ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

УДК 528.8(15):629.78

В.В. Пустовойтенко, С.В. Бородин, Е.П. Давыдова,
Е.И. Калинин, Г.К. Коротаев, Д.М. Соловьев, Л.Н. Радайкина

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Морской гидрофизический институт НАН Украины свыше 30 лет проводит комплексный спутниковый мониторинг морских акватории. На его первых этапах отрабатывалась методика определения параметров цветовых и температурных полей Мирового океана на основе использования информации спутниковых фотометров и СВЧ-радиометров. В последующем состав источников информации был расширен и акцент работ смещен в область изучения Черного моря. В статье кратко рассмотрены информационные характеристики основных оптико-электронных и радиофизических систем мониторинга морских акваторий, основные направления и перспективы из развития. Рассмотрена созданная в МГИ НАН Украины система комплексного мониторинга акватории Черного моря, описаны конечные информационные продукты системы, выставляемые на портале системы *GEOSS-UA*.

ВВЕДЕНИЕ

Физическая океанография за последние пятьдесят лет претерпела существенную трансформацию. В 40-х – 50-х годах прошлого столетия накопление описательной географической информации о состоянии океана в целом и отдельных его регионов и широкое внедрение в практику океанографических исследований математических методов привели к становлению океанологии как физической науки.

Развитие новых средств, методов и технологий инструментальных наблюдений, прогресс в области долговременных буйковых постановок и др. факторы позволили получить в 60-х – 70-х годах качественно новые представления о процессах, протекающих на поверхности океана и в толще его вод. На эти же годы приходится и период становления спутниковых систем дистанционного зондирования Земли.

Следующее десятилетие, 70-е – 80 годы, характеризуется внедрением в океанографические исследования системных подходов и методов, что позволило классифицировать процессы, определяющие изменчивость океана, и построить физические и математические модели этих процессов.

Наконец, широкое внедрение в практику океанографических исследований спутниковых методов и технологий, произошедшее в 80-е – 90-е годы прошлого столетия, позволило приступить к созданию междисциплинарных

© В.В. Пустовойтенко, С.В. Бородин, Е.П. Давыдова, Е.И. Калинин, Г.К. Коротаев, Д.М. Соловьев, Л.Н. Радайкина, 2008

систем непрерывного контроля состояния океана, идентичных метеорологическим системам диагноза и прогноза погоды.

Междисциплинарный диагноз состояния Мирового океана и его морей в реальном масштабе времени и среднесрочный прогноз его эволюции стали предметом нового, бурно развивающегося в последние годы направления физической океанографии – оперативной океанографии.

В свою очередь, оперативная океанография, широко использующая результаты наблюдения морских акваторий с помощью спутниковых систем ДЗЗ, стимулирует постановку научно-исследовательских и научно-методических работ в смежных областях наук и Земле, направленных на дальнейшее развитие представлений о физических механизмах формирования морской поверхностью информационных сигналов в различных диапазонах электромагнитных волн, что, в конечном итоге, ведет как к повышению точности измерения тех или иных океанографических параметров средствами ДЗЗ, так и к улучшению качества работы систем диагноза и прогноза, усваивающих эту информацию.

ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Чуть более полувека лет назад произошло событие, ознаменовавшее собой вступление человечества в новую, космическую эру. Человек быстро оценил роль ИСЗ как средств контроля за состоянием природных ресурсов Земли.

Спустя всего лишь три года после запуска первого ИСЗ, в 1960 г., был запущен первый метеорологический ИСЗ «*TIROS-1*»[1], [1] с помощью которого были получены очертания Земного шара, лежащего под облаками. В 1966 г. запуском ИСЗ «Космос-122» начата практическая отработка [2] эксплуатационной космической метеорологической системы «Метеор». В последующем запускались экспериментальные метеорологические ИСЗ «Космос-144, -156, -184, -206, -266». В 1969 г. им смену пришли серийные ИСЗ «Метеор». В 1971 г. (ИСЗ «Метеор» № 10) телевизионная аппаратура была заменена оптико-механическим сканером МСУ-М, имевшим преимущества перед видиконом – оптико-электронным преобразователем в телевизионной аппаратуре. Одновременно с развитием космического сегмента системы «Метеор», создавался и совершенствовался наземный ее сегмент – инфраструктура приема, обработки, анализа и распространения спутниковой метеорологической информации [1].

