

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ MODIS ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗВЕСИ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

**Е.С. Гурова**

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Атлантическое отделение (АО ИОРАН), Калининград, Россия*

*Институт аэрогеодезии (AGI), Каунас, Литва*

[jessica\\_geo@mail.ru](mailto:jessica_geo@mail.ru)

Статья посвящена описанию особенностей использования данных спутникового сканера цвета MODIS для проведения исследований распределения взвешенных и растворенных веществ различного происхождения и их динамики в прибрежных водах юго-восточной Балтики. Рассматривается доступ к данным из разных официальных источников, специфика обработки снимков, оценка качества данных и их применимости для решения поставленных задач, с примером использования методик для оценки распределения и динамики поля взвеси у абразионных песчаных берегов Самбийского полуострова Калининградской области.

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF MODIS SATELLITE IMAGES FOR ASSESSMENT OF SUSPENDED MATTER DISTRIBUTION IN COASTAL WATERS OF SOUTH-EASTERN BALTIC

**E. S. Gurova**

The current study summarizes various methodological aspects of the use of satellite data from MODIS color scanner for the analysis of distribution of suspended and dissolved matter originating from different sources and its dynamics in coastal waters of south-eastern Baltic. Various official sources of MODIS data are compared in terms of its specific parameters, as well as and processing methods, overall data quality and validity of different products for coastal studies. Sample of data and methods application for assessment of distribution and dynamics of suspended matter along the abrasive sandy coasts of Sambian peninsula of Kaliningrad region are presented and discussed.

### **1. Введение**

Спутниковые методы в последние десятилетия надежно заняли свое место в океанологических исследованиях. Сочетание высокой информативности данных, глобального покрытия и оперативного доступа позволяют использовать их в биологических, гидрофизических, геологических, атмосферных, климатических, экологических и других изысканиях, они уже стали стандартом для различных видов мониторинга.

Спутниковые снимки цвета моря позволяют качественно и количественно оценивать содержание в водной толще взвешенных и растворенных веществ различного происхождения, отслеживать их источники и динамику. Это имеет больше практическое значение для исследований в прибрежной зоне моря, в частности при создании искусственных земельных участков на акватории водных объектов.

Данная статья посвящена описанию особенностей использования данных спутникового сканера цвета MODIS для проведения таких исследований в при-

брежных водах юго-восточной Балтики, доступа к данным из разных официальных источников, специфики их обработки, оценку качества данных и их применимости для решения поставленных задач, с примером использования методик для оценки распределения и динамики поля взвеси у абразионных песчаных берегов Самбийского полуострова Калининградской области.

## 2. Характеристика района исследований

Балтийское море является водоемом, практически изолированным от океана, при этом имеет весьма значительный сток с суши, в том числе таких крупных равнинных рек, как Висла, Неман, Даугава, а также других меньшего размера. Реки приносят ежегодно огромные количества взвешенного и растворенного вещества, что значительным образом влияет на оптические свойства вод, взаимосвязь между оптически-значимыми компонентами водной среды, изменяет показатели ослабления света в разных частях спектра по сравнению с океаном (рис. 1). Это позволяет отнести воды Балтийского моря к типу вод 2 [10]. Видно, что “окно прозрачности” у них смещено к 550 нм из-за очень сильного поглощения ОРОВ в коротковолновой части спектра [12,7,2].

В летний период в Балтике наблюдается очень сильное “цветение” вод, когда фитопланктон в самом верхнем слое моря становится практически единственным фактором, влияющим на цвет воды, часто он является хорошим трассером для идентификации направления течений, однако исключает возможность исследования терригенной взвеси в водной толще, где наиболее ценными являются зимние снимки. Однако облачный покров практически лишает возможности их использования, являясь серьезной проблемой для спутниковых оптических исследований в регионе.

В прибрежных водах юго-восточной Балтики, обрамленной песчаными берегами, наблюдается повышенная мутность вод из-за увеличенного содержания взвеси (рис. 6) [3]. Источниками ее является абразия берегов, подводного берегового склона и речной сток. Плюмы крупных рек (Висла, Неман) могут простираться на расстояние до 70 и более километров от устьев, особенно в весенний период (рис. 2); сток р. Преголи невелик, однако также хорошо идентифицируется по спутниковым снимкам (рис. 6).

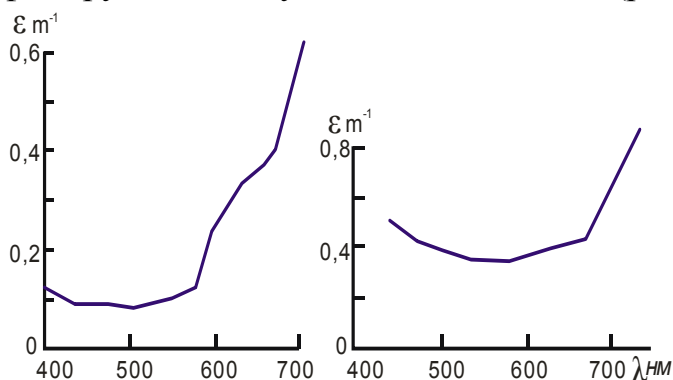


Рис. 1. Ослабление света в прозрачной океанской воде (материковый склон) (слева) и в Балтийском море (справа) [7]

