# Организация работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для исследования процессов в Мировом океане

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

Институт космических исследований РАН Москва 117997, Россия E-mail: evgeny@iki.rssi.ru

В работе обсуждаются вопросы, связанные с возможностью использования данных гиперспектральных (ГС) спутниковых наблюдений для исследования различных процессов, происходящих на водной поверхности. В работе кратко анализируются возможности различных действующих ГС систем, в том числе обсуждаются вопросы доступности получаемых ими данных для проведения научных исследований. Основное внимание в работе уделено вопросам создания в рамках информационной системы Sea The See (STS) блока работы с ГС данными. Система STS создана для обеспечения доступа к спутниковым данным специалистов, ведущих изучение различных процессов, происходящих на поверхности мирового океана. Система позволяет не только осуществлять поиск и выбор необходимых для проведения исследований наборов данных, но предоставляет ученым различные инструменты для анализа этих данных. Система STS рассчитана на возможность удаленной совместной работы с информацией распределенным коллективам исследователей, выполняющих различные научные проекты. Основные возможности созданного на базе системы STS блока работы с ГС данными демонстрируются на примере проведения сравнения возможностей использования данных прибора Нурегіоп и данных мультиспектрометра OLI-TIRS, установленного на спутнике Landsat 8 для оценки состояния водной поверхности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, гиперспектральные спутниковые данные, геопорталы, дистанционный мониторинг морской поверхности.

#### Введение

В настоящее время для изучения различных процессов, происходящих в морской среде, используется достаточно широкий набор приборов дистанционного наблюдения, позволяющих получать информацию в различных диапазонах электромагнитного спектра. Сегодня для решения этих задач имеется возможность использовать данные, получаемые с использованием как активных, так и пассивных систем наблюдения. Отметим, что в последние годы постоянно увеличиваются точность, пространственная и спектральная разрешающая способность результатов наблюдений, что позволяет постоянно совершенствовать методы и технологии дистанционного определения различных характеристик морской среды.

Одно из наиболее перспективных направлений развития таких методов ориентировано сегодня на использование информации гиперспектрометров (Козодеров и др., 2012). Такие приборы позволяют получать данные уже не в нескольких десятках различных спектральных каналах, как это обычно происходит в традиционных многоспектральных системах наблюдения, а в нескольких сотнях каналов. Фактически гиперспектрометры обеспечивают получение данных в каждой наблюдаемой ими точке непрерывных спектров в определенном диапазоне длин волн. Использование ГС данных позволяет детально исследовать спектральные свойства различных объектов и определять достаточно тонкие характеристики отражения этих объек-

тов. Безусловно, определение различных детальных характеристик морской поверхности представляет значительный интерес для исследования и понимания происходящих на них процессов. В тоже время не следует забывать, что высокая вариабельность условий дистанционных наблюдений подстилающей поверхности (в том числе, из-за изменений состояния атмосферы и условий освещенности) может существенно сказываться на измерениях, получаемых гиперспектрометрами, затруднять разработку методов их обработки и получения устойчивых детальных характеристик поверхности. К сожалению, во многих случаях это делает практически невозможным устойчивое восстановление таких характеристик. В то же время ГС данные безусловно являются полезными для понимания информации, получаемой при измерении в различных традиционных спектральных каналах, а также выборе оптимальных спектральных каналов для изучения тех или иных явлений.

Для решения таких задач особенно важны инструменты, обеспечивающие возможность работы с ГС данными совместно с информацией, получаемой на основе традиционных многоспектральных систем наблюдения. В настоящей работы описаны возможности работы с ГС данными, реализованными в информационной системе Sea The See (STS), ориентированной на работу с данными дистанционных наблюдений для изучения и мониторинга морской поверхности пограничных морей России (Лаврова и др., 2011; Blair, 2011).

# Сравнительный анализ характеристик космических гиперспектральных комплексов, функционирующих на орбите на данный момент

На сегодняшний день гиперспектральных сенсоров, установленных на борту космических аппаратов, немного. Среди них следует отметить сенсор Hyperion (High Resolution Hyperspectral Imager) (Lavrova et al., 1013), на борту спутника EO-1, принадлежащего NASA, CHRIS на борту спутника PROBA (Blair, 2011), принадлежащего Европейскому космическому areнтству, и прибор HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Oceans) (http://hico.coas.oregonstate.edu), который является частью программы, финансирующейся лабораторией военно-морских исследований США (Naval Research Laboratory).