В эти годы в области средств ДЗЗ параллельно развивалось и другое, военное, направление. Стимулом для его развития стала возможность с помощью ИСЗ сравнительно безопасно «заглянуть через замочную скважину к соседу», что привело к появлению широкой номенклатуры спутников-

---

[1] *TIROS – Television Infrared Observation Satellite* – спутник телевизионного и инфракрасного наблюдения Земли.

[2] Дата весьма условна. Так, на ИСЗ «Космос-4» (КА типа «Зенит-2» № 02, запущен в 1962 г. [2])» были начаты испытания телевизионной аппаратуры; на ИСЗ «Космос-14 и -23» (КА типа «Омега-1», оба запущены в 1963 г. [2]) отрабатывалась система ориентации и стабилизации в пространстве, на ИСЗ «Космос-45» (КА типа «Зенит-4», запущен в 1964 г. [2]) отрабатывалась аппаратура, работающая в инфракрасном диапазоне, и т.д. [1].

фоторазведчиков [3]. В США такими ИСЗ стали спутники «*КН*» (*Key Hole* – замочная скважина) (см., например, [4 – 6]) [4], в СССР – ИСЗ типа «Зенит»,[5] запускавшиеся как ИСЗ «Космос» с разными порядковыми номерами (см., например, [7]).

Разработка же непосредственно концепции использования средств и методов космической техники для исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ) заняла около 10 – 15 лет. К начальному этапу развития этих работ, с некоторой степенью условности, можно отнести:

– запуск в СССР в 1968 г. экспериментального космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Космос-243» [8, 9], оснащенного радиофизическим (СВЧ-радиометры) зондирующим комплексом;

– запуск в США в 1972 г. ИСЗ ДЗЗ «*Landsat-1* (*ERTS-1* [6])» [10];

– проведение в 1973 г. на борту орбитальной космической станции «*Skylab*» [7,8] серии экспериментов по отработке систем ДЗЗ, в том числе – эксперимента *S-193*, направленного на отработку радиолокационных (РЛ-) средств наблюдения морских акваторий [11];

– запуск в 1974 г. КА «Метеор-Природа» [12]), предназначенного для проведения исследований и наблюдений в интересах метеорологии и экологического мониторинга;

---

[3] Фотосъемка территории СССР с 1946 г. осуществлялась с помощью самолетов-разведчиков не входивших в воздушное пространство страны; с 1950 г. начались «проникающие» полеты над территорией СССР с использованием с 1956 г. высотного разведчика *U-2* (*CL-282*), один из которых, в конечном итоге, и был 1 мая 1960 г. Интересно, что санкционируя полет, Д. Эйзенхауэр одновременно приказал прекратить полеты над СССР после 1 мая. *U-2* до сих пор продолжают использовать по прямому назначению, хотя Пентагон и предполагает к 2011 г. вывести их из эксплуатации (см., например [3]).

[4] В 1946 г. группа американских инженеров составила отчет о возможном полете искусственного спутника вокруг Земли. Они отмечали, что спутник, оснащенный телевизионной аппаратурой, сможет делать снимки суши, передавая их в США. Он сможет также обеспечивать связь, навигацию или получение метеоданных. Но наибольшую пользу он может принести в области разведки. В 1960 г. в США было образовано Национальное разведывательное управление (*National Reconnaissance Office*), отвечавшее за космическую разведку, и начата реализация проекта *CORONA*. Цель проекта: создание спутника фоторазведки. Интересна история самого названия проекта – документы проекта печатались на пишущей машинке *Smith-Corona*, ее название и дало имя проекту. Пространственное разрешение аппаратуры ИСЗ *КН* в ранних модификациях составляло от 0.6 до 140 м, современный фоторазведчик *КН-12* проводит съемку территорий с пространственным разрешением 10 – 15 см днем и 60 – 90 см ночью. Первый успешный запуск ИСЗ состоялся в 1960 г. [4 – 6].