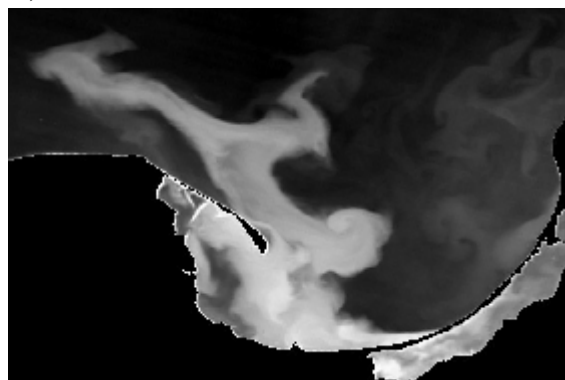


Рис. 2. Плюм р. Висла в период весеннего половодья. MODIS Terra, 1 апреля 2005 года, RGB-143, 250 м/пиксел

Картина распределения взвешенного и растворенного вещества и ее динамика в значительной мере зависит от направления и скорости ветра, и позволяет оценить характер циркуляции водных масс, время “жизни” явлений (например, вихрей, вдольбереговых течений, потоков выноса взвеси, плюмов крупных рек), скорость их перемещения/распространения, размеры и др. Извилистость береговой линии региона обуславливает сложность и неоднородность картины прибрежных течений, и в данном контексте особенный интерес представляют исследования явлений небольшого масштаба - размером до 30-50 км. Интересен в этом отношении район Самбийского полуострова, с бухтовой конфигурацией в целом абразионного берега, где расположены главные курорты региона (рис. 6).

### 3. Сканеры цвета моря

Большое количество спутниковых систем, используемых в океанологии, по принципу их действия можно разделить на активные сканирующие системы – радары, и пассивные - оптические сканеры цвета. Среди последних можно выделить те, которые были специально разработаны для океанологических исследований - спутниковые сканеры цвета моря, первым из которых был американский Coastal Zone Color Scanner (CZCS), запущенный NASA в 1978 году.

В настоящее время сканерами цвета моря, наиболее широко используемыми в науке во всем мире, являются 2 американских, принадлежащих NASA, сканера MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectrometer (на спутниках Terra и Aqua, запущенных соответственно в 1999 и 2002 гг.), и 1 коммерческий (американской компании GeoEye) SeaWIFS - Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (на спутнике SeaStar, запущенном в 1997 г.). В таблице 1. приведены для сравнения некоторые характеристики сенсоров SeaWIFS и MODIS.

Таблица 1

Сравнение сканеров цвета SeaWIFS и MODIS

Название	Год запуска	Кол-во спектр. каналов	Пространств. разрешение	Доступ к данным
SeaWIFS	1997	8	1,1 км	Свободный для данных старше 5 лет
MODIS (Terra)	1999	36	0,25-1 км	Свободный
MODIS (Aqua)	2002	36	0,25-1 км	Свободный

Сенсоры MODIS имеют 36 спектральных каналов, разработанных для всесторонних исследований суши, океана и атмосферы. Расположение их на 2 разных спутниках позволяет получать несколько снимков ежедневно, наличие каналов с разрешением 250-500 м позволяет, хоть и с некоторыми ограничениями, успешно использовать их для исследований прибрежных вод (каналы 1,4,3), получая информацию с большей детальностью чем “морские” (8-16) каналы с разрешением 1 км. Все это будет показано далее. Более того, данные MODIS - архивные и новые (практически в оперативном режиме) - доступны бесплатно

через специализированные интернет-системы NASA [16,18], также как и программное обеспечение для их обработки и визуализации.

#### **4. Источники и типы данных**

Снимки MODIS бесплатно доступны через 2 интернет-системы от NASA – Ocean Colour Web (OC) [18] и LAADS [17]. Имеется еще несколько систем обобщенного поиска снимков с разных спутников, информацию о них можно получить в сети Интернет. Кратко остановимся на указанных двух, поскольку распространяемые ими данные во многом различны.

*Ocean Colour Web* – специализированный научный информационный ресурс по спутниковым данным цвета океана. Здесь доступны для скачивания данные разных уровней обработки (от L0 до L3, зависит от спутника) со всех спутниковых сканеров цвета моря: CZCS, OCTS (архивные), MODIS Terra и Aqua (архивные и новые), SeaWiFS (старше 5 лет, нужно регистрироваться). Описание файлов разного уровня обработки приведено на соответствующей веб-странице [20]. Кроме того, на сайте представлена всесторонняя информационно-сервисная поддержка пользователей по структуре, видам, форматам данных, научным основам, алгоритмам и программам обработки снимков.

*LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System)* – система распространения данных о суше и атмосфере. Доступны данные MODIS Terra и Aqua, уровней обработки от L0 до L3 [16]. Располагает по мнению автора более удобным интерфейсом для массового поиска снимков, и схемой организации скачивания больших объемов данных, чем Ocean Colour Web.

Данные уровня L0 являются “сырой” информацией, полученной со спутника для конкретной сцены (5-минутные «гранулы»). Файлы идентичны по структуре и содержанию, но имеют разные названия (\*.PDS у LAADS и \*.HDF у OC).

Данные уровня L1A и L1B от OC и LAADS имеют *принципиальное различие*: в файлы от OC включены только 8-16 каналы, используемые для получения информации о водных объектах, тогда как данные LAADS включают все 36 каналов. Это увеличивает размер файла, однако оставляет возможность использования каналов с разрешением 250 м (1-2) и 500 м (3-7), что может быть актуально для региональных исследований небольшого масштаба.

Физические/тематические продукты уровней L2 и L3 соответственно будут по морю у OC [20] и по атмосфере и суше у LAADS [16]. Поэтому для морских исследований в системе LAADS практический интерес представляют продукты уровней L1A и L1B.