Не претендуя на полномасштабный обзор всей группировки, мы приведем лишь краткое описание тех гиперспектральных сенсоров, данные которых использовались при создании специализированного блока в системе STS.

ИСЗ ЕО-1, выведенный на полярную солнечно-синхронную орбиту с наклонением 98,21° 21 ноября 2000 г, является первым спутником, созданным NASA в рамках программы «Новое тысячелетие». Установленный на этом спутнике гиперспектральный сенсор Hyperion предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности в 220 спектральных каналах видимой и инфракрасной области в спектральном диапазоне 400 - 2500 нм. Прибор обладает спектральным разрешением 10 нм и разрешением на местности 30 м при размерах сцены 7,5 х 100 км. Изначально планировался годовой орбитальный полет спутника, но после успешного завершения этого срока было принято решение о продлении пребывания EO-1 на орбите на неопределенный срок. Данные Нуреrion находятся в свободном доступе в сети Internet на сайте геологической службы США http://glovis.usgs.gov/.

Гиперспектрометр НІСО, установленный в японском секторе МКС в сентябре 2009 г., разработан специально для наблюдения и изучения прибрежных зон морей и океанов и обладает высоким отношением сигнал/шум. Он позволяет получать информацию со 102-х спектральных каналов в спектральном диапазоне 380 – 960 нм и обладает спектральным разрешением 5,7 нм и разрешением на местности 92 м при размерах сцены 42 х 190 км. Съемки могут проводиться в широтных пределах примерно от 60 с.ш. до 60 ю.ш., что определяется геометрией полета МКС. Различные научные коллективы в рамках отдельных проектов имеют возможность получать данные сенсора НІСО в рамках соглашений с Naval Research Laboratory. Подобный проект ведется и в ИКИ РАН. Проект ориентирован на изучение акваторий Черного моря в районах Керченского пролива, Новороссийска - Геленджика и западной части Черного моря.

До последнего времени большинство программ исследования Земли при помощи спутниковых гиперспектральных сенсоров осуществлялись в США. Однако с вводом в действие в 2013 г. российского спутника Ресурс-П, созданного ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» по заказу Федерального космического агентства (http://www.mcc.rsa.ru/resurs\_p.htm) ситуация изменилась. На борту этого спутника установлена гиперспектральная съемочная аппаратура, позволяющая получать информацию в спектральном диапазоне 400–1100 нм со спектральным разрешением 5-10 нм и пространственным разрешением 30 м в полосе захвата 30 км.

В настоящее время в системе STS реализованы возможности работы с данными приборов Hyperion и HICO. Работу с данными, поступающими со спутника Ресурс-П, планируется реализовать в течение 2014 года.

## Инструментарий работы с данными гиперспектральной съемки, реализованный в спутниковом сервисе «See the Sea»

Спутниковый сервис See The Sea (http://ocean.smislab.ru) начал создаваться в ИКИ РАН в 2011 году (Лупян, Матвеев и др., 2012; Lavrova et al., 2013). STS ориентирован на проведение комплексного анализа данных спутникового дистанционного зондирования в интересах исследования Мирового океана.

Основной целью спутникового сервиса STS является обеспечение исследователей возможностями доступа и инструментами анализа информации, полученной на основе данных спутниковых наблюдений (как оперативных, так и из накопленных архивов), для изучения различных процессов, происходящих в океане и атмосфере над ним. Ключевым вопросом является возможность совместного хранения и комплексного использования данных, различных по своей физической природе (активное и пассивное микроволновое зондирование, многоспектральные оптические и ИК данные), пространственному разрешению, размерности и времени получения. Реализованные в STS инструменты обеспечивают возможность не только удобного поиска и выбора информации из архивов, но и проведения анализа данных. Основным достоинством созданного сервиса является инструментарий для комплексного анализа различных явлений и процессов в Мировом океане, оценки их количественных и качественных характеристик, выявления пространственных и временных изменчивостей, изучения условий возникновения и развития. В сервисе STS также предусмотрены возможности описания различных процессов и явлений, происходящих в Мировом океане, и ведения долговременных баз данных таких описаний. Средства ведения базы данных наблюдаемых процессов и явлений обеспечивают хранение и визуализацию графической и атрибутивной информации, иерархическую классификацию наблюдаемых процессов, поиск по пространственным, временным и типологическим критериям. Сервис STS создан на основе технологий сбора, обработки, архивации и представления спутниковых данных, разработанных в ИКИ РАН (Лупян, Балашов и др., 2012).

