkov**

Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Due to the presence of a large number of satellite-based sensors in the Earth's orbit that provide information on the state of the marine environment with a high spatial resolution and with a small time interval, it became possible to obtain not only spatial characteristics but also certain dynamic characteristics such as the speed and direction of propagation of some hydrodynamic processes, in particular meso- and sub-mesoscale vortices and dipoles, internal waves and freshened water fronts.



The paper presents the results of the integrated use of satellite data obtained at short intervals to restore the parameters of the spread of oil pollution, accumulation of algae, vortex structures and internal waves.

**Keywords:** *remote sensing from Space, radar images, satellite visual data, oil pollutions, vortex structures, internal waves, algae bloom, the Black Sea, the Baltic Sea, the Gulf of Lion*

*Об авторах:*

ЛАВРОВА Ольга Юрьевна – к.ф-м.н., доцент, в.н.с., зав. лабораторией ИКИ РАН, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru

КРАЮШКИН Евгений Владимирович – м.н.с. ИКИ РАН, e-mail: box\_evk@mail.ru

НАЗИРОВА Ксения Равильевна – ведущий инженер ИКИ РАН, e-mail: knazirova@gmail.com

СТРОЧКОВ Алексей Яковлевич – к.б.н., н.с. ИКИ РАН, e-mail: astroch@mail.ru