#### **5. Особенности обработки снимков**

Стандартные продукты L2 от OC включают ряд физических величин (температура поверхности моря, нормализованная яркость для разных каналов, содержание хлорофилла и другие), посчитанных для вод типа 1. Для Балтики эти данные обычно имеют большие ошибки, обусловленные во-первых погрешностями атмосферной коррекции, сильно занижая значения нормализованной яркости ( $nLw$ ) вплоть до отрицательных, особенно в коротковолновой части спектра [14,8]. Второй источник ошибок – несоответствие алгоритмов расчета производных величин (содержание хлорофилла, коэффициенты цветности и

др.), разработанных для вод типа 1, реальным гидрооптическим условиям в Балтийском море, усугубляемые описанными выше неверными значениям входных параметров ( $nLw$ ) [15,8]. Этой проблемы лишены значения температуры поверхности моря, не зависящие от цвета воды и описанных ошибок.

Для решения этих проблем существуют и постоянно разрабатываются альтернативные алгоритмы атмосферной коррекции (особенно для прибрежных вод) и различные региональные алгоритмы расчета производных физических величин, калиброванные судовыми экспедиционными измерениями. Для юго-восточной Балтики, по оценкам польских исследователей, наиболее всего подходит алгоритм атмосферной коррекции MUMM, предложенный Ruddick и др. [14,15], который показывает хорошие результаты, однако и он не решает проблему всегда и полностью. На рис. 3 приведено сравнение значений  $nLw$ , посчитанных для одного и того же снимка с использованием алгоритмов MUMM и стандартного, применяемого при расчета L2 продуктов на ОС [10].

Разработка польскими учеными нескольких региональных алгоритмов для южной Балтики описана в [15,8], все они точнее предлагаемых стандартных ОС продуктов, но тоже имеют значительные погрешности.

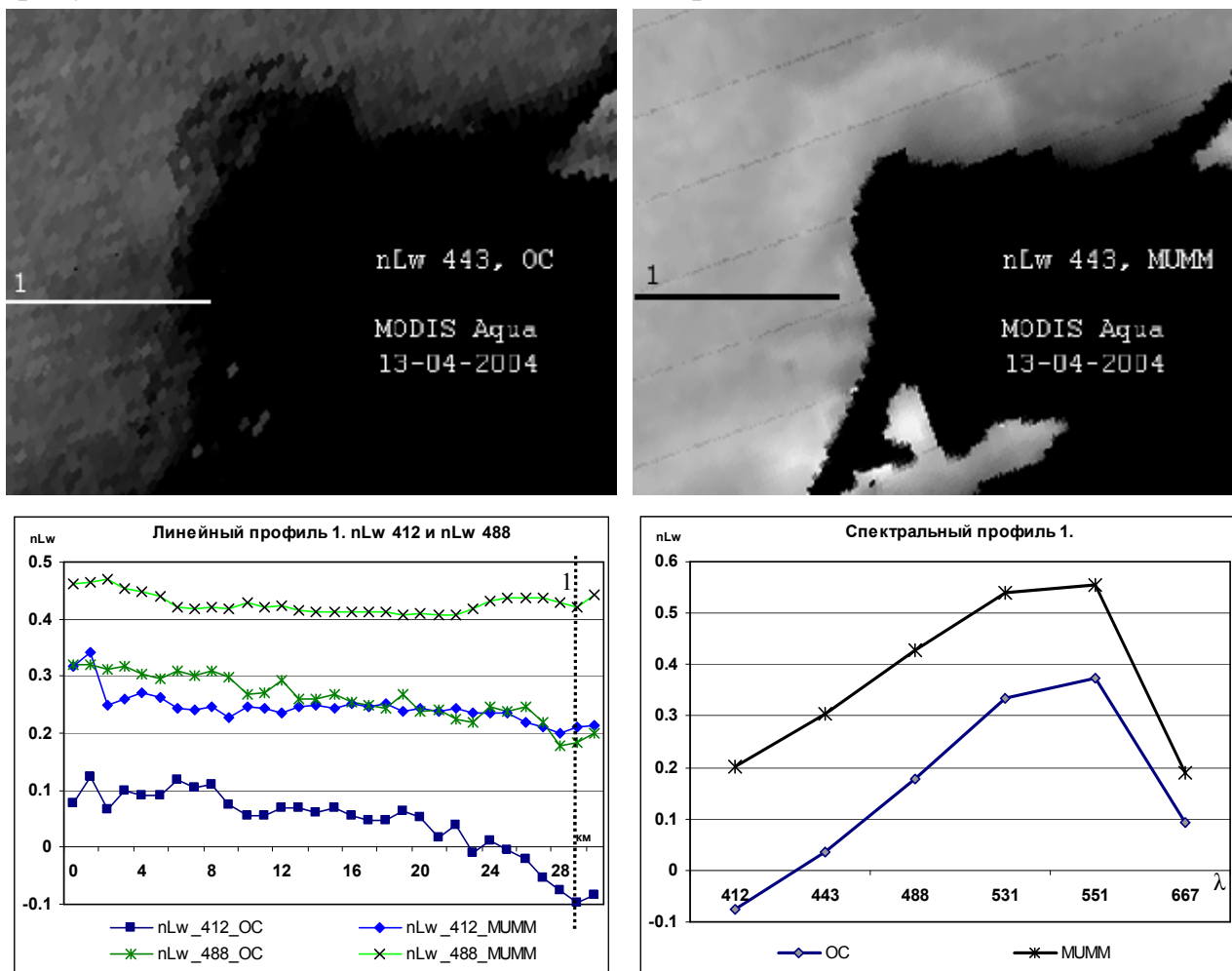


Рис. 3. Сравнение значений  $nLw$ , посчитанных для одного и того же снимка с использованием алгоритмов MUMM [14] и стандартного ОС [10]

Для анализа распределения и динамики терригенной взвеси и ОРОВ, а также циркуляции течений, если не стоит задача получения количественных па-

раметров содержания веществ в водной толще, можно использовать значения нормализованной яркости в разных спектральных каналах. Нормализованной яркостью  $nLw$  водной поверхности называют величину, рассчитываемую по восходящему солнечному излучению на орбите сканера цвета океана, и приведенную к стандартным условиям наблюдений (атмосфера отсутствует, сканер визирует водную поверхность в надир, когда Солнце находится в зените) [9]. Метод подробно описан в [13,5,6], показывает интересные результаты, использует весь видимый спектральный диапазон, и предоставляет больше вариаций при детальном исследовании. Кроме того, он исключает ошибки биооптических алгоритмов, и зависит только от атмосферной коррекции.