Отметим, что в том же 1946 г. М. К. Тихонравов вместе с Н.Г. Чернышевым представили на рассмотрение в Правительство СССР проект запуска на высоту 190 км двух пилотов в герметичной кабине, которая после отделения возвращалась на Землю. Авторы отмечали, что помимо научной и технической важности проект содержит элементы громадного политического и общественного значения. Проект был одобрен. Министр авиационной промышленности М. Хруничев предложил создать для его реализации специальное конструкторское бюро. Предполагалось, что при напряженной работе запуск можно будет осуществить уже в 1948 г. (!). Однако, реализовать проект в те годы не удалось.

[5] В СССР на основе КА «Восток» в начале 60-х годов был создан фоторазведчик «Зенит-2». Его первый успешный запуск состоялся в 1962 г. («Космос-4»), а в эксплуатацию КА был принят в марте 1964 г. [7].

[6] *ERTS – Earth Resources Technology Satellite.*

[7] *Skylab* – небесная лаборатория.

[8] В СССР к этому времени практически была завершена отработка КА «УС-А», предназначенного для всепогодного обнаружения морских надводных целей и оснащенного радиолокационной станцией бокового обзора (РЛС БО) [14, 15].

– начало в 1976 – 1977 гг. работ по созданию эксплуатационной космической системы изучения природных ресурсов Земли «Ресурс» [13] в составе подсистем «Ресурс-О», «Океан-О» (оперативные подсистемы) и «Ресурс-Ф» (неоперативная) обеспечивающих наблюдение практически любых районов земного шара с использованием приборов, работающих в видимом, инфракрасном и сверхвысокочастотном диапазонах электромагнитных волн;

– запуск в 1978 г. специализированного океанографического КА «*SeaSat*», оснащенного многофункциональным, включая радиолокационный, комплексом ДЗЗ [16]. Несмотря на малое время работы КА, с его помощью было получено много ценной информации, интерес к которой не ослабел и до настоящего времени;

– запуск в том же, 1978 г., КА «*Nimbus-7*» [17], оснащенного цветовым сканером *CZCS* [9], предназначенным для изучения характеристик цветовых полей морских акваторий. В последующем, в 1997 г., был запущен специализированный морской спутник «*SeaStar*»[10] [18], оснащенный более современным цветовым сканером *SeaWiFS* [11].

– запуск в 1979 г. первого отечественного океанографического КА «Космос-1076», а в 1983 г. – первого отечественного океанографического КА радиолокационного наблюдения «Космос-1500» [13, 19, 20] [12];

– запуск в 1979 и 1981 гг. КА «Интеркосмос-20» и «Интеркосмос-21» (см., например, [20]), при работах с которым был получен уникальный массив информации об оптических характеристиках морской воды [11].

СРЕДСТВА СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Последующие годы характеризуются стремительным развитием как непосредственно космических средств и методов ДЗЗ, так и методов интерпретации и усвоения получаемой при этом информации. В дополнение к оптическим системам ДЗЗ пришли радиофизические: пассивные (радиометры) и активные (альтиметры, скаттерометры и радиолокационные станции обзорного и детального наблюдения). Существенно расширилась и география стран, принадлежащих к «космическому клубу» – к странам, разрабатывающим, изготавливающим, запускающим и эксплуатирующим КА различного назначения. Только стран, обладающих научными КА ДЗЗ и КА ИПРЗ, насчитывается свыше сорока. Среди них такие «экзотические», как Чили, Малазия, Тайланд, Марокко и др.

Рассмотрим, с точки зрения оперативной океанографии, возможности проектов, реализуемых странами «космического клуба». В рамках предлагаемой читателю статьи уделим больше внимания радиометрическим [13] системам,

---

[9] *CZCS – Coastal Zone Color Scanner.* ИСЗ «*Nimbus-7*» активно работал на орбите в течении 9 лет.

[10] *SeaStar* – «Морская звезда», после запуска переименован в «*OrbView-1*».

[11] *SeaWiFS – Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor.*

[12] На МГИ НАН Украины (в те годы – МГИ АН УССР) были возложены функции научного руководства экспериментом и функции головной организации по комплексу аппаратуры ДЗЗ отечественных океанографических КА.

[13] Океанографические возможности современных спутниковых радиолокационных систем ДЗЗ и перспективы их развития рассмотрим в самостоятельной публикации [21].