Для работы с данными в STS создан специализированный картографических webинтерфейс, позволяющий распределенным коллективам специалистов осуществлять поиск, выбор и анализ различных данных дистанционного зондирования и сопутствующей (например, метео) информации. Интерфейс создан на основе разработанной в ИКИ РАН технологии GEOSMIS (Толпин и др., 2011).

Для обеспечения работы с ГС данными в STS был создан специализированный блок, обеспечивающий решение следующих основных задач:

- получение ГС данных из различных источников;
- проведение автоматизированной потоковой обработки данных для формирования специализированных архивов в виде, удобном для быстрой выборки и визуализации фрагментов анализируемой информации;
- предоставление интерфейсов для работы с данными, обеспечивающих не только быстрый поиск и выбор данных, но и их детальный анализ, в том числе совместно с различной информацией, использующейся в сервисе STS.

Блок создан на основе технологии, ориентированной на организацию работы с ГС данными в различных информационных системах. Подробно данная технология описана в (Уваров и др., 2014).

В настоящее время блок обеспечивает возможность работы с данными гиперспектрометров Hyperion и HICO по пограничным морям России, поступающими из архивов геологической службы США и Naval Research Lab. На начало 2014 года пользователям системы предоставлялась возможность работы с более чем 1000 сцен данных за период с 2003 года по настоящее время. Покрытие данными, доступными в STS, регионов Черного, Азовского, Балтийского и Каспийского морей по состоянию на январь 2014 года приведено на *рис. 1*.





Регион Каспийского моря

Рис. 1. Покрытие данными приборов HYPERION и HICO регионов Черного, Азовского, Балтийского и Каспийского морей

Особое внимание в создаваемом блоке уделено вопросам организации интерфейсов для работы с ГС данными. Большое количество каналов у гиперспектральных изображений и значительная изменчивость спектральных яркостей в различных участках поверхности суши и моря требуют от пользователя точной настройки параметров отображения снимков в соответствии с актуальной исследовательской задачей. В первую очередь это должно обеспечиваться выбором наиболее информативных спектральных каналов. Картографический интерфейс включает в себя средства цветового синтеза гиперспектральных изображений с использованием произвольно выбранных каналов. Данный инструментарий позволяет назначить каждому из цветовых компонентов RGB-изображения один из 220-и спектральных каналов прибора Нурегіоп или один из 102-х спектральных каналов прибора HICO. Реализованные в картографическом интерфейсе возможности цветовой коррекции позволяют настраивать передаточную функцию яркости для каждого из отображаемых спектральных каналов. Для этого автоматически вычисляются и выводятся на экран гистограммы яркостей в каждом из каналов, а пользователю предлагается либо установить автоматически выбираемые параметры функции, либо задать их вручную. Автоматический выбор параметров осуществляется путем определения диапазона яркостей, с различными уровнями отклонения от среднего. Ручной выбор параметров позволяет произвольно задать минимальную и максимальную яркость, а также гамма-коррекцию.

Совместный анализ нескольких изображений возможен как с помощью поочередного их вывода на экран, так и путем построения из них синтезированного изображения. Последнее может быть построено как из различных снимков, полученных одним сенсором, так и на основе данных разных приборов. Синтезированное RGB-изображение может включать в себя любую комбинацию спектральных каналов изображений, доступных в картографическом интерфейсе на заданной территории.

Более подробный анализ спектральных характеристик объектов возможен благодаря функции построения спектральных профилей в заданной точке изображения. Выведя на экран с помощью картографического интерфейса гиперспектральное изображение, пользователь может выбрать на нем мышью несколько интересующих его точек. Затем, вызвав интерфейс отображения графиков, пользователь может анализировать характер изменения спектральной яркости в зависимости от длины волны, а также сравнивать спектральные профили разных объектов. Помимо собственно спектральной яркости, для анализа доступна рассчитываемая на ее основе спектральная отражательная способность, также отображаемая в виде графиков.