Таким образом, возможны 2 пути получения данных уровня L2 – то есть готовых для анализа файлов, прошедших обработку по атмосферной коррекции и расчету физических параметров. Первый – скачать готовые L2 файлы с сайта ОС [19], содержащие существенные ошибки, а также весьма ограниченный набор продуктов (тематических слоев).

Второй способ – рассчитать их самостоятельно из файлов L0 или L1A или L1B с помощью специализированного программного обеспечения Seadas [21]. Данный подход имеет ряд преимуществ: возможность использования каналов и получение готовых тематических слоев с разрешением 250 и 500 м, не только 1000 м, применение альтернативных алгоритмов и настройки параметров атмосферной коррекции, выбор большего количества необходимых продуктов L2 из предложенного списка, состоящего из десятков наименований, работа с данными только интересующего географического региона. Программа Seadas была разработана специально для обработки спутниковых снимков сканеров цвета моря для расчета физических величин. Программа бесплатная, имеет хорошую инструкцию по применению (на английском языке), систему поддержки и консультации пользователей разработчиками в виде форума, содержит те же программы и алгоритмы, которые используются для расчета стандартных продуктов, но кроме этого и множество других функций, позволяющих значительно адаптировать результат для круга решаемых задач и региональных особенностей. Программа работает под ОС Linux и MAC, позволяет проводить пакетную обработку через IDL и Unix скрипты, что значительно упрощает работу с большим количеством данных. Графический интерфейс также имеется.

Применительно к задачам обработки снимков MODIS для прибрежных вод юго-восточной *Балтики* хотелось бы отметить несколько *особенностей*.

- Алгоритм атмосферной коррекции MUMM [14] официально включен в программу начиная с версии 5.3. Он значительно повышает качество выходных данных в случае вод Балтийского моря, частично или полностью решая проблему заниженных/отрицательных значений нормализованной яркости ( $nLw$ ) (рис. 3).

- Использование MUMM алгоритма при атмосферной коррекции позволяет производить расчет всех L2 продуктов с разрешением 1000, 500 или 250 метров на пиксел, а также рассчитывать  $nLw$  469, 555, 645, т.е. “земных” каналов, имеющих исходное разрешение 250/ 500 м. На рис. 4 показано сравнение

детальности изображения на близких по спектру каналах с исходным 250/500 м и 1000 м пространственным разрешением.

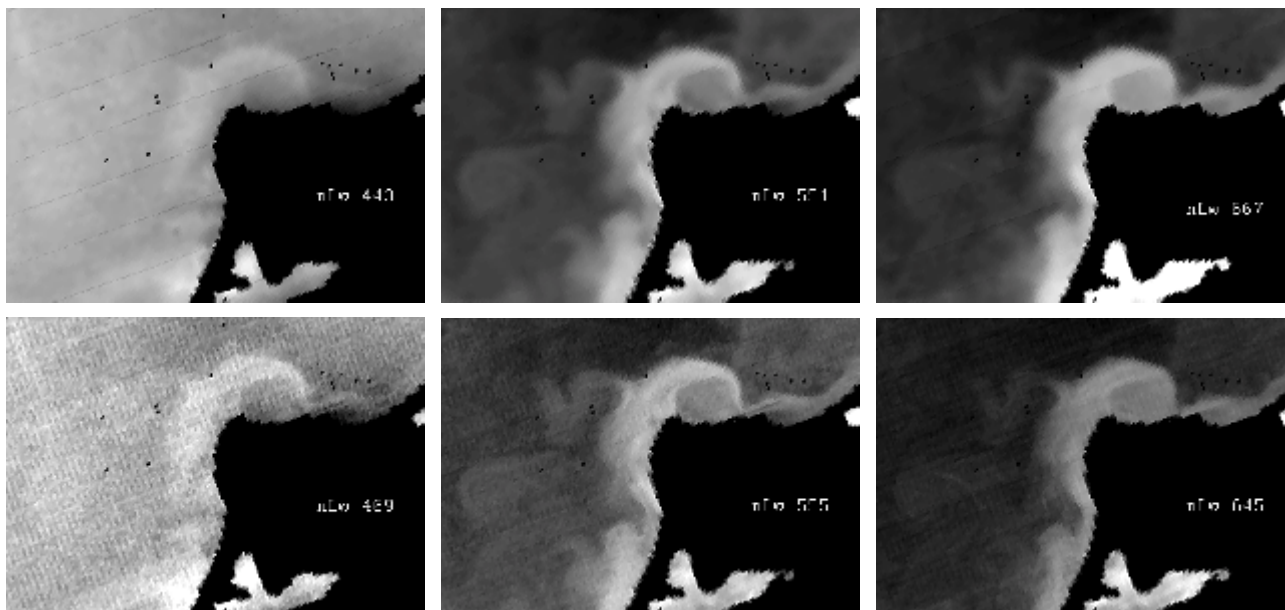


Рис. 4. Сравнение детальности изображения на близких по спектру каналах с исходным пространственным разрешением 1000 м (сверху) и 250/500 м (снизу)

Расчет L2 продуктов производится из файлов L1B, которые могут быть получены готовыми с LAADS, либо рассчитаны в программе Seadas из файлов L0 (процедура простая и относительно быстрая). В том и другом случае сохраняются 250/500-метровые каналы (в Seadas – опция). Те и другие файлы идентичны по своей структуре и подходят для дальнейшей обработке в Seadas. Главным их отличием является тот факт, что алгоритм программы Seadas при обработке с уровня L1A до L1B производит специальную коррекцию для частичного выравнивания артефактов сканирования сенсора (сдвигов изображения по полосам), тогда как у файлов LAADS такая коррекция не выполняется. В результате на тематических L2 слоях мы видим заметную разницу, не в пользу LAADS (рис. 5). В случае Балтики это особенно сильно заметно на слоях nLw коротковолновой части спектра. Кроме того, заметна небольшая разница в значениях между полученными физическими значениями, что еще раз указывает на разницу в применяемых алгоритмах.