работающим в видимом и инфракрасном (ИК-) и сверхвысокочастотном (СВЧ-) диапазонах. Сразу напомним, что на условия применения систем, работающих в оптическом диапазоне, оказывает влияние освещенность поверхности и прозрачность атмосферы (наличие облачности, тумана, аэрозоля и т.д.). Это стимулирует развитие методов, позволяющих если не исключить полностью, то хотя бы заметно ослабить влияние названных факторов при тематической обработке получаемой с их помощью информации.

Системы, работающие в видимом и инфракрасном диапазонах. К сожалению, ограниченный объем публикации не позволяет даже конспективно рассмотреть и оценить, в приложении к задачам оперативной океанографии и морской экологии, информационные возможности *всех* систем оптического мониторинга земной поверхности, запущенных в последние годы. Поэтому остановимся только на некоторых из них.

1) Прежде всего отметим систему метеорологических КА «*NOAA*»[14]. Как отмечено в [1], первый КА из этой серии, «*TIROS-1*», был запущен в 1960 г. В 1965 г. на смену пришли более совершенные ИСЗ «*ESSA*»[15], которые с 1970 г. заменены собственно КА «*NOAA*». В настоящее время в рабочем состоянии (полностью или частично) находятся КА «*NOAA-15*» (запущен в 1998 г.), «*NOAA-16*» (запущен в 2000 г.), «*NOAA-17*» (запущен в 2002 г.), «*NOAA-18*» (запущен в 2005 г.). КА обеспечивают обзор земной поверхности с пространственным разрешением 1 км[16] при ширине полосы обзора около 2 800 км в пяти каналах видимого и ИК-диапазонов [22].

Спутники работают в режиме непрерывной передачи информации и ее прием осуществляется бесплатно на основе концепции «открытое небо» Всемирной метеорологической организации (*WMO*). Присутствие на орбите в рабочем состоянии как минимум двух КА позволяет производить многократную съемку одной и той же территории в сутки. Снимки могут приниматься в аналоговом виде (*APT*-формат) с помощью относительно простых средств, работающих в частотном диапазоне 137 МГц, и в цифровом виде (*HRPT*-формат), с помощью средств, работающих в частотном диапазоне 1.7 ГГц. Снимки доступны также и в сети *Internet*, например, на сайте http://www.ssec.wisc.edu.

В настоящее время, снимки, получаемые с помощью метеорологических КА *NOAA*, являются, пожалуй, самыми доступными для потребителей и, по этой причине, – самыми популярными среди океанографов. В оперативной океанографии используются для исследования полей температуры поверхности моря.

2) К числу проектов, имеющих океанографическую направленность, с полным основанием следует отнести и уже упоминавшиеся нами КА «*Nimbus-7*»

---

[14] *NOAA – National Oceanic Atmospheric Administration* — Национальное управление по океанам и атмосфере (США).

[15] *ESSA – Environmental Science Service Administration* – Управление по научной информации об окружающей среде.

[16] При передаче информации в *HRPT*-формате. При передаче информации в *APT*- формате пространственное разрешение составляет около 4 км. *HRPT – High Resolution Picture Transmission* – режим передачи информации в цифровом виде с использованием радиоканала, работающего в частотном диапазоне 1.7 ГГц. *APT – Automatic Picture Transmission* – режим передачи информации в аналоговом виде с использованием радиоканала, работающего в частотном диапазоне 137 МГц.

(*CZCS*) и «*SeaStar*» (*SeaWiFS*). Сканер *SeaWiFS* имеет шесть каналов, работающих в видимом диапазоне – длины волн 412 нм (фиолетовый); 443 нм (синий); 490 нм (сине-зеленый); 510 нм (зеленый); 555 нм (желто-зеленый) и 670 нм (красный) – и два канала, работающие в ИК-диапазоне – длины волн 765 и 865 нм. Полоса пропускания каналов, работающих в видимом диапазоне, составляет 20 нм, в ИК-диапазоне – 40 нм. Пространственное разрешение сканера составляет 1.1 км (режим *LAC – Local Area Coverage*) и 4.5 км (режим *GAC – Global Area Coverage*), ширина полосы обзора составляет 2 800 км для режима *LAC* и 1 500 км для режима *GAC* [18]. В задачах оперативной океанографии и экологии информация используется для исследования характеристик цветовых полей морских акваторий – определения концентрации хлорофилла – *a*, в частности.