# Возможности использования инструментов анализа ГС данных спутникового сервиса STS

В настоящем разделе мы продемонстрируем основные возможности инструментов, предоставляемых STS для работы с ГС данными на примере сравнения возможностей использования информации, получаемой гиперспектрометром Hyperion и "традиционной" многоспектральной аппаратурой OLI-TIRS, установленной на спутнике Landsat и сопоставимой с прибором Hyperion по пространственному разрешению (порядка 30 м), для анализа состояния различных типов вод в береговой зоне.

Одной из проблем сравнения возможностей использования гиперспектрометов и мультиспектрометров для анализа различных процессов, происходящих на поверхности водоемов, является то, что обычно данные процессы являются достаточно быстро текущими. Поэтому, чтобы выполнить корректное сравнение, нам необходимо использовать наборы данных, полученные различными приборами, времена наблюдений для которых были бы близки. Поскольку гиперспектрометр Нурегіоп позволяет производить наблюдения начасто (в первую очередь из-за узости полосы наблюдения), поиск наборов данных для сравнения представляется довольно тяжелой задачей. В то же время, поскольку в сервисе STS доступна информация как достаточно большого архива ГС данных, так и большого постоянно пополняющегося архива данных, поступающих со спутника Landsat (Лупян, Балашов и др., 2012), нам удалось найти для сравнения две сцены, полученные 16.04.2014 прибором Нурегіоп в 7 7:28 GMT и прибором OLI-TIRS в 8:19 GMT в районе Керченского полуострова. Их взаимное положение показано на *рис. 2*.



*Рис. 2. Расположение анализируемых сцен HYPERION (узкая сцена) и OLI-TIRS, отображенные в интерфейсе STS* 

Для детального сравнения информации, получаемой на основе данных разных приборов, было выбрано озеро Тобечикское. Оно расположено на юге Керченского полуострова на территории Ленинского района. Озеро является соленым, однако достаточно неоднородным, вода в нем более пресная в устьях впадающих балок, в зоне выходов подземных вод. В этих районах озеро зарастает водной растительностью.

Сначала нами было произведено сравнение изображений озера, полученных в различных каналах Hyperion и OLI-TIRS. На *рис. 3* представлены изображения, полученные в панхрамотическом канале OLI-TIRS (0,5–0,68 мкм, пространственное разрешение 15 м), 4-ом канале OLI-TIRS (0,63–0,68 мкм пространственное разрешение 30 м) и 33-ем канале Нурегіоп (0,6812 мкм пространственное разрешение 30 м). Для сравнения был выбран канал прибора Нурегіоп, в котором удавалось получить наиболее контрастное изображение наиболее неоднородной западной части озера в диапазонах спектров, перекрываемых 2–4 каналами Landsat. Сравниваемые изображения приведены на *рис. 3*. Хотя при внимательном анализе на *рис. 36* видны некоторые дополнительные детали на поверхности озера, особенно по сравнению с *рис. 36*, все-таки нельзя сказать, что данные в очень узком спектральном канале обеспечивают получение принципиально новой информации о структуре поверхности по сравнению с данными, полученными в широком канале традиционного мультиспектрометра. Следует также обратить внимание на то, что повышение пространственного разрешения в ущерб спектральному (*рис. 3a*), позволяет в нашем случае более четко выделить пространственные особенности неоднородностей на водной поверхности.

В то же время, безусловно, представляет интерес выбор наиболее информативных для исследования конкретных явлений каналов. Такой выбор может быть осуществлен на основе анализа спектров в точках, соответствующих участкам изображения с различными характеристиками, например, разным уровнем солености. Приведем пример проведения такого анализа с использованием системы STS. Для этого на профиле, проведенном через зоны с различными типами вод, выбраны точки, в которых наблюдаемая поверхность должна иметь различные характеристики (см. на *рис. 4a*) и в них на основе данных Hyperion построены спектральные профили, которые приведены на *рис. 4б*. Цвет профилей соответствует цвету точек на *рис. 4a*. На рисунке стрелками показано расположение каналов прибора OLI-TIRS. Из представленных на рисунке спектральных профилей отражательной способности хорошо видно, что наибольшие контрасты в наблюдениях различных типов водных поверхностей в анализируемых районах наблюдаются в диапазоне около 1,3 мкм, а минимальные - в диапазоне около 0,8 мкм.