Для географического проецирования и визуализации файлов L2 можно использовать программу Seadas, а также многие распространенные средства для обработки спутниковых снимков (ENVI / IDL, Erdas Imagine, Matlab).

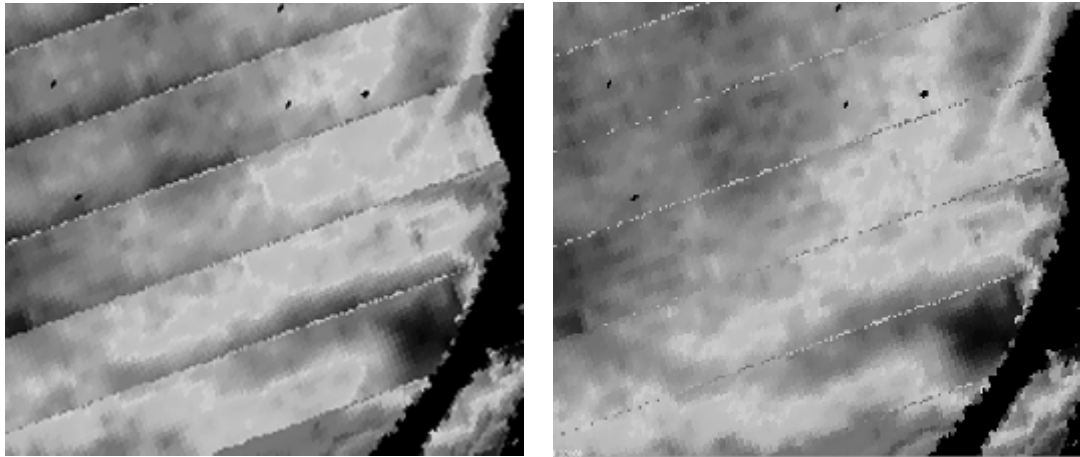


Рис. 5 Сравнение карт распределения  $nLw_{443}$ , посчитанных в Seadas из LAADS L1B (слева) и OC L0 (справа) данных MODIS.

Стоит также отметить высокую эффективность использования RGB (каналы 1-4-3, разрешение 250 м/пиксел) изображений (рис. 6) для предварительного просмотра и оценки качества “чистоты” снимка (от облачности) перед его обработкой до физических L2 продуктов, а также для детального визуального анализа и проведения линейно-площадных измерений в ГИС системах. Такие композитные RGB изображения можно получить в разных программах, поддерживающих чтение и визуализацию файлов уровня L1B формата HDF-EOS, содержащих все каналы с оригинальным разрешением. При пакетной обработке это занимает немного времени при качественном результате. Программных продуктов, корректно работающих с такими данными немного. Среди хорошо зарекомендовавших себя в практике автора отметим Seadas (функция генерации превью), Msphinx/HDFLook (создание RGB изображения), а также MRT-SWATH (рис. 6а), которая осуществляет экспорт отдельных каналов в стандартный формат GeoTif с заданным разрешением и географической проекцией, которые потом можно “склеить” в RGB и настроить яркость изображения во многих других графических или ГИС программах [23].

## 6. Исследование распределения взвеси

В качестве примера применения описанного выше материала было проведено исследование распределения и динамики терригенной взвеси в районе Самбийского полуострова Калининградской области, особенно его северного побережья. Данный район расположен далеко от устьев рек, которые имеют значительный сток в море и *вливают на ярков выраженные особенности цвета моря вблизи берега*. Вынос вод из расположенного по близости Балтийского пролива хорошо трассируется, и в рассмотренных ситуациях не достигал северного побережья Самбии. (рис. 6, 7, 8) Поэтому единственным источником взвешенного вещества в рассматриваемом районе является обломочный материал прибрежной зоны моря, поступающий в результате размыва берегов и подводного берегового склона, вклад которых неодинаков на разных участках берега [1, 4].



Структура прибрежных течений в данном районе отличается изменчивостью и неоднородностью [1,4], и при определяется в районе Самбийского полуострова главным образом извилистой конфигурацией береговой линии. В таких условиях исследование распределения взвеси в зависимости от метеорологических условий - задача широкая и комплексная, и в полном объеме выходит за рамки данной статьи. Поэтому мы ограничились рассмотрением конкретного наблюдаемого явления – ситуациями выноса взвеси из береговой зоны на запад в виде четко идентифицируемых полос (рис. 6).