3) С 1986 г. Франция осуществляет национальную программу «*SPOT*» [17] и запускает одноименные космические аппараты ДЗЗ [23, 24]. Последний из КА этой серии, *SPOT-5* (запущен 3 мая 2002 г.), оснащен несколькими съемочными системами. Камера *2 HRGs* обеспечивает съемку с пространственным разрешением около 5 м (в режиме *Super Mode* – 2.5 м) в полосе шириной 60 км (панхроматическая съемка – *PAN*), с пространственным разрешением 10 м в той же полосе при мультиспектральной съемке (*MS*). Камера *Vegetation2* позволяет проводить съемку с пространственным разрешением около 1 км в полосе около 2 500 км. Панхроматическая камера *HRS* выполняет стереоскопическую съемку вдоль трассы с пространственным разрешением 10 м (размер кадра 600 × 120 км). Камера *HRG* выполняет стереоскопическую съемку поперек трассы панхроматическую (2 канала) с пространственным разрешением 5 м, мультиспектральную (3 канала) с пространственным разрешением 10 м и в дальнем ИК-диапазоне (1 канал) с пространственным разрешением 20 м. Размер кадра 60 × 60 – 80 км [24]. Стоимость кадра изменяется, в зависимости от пространственного разрешения, от 1900 до 8100 евро.

4) С 1988 г. Индия реализует свою национальную программу ДЗЗ – *IRS* (*Indian Remote Sensing Satellite*). В настоящее время на орбите находится группировка, состоящая из шести КА: *IRS-1C* (запущен в 1995 г), *IRS-1D* (запущен в 1997 г.), *IRS-P4 Oceansat-1* (запущен в 1999 г.), *IRS-P6 Resourcesat-1* (запущен в 2003 г.), *IRS-P5 Cartosat-1* (запущен в 2005 г.) и *Cartosat-2* (запущен в 2007 г.). Состав аппаратуры ДЗЗ от запуска к запуску претерпевал некоторые изменения, обусловленные особенностями целевого назначения того или иного КА [25, 26]. Так, например, КА «*Cartosat-1*», предназначен для получения стереоизображений с высокими метрическими характеристиками. На основе данных, полученных с его помощью, возможно построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) с точностью порядка 5 м по высоте. Поэтому на борту были установлены две идентичные съемочные системы: *PAN-Fore* («на носу») и *PAN-After* («на корме»). Обратим внимание так же на то, что на КА типа *IRS* из технологической цепочки получения снимков полностью исключены фотохимические процессы – изображения передаются в цифровом виде. Радиометрическое разрешение снимков для разных видов их съемочной аппаратуры изменяется от 6 до 10 бит на пиксел.

---

[17] *SPOT – System Probatoire D`Observation de la Terre.*

Данные о комплектации КА *IRS* и основных параметров аппаратуры ДЗЗ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сведения о комплексах ДЗЗ индийских КА *IRS* [25, 26]

Космический аппарат	Год запуска	Аппаратура ДЗЗ	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение	Полоса обзора	Стоимость снимка
1. *IRS-1C*	1995	*PAN*	0.50 – 0.75 мкм	5.8 м	70 км	2470 $
		LISS	0.52 – 0.59 мкм 0.62 – 0.68 мкм 0.77 – 0.86 мкм	23. 5 м	142 км	400 $
			1.55 – 1.70 мкм	70 м		-
		WiFS (*Wide Field Sensor*)	0.62 – 0.68 мкм 0.77 – 0.86 мкм	188 м	804 км	-
2. *IRS-1D*	1997	имеет аналогичную КА *IRS-1C* комплектацию приборов ДЗЗ и такую же стоимость снимков				
3. *IRS-P4 (Oceansat-1)*	1999	*OCM* (*Ocean Colour Monitor*)	402 – 422 нм 433 – 453 нм 480 – 500 нм 500 – 520 нм 545 – 565 нм 660 – 680 нм 745 – 785 нм 845 – 885 нм	250 × 360 м	а) 1420× 1420 км; б) 474 × 474 км; в) 108× 108 км; д) 3 