Таким образом, можно ожидать, что в каналах гиперспектрометров, близких к 1,3 мкм, мы сможем наблюдать более структурированные изображения наблюдаемой поверхности, чем в каналах близких к 0,8 мкм. В то же время, на изображениях в каналах, близких к 1,3 мкм, должны наблюдать структуры в зонах перехода от низкой солености к высокой. Изображения в этих каналах не должно быть практически бинарным, как, например, в каналах близких к 1,6 и 2.2 мкм. Это действительно хорошо видно на изображениях, полученных в 45 (0,8033 мкм) и 115 (1,2959 мкм) каналах прибора Hyperion.

Остановимся теперь на сравнении цветосинтезированных данных, полученных различными приборами. На *рис.* 6 показаны цветосинтезы анализируемого региона, полученные на основе сопоставимых каналов приборов OLI-TIRS (*рис.* 6a) и Hyperion (*рис.* 6б).







Рис. 3. Изображения озера Тобечикское, полученные в а) панхрамотическом канале прибора OLI-TIRS, б) 4-ом канале прибора OLI-TIRS, в) 33-ем канале прибора HYPERION



Рис. 4. Примеры анализа спектральных профилей в точках с различным уровнем солености (комментарии в тексе)

Следует отметить, что хотя на изображении, синтезированном на основе данных гиреспектрометра с использованием более узких и, в каком-то смысле, более оптимальных спектральных каналов, наблюдается несколько больше деталей, чем на изображении, синтезированном с использованием "традиционных" достаточно широких каналов OLI-TIRS, всетаки принципиальных отличий между этими изображениями не наблюдается. Таким образом, мы очередной раз убеждаемся, что для изучения структуры поверхностей соленых озер ГС данные не дают принципиального выигрыша в случае использования тех частот наблюдения, которые уже имеются в мультиспектральных приборах класса OLI-TIRS. В тоже время, как было показано выше, использование дополнительных диапазонов может быть полезно для выявления особенностей структуры поверхности соленых озер.



а) б) Рис. 5. Примеры изображений в каналах с большой и малой "контрастностью" наблюдаемых объектов



a)



Рис. 6. Цветосинтезы, полученные на основе данных а) - OLI-TIRS (каналы R-6, G-5, B-4), б) HYPERION (каналы R-140 (1,5581 мкм), G-50 (0,8519 мкм), B-33(0,6812 мкм))

#### Заключение

Мы видим, что созданный в составе информационной системы STS инструментарий работы с ГС данными позволяет проводить их достаточно детальный анализ совместно с другими спутниковыми данными. Отметим также, что приведенный в работе пример анализа информации о состоянии поверхности соленого озера безусловно не является исчерпывающим, а призван лишь продемонстрировать возможности созданного блока работы с ГС данными. В тоже время, используя подобную структуру анализа, можно достаточно просто оценить, какие преимущества может дать использование ГС данных для анализа тех или иных объектов, процессов и явлений, наблюдаемых на нашей планете.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 13-07-12017-офи-м, при ее выполнении использовались также результаты, полученные в рамках проекта РФФИ 13-07-00513-а-2013 и темы РАН "Мониторинг".

### Литература

- 1. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В., Казанцев О.Ю., Персев И.В., Щербаков М.В. Обработка данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования / /Исследование Земли из космоса. 2012. № 5. С. 3–11.
- 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 стр.
- 3. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Мазуров А.А., Мальцев Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Толпин В.А., Халикова О.А., Крашенинникова Ю.С. Возможности работы с долговременным архивом данных спутников LANDSAT по территории России и приграничных стран // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 3. С.307–315.
- 4. Лупян Е.А., Матвеев А.М., 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. 251–262.
- 5. Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян 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.
- 6. Уваров И.А., Матвеев А.М., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Мазуров А.А, Прошин А.А, Саворский В.П., Суднева О.А. Организация распределенной работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для решения научных и прикладных задач И.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014 Т. 11. № 1. С. 322–333.
- 7. Blair S. Autonomy in Action, Ten years of PROBA-1 // ESA Bulletin. 2011. No. 148. P. 23–31.
- Lavrova O.Yu., Loupian E.A., Mityagina M.I., Uvarov I.A., Bocharova T.Yu. See the Sea Multi-User Information System Ocean Processes Investigations Based on Satellite Remote Sensing Data // Bollettino di Geofisica teorica ed applicata. An International Journal of Earth Sciences. 2013. Vol. 54. P. 146–147.
- Lucke R.L., Corson M., McGlothlin N.R., Butcher S.D., Wood D.L., Korwan D.R., Li R.R., Snyder W.A., Davis C.O., Chen D.T. Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO): instrument description and first images // Applied Optics. 2011. Vol. 50. Issue 11. P. 1501–1516.