Для работы были отобраны 10 снимков, наиболее четко иллюстрирующие это явление. Стоит отметить, в столь ярко выраженном виде на спутниковых снимках оно наблюдается нечасто. Выборка производилась из архива за 2002-2007 гг. Для анализа использовались RGB-143 композиты, значения  $nLw$  для каналов 469,555,645 (500м), 412,443,488,531,551,667 (1000 м), посчитанные из файлов уровня L0 с применением алгоритма атмосферной коррекции MUMM, снимки температуры поверхности моря в качестве дополнительного источника информации о динамике водных масс, а также данные о ветровой обстановке за 2-3-дневный период (4-срочные наблюдения), предшествующий наблюдениям, и информацию о глубинах и рельефе дна. В программном пакете ENVI файлы L2 переводились в проекцию UTM, затем по ним строились линейные профили для спектрально-количественной оценки наблюдаемых явлений. Местоположение профилей показано на рис. 6, графики разрезов по спектральным каналам – на рис. 7 и 8. Отметим, что положение линии профиля от снимка к снимку незначительно изменялось, чтобы максимально отобразить интенсивность наблюдаемых оптических неоднородностей в каждом конкретном случае.



Рис. 6 Снимок MODIS Terra, 15 марта 2002 года: слева (а) – композитное изображение RGB-143, 250 м/пиксел, справа (б) –  $nLw$  551, 1000 м/пиксел. Линиями 1 и 3 показано расположение профилей (для разных снимков оно незначительно изменялось)

Для всех случаев наблюдения была отмечена резкая смена направления ветра за 2 дня до наблюдения с западных румбов на северный, затем на северо-

восточный и/или восточный, и затем с преобладанием СВ составляющей до момента наблюдения, то есть как минимум в течение 1,5 суток. Скорость ветра главным образом колебалась в пределах 4-7 м/с, максимальная за все рассматриваемые периоды составила 9 м/с. Учитывались данные по метеостанциям Хель, Балтийск, Пионерск, Клайпеда, а также с расположенной в 20 км от берегов Куршской косы морской нефтяной платформы Д-6.

По данным натурных измерений поверхностных и придонных течений в береговой зоне Самбийского полуострова [1], их направление и скорость определяются интенсивностью и углом подхода ветра к берегу. Преобладающими в данном районе являются ветры западных румбов, формирующие обычно вдольбереговые течения восточного направления. С переходом воздушного потока к ЗСЗ, а затем к С румбам начинает происходить глобальная перестройка циркуляции, с формированием локальных встречных потоков в пределах Самбийско-Куршской дуги. С переходом ветра в СВ сектор на всем рассматриваемом побережье течения организуются в единый вдольбереговой поток западной ориентации [1].

По изображениям на рис. 6 и 7 видно, что устойчивый продолжительный СВ ветер по-видимому сформировал вдольбереговое течение западного направления, которое вызвало мощный вынос взвеси из береговой зоны Самбийского полуострова в море. Особенно это заметно в районе мысов Гвардейского и Таран, откуда наблюдаются яркие полосы, направленные от берега на запад, либо на юго-запад (от мыса Таран, огибая его). Длина этих следов, зачастую узко локализованных в полосы, достигает от м. Таран 15-20 км, от м. Гвардейский – 7-15 км. На рис. 6(а) хорошо видно неоднородную структуру поля взвеси, в виде многочисленных полос разной интенсивности окраски, в том числе в районе пос. Янтарный и в корневой части Куршской косы, тогда как на рис. 6(б) детали пропадают, и в районе г. Зеленоградск можно лишь идентифицировать небольшую зону повышенной мутности возле берега. Четко идентифицируемое, но более рассеянное поле взвеси в некоторых распространялось до 25 километров от берега, одинаково к северу и западу от Самбийского полуострова. Это хорошо видно по графикам на рис. 7 и 8.

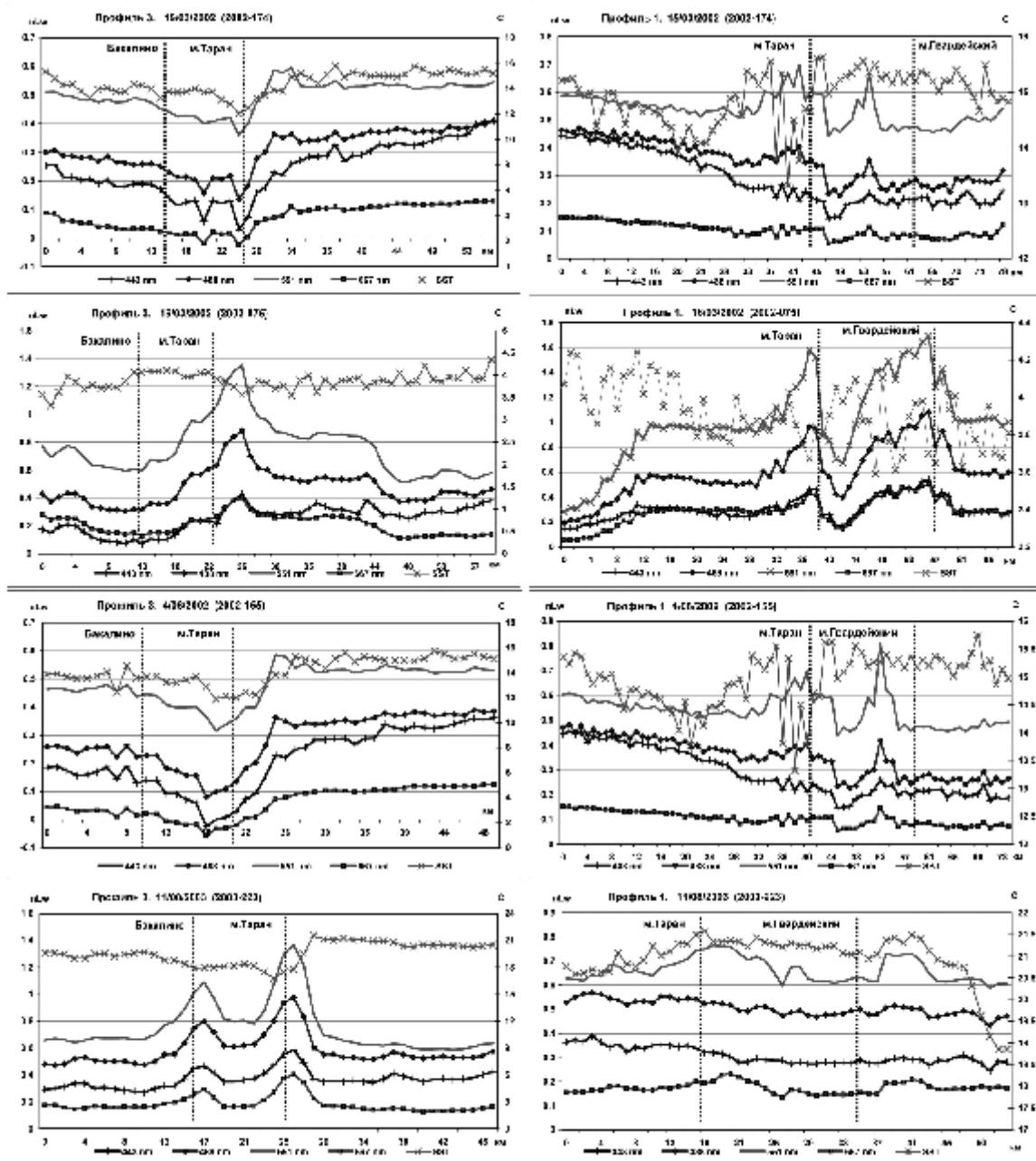


Рис. 7. Значения нормализованной яркости (nLw) каналов 443, 488, 551, 667 и температуры поверхности моря по профилям 1 и 3 (рис. 6). Точечными линиями указаны нормали к берегу (З-В для профиля 3 и С-Ю для профиля 1) в районах г. Балтийск, Бакалинского выступа берега, м. Таран, м. Гвардейский

Экспедиционные наблюдения также показали в районе м. Таран – пос. Янтарный повышенную концентрацию взвеси (3-5 и более  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) по отношению к другим участкам Калининградского побережья и открытого моря (1-3  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) [3]. Кроме того, отметим, что речь ведется о распространении взвеси мелких фракций неволнового поля, которые способны взвешиваться при незначительных скоростях течений [1,3,4 и др.], сформированные в наших случаях при ветрах не более (в некоторых случаях менее) 5-7 м/с и выноситься в море.

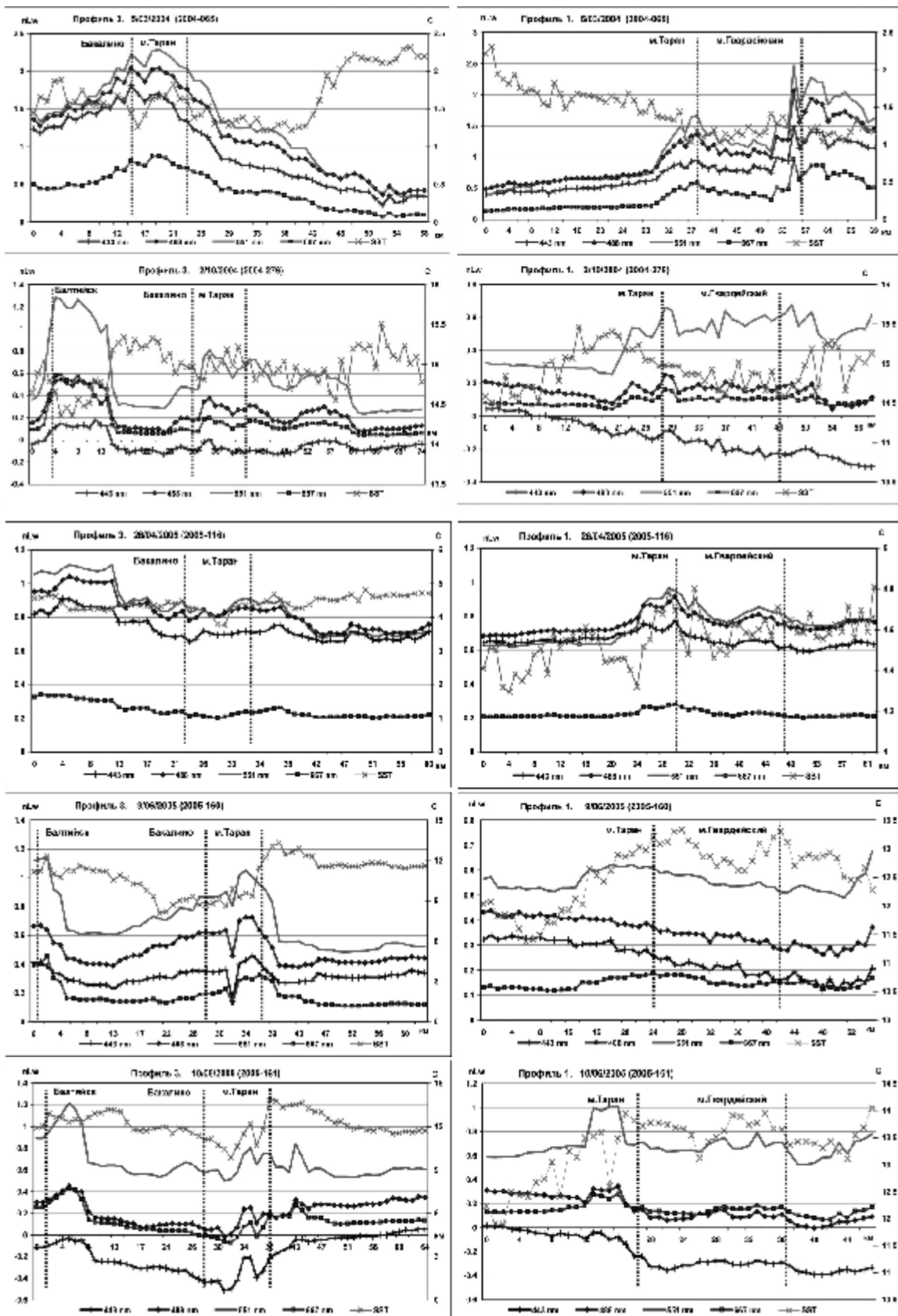


Рис. 8. Значения нормализованной яркости (nLw) каналов 443, 488, 551, 667 и температуры поверхности моря по профилям 1 и 3 (продолжение)