# Management of hyperspectral remote sensing data for studies of world ocean processes

# I.A. Uvarov, E.A. Loupian, A.M. Matveev, A.A. Mazurov, O.Yu. Lavrova, M.I. Mityagina

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences Moscow 117997, Russia E-mail: evgeny@iki.rssi.ru

The paper discusses the feasibility issues of using hyperspectral (HS) remotely sensed data for studying various processes occurring on water surface. A brief analysis covers the capabilities of several currently functioning HS systems, including their data availability for research purposes. The main focus is on the development aspects of the HS data processing subsystem in the framework of the See the Sea (STS) information system. The STS system has been developed to provide the specialists studying various processes in the world ocean with access to satellite data. Along with querying and selection of data required for research, the system provides the scientists with various data analysis tools. The STS system was designed to allow distant collaboration of separated research teams in framework of various scientific projects. The basic functionality of the HS data processing subsystem of STS is demonstrated by a comparison of water surface state assessment capabilities of Hyperion hyperspectrometer and OLI-TIRS multispectrometer installed on board the Landsat 8 satellite.

Keyword: remote sensing, hyperspectral satellite data, geoportals, water surface remote monitoring.

### References

- 1. Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V., Kazanzev E.V., Dmitriev E.V., Kazanzev O.Yu., Persev I.V., Scherbakov M.V., Obrabotka dannykh giperspektral'nogo aerokosmicheskogo zondirovaniya (Processing the hyperspectral remotely sensed data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2012, No. 5, pp. 3–11.
- Lavrova O.Yu., Kostyanoi A.G., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N.A., Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii (Integrated satellite monitoring of the Russia's seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 472 p.
- Loupian E.A., Balashov I.V., Bourtsev M.A., Efremov V.Yu., Mazurov A.A., Mal'zev D.V., Matveev A.M., Proshin A.A., Tolpin V.A., Khalikova O.A., Krasheninnikova Yu.S., Vozmozhnosti raboty s dolgovremennym arkhivom dannykh sputnikov LANDSAT po territorii Rossii i prigranichnykh stran (Opportunities to work with Long-term archive of LANDSAT satellite data on the territory of Russia and neighboring countries), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 307–315.
- 4. Loupian E.A., Matveev A.M., Uvarov I.A., Bocharova T.Yu., Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Sputnikovyi servis See the Sea instrument dlya izucheniya protsessov i yavlenii na poverkhnosti okeana (The satellite service See the Sea a tool for the study of oceanic phenomena and processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 251–262.
- Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Sozdanie interfeisov dlya raboty s dannymi sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS system: Developing interfaces to operate data in modern remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol.8, No. 3, pp. 93–108.
- 6. Uvarov I.A., Matveev A.M., Bourtsev M.A., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Savorskiy V.P., Sydneva O.A. Organizatsiya raspredelennoi raboty s dannymi sputnikovykh giperspektral'nykh nablyudenii dlya resheniya nauchnykh i prikladnykh zadach (Distributed data management of hyperspectral remote sensing data for scientific purposes and applications), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 322–333.
- 7. Blair S., Autonomy in Action, Ten years of PROBA-1, ESA Bulletin, 2011, No. 148, pp. 23-31.
- 8. Lavrova O.Yu., Loupian E.A., Mityagina M.I., Uvarov I.A., Bocharova T.Yu. See the Sea Multi-User Information System Ocean Processes Investigations Based on Satellite Remote Sensing Data, *Bollettino di Geofisica teorica ed applicata. An International Journal of Earth Sciences*, 2013, Vol. 54, pp. 146–147.
- Lucke R.L., Corson M., McGlothlin N.R., Butcher S.D., Wood D.L., Korwan D.R., Li R.R., Snyder W.A., Davis C.O., Chen D.T. Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO): instrument description and first images, *Applied Optics*, 2011, Vol. 50, Issue 11, pp. 1501–1516.