В большинстве случаев четко локализуются максимумы в районе мысов, более или менее выраженные во всем диапазоне видимого спектра (рис. 7,8), что свидетельствует о наличии взвеси во всей зондируемой толще, начиная с поверхности. Однако в некоторых случаях форма кривой 667 нм показывает уменьшение значений или ровный ход в местах, где в других частях спектра интенсивность сигнала увеличивается, что свидетельствует о некотором заглублении поля взвеси относительно поверхности. Главным образом, это отмечено не в местах пиков у мысов, а мористее них. Это вероятно говорит о более широком и равномерном распространении взвеси в сторону моря в подповерхностном, слое, однако точную глубину распространения и мощность этого слоя определить исключительно дистанционными методами затруднительно.

Согласно натурным оптическим измерениям в Балтике, глубина формирования 90% восходящего из водной толщи излучения достигает обычно не более 8-10 метров для 551 нм, уменьшаясь к более коротким и длинным волнам оптического спектра [2]. В условиях повышенной мутности вод береговой зоны Самбийского полуострова эти глубины видимо будут меньше.

Профиль 3 в некоторых случаях затрагивает участки выноса вод из Балтийского пролива, имеющие четкий максимум во всем диапазоне спектра, с особенно ярким пиком на 551 нм, а также почти во всех случаях показывает температурную аномалию – понижение или повышение значений (в зависимости от сезона года) относительно окружающих вод.

## **7. Заключение**

Информативность, доступность, оперативность поступления нового материала делают спутниковые снимки MODIS эффективным инструментом для прибрежно-морских исследований. Учитывая особенности обработки данных, можно значительно повысить качество готового продукта – как для визуальной интерпретации, так и для количественного анализа. Использование каналов с разрешением 250 и 500 м – поканально, в виде рассчитанных нормализованных яркостей, а также композитных изображений RGB-143 предоставляет хорошую возможность их использования для исследования прибрежных явлений в масштабе от одного до нескольких десятков километров.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бабаков А.Н. Пространственно-временная структура течений и миграций наносов в береговой зоне юго-восточной Балтики (Самбийский полуостров и Куршская коса) – Калининград, 2003 - 272 с.
2. Возняк Б. Поступление фотосинтетически активной радиации в эвфотическую зону Балтийского моря в весенний период 1984 года // Экосистемы Балтики в мае-июне 1984 года. М.: ИО АН, 1987 - с. 80-100
3. Емельянов Е.М. Количественное распределение морской взвеси у побережья Самбийского полуострова - Куршской косы (Балтийское море). // Океанологические исследования. №18, 1968 г. – с. 203-212
4. Жиндарев Л.А., Хабидов А.Ш., Тризно А.К. Динамика песчаных берегов морей и внутренних водоемов // Под ред. д.г.н. Каплина. Новосибирск: Наука, 1998. - 271 с.

5. Карабашев Г.С., Евдошенко М.А., Шеберстов С.В. Анализ проявлений мезомасштабного водообмена на спутниковых снимках морской поверхности // *Океанология*, том 45, №2, 2005. – с. 195-205
6. Карабашев Г.С., Евдошенко М.А., Шеберстов С.В. Корреляция распределений нормализованных спектральных яркостей как показатель особенностей водообмена в Черном море // *Океанология*, том 47, №3, 2007. – с. 1-9
7. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1983 – 280 с.
8. Darecki M., Stramski D. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea, *Remote Sensing of Environment*, 89, 2004 - pp. 326–350
9. Gordon H.R., Brown O.B., Evans R.H. et al. A Semianalytic Radiance Model of Ocean Color // *J. Geoph. Res.* 1988. V. 93 (D9) - P. 10909-10924
10. Gordon H.R., Wang M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. // *Appl. Opt.* 33, 1994. – pp. 443–452
11. IOCCG. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, IOCCG, Dartmouth, Canada, 2000
12. Jerlov, N.G. *Marine Optics*. Amsterdam: Elsevier, 1976 - 231 p
13. Karabashev G.S., Evdoshenko M.A., Sheberstov S.V. Normalized radiance spectrum as water exchange event diagnostic. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, Nos. 9-10, 2006 – pp. 1775-1792
14. Ruddick K.G., Ovidio F., Rijkeboer M. Atmospheric correction of SeaWiFS imagery for turbid coastal and inland waters, *Appl. Opt.* 39(6), 2000 – pp. 897-912
15. Woźniak B., Krężel A., Darecki M., Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł, Ficek D., Olszewski J., Dera J.. Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 1: Mathematical apparatus . *OCEANOLOGIA*, 50 (4), 2008 – pp. 451 – 508
16. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/filespecs.html>
17. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/index.html>
18. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
19. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl?sen=am>
20. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/ocformats.html#1>
21. <http://seadas.gsfc.nasa.gov/seadas/>
22. [http://www.wastac.wa.gov.au/modis\\_workshop\\_2002/](http://www.wastac.wa.gov.au/modis_workshop_2002/)
23. <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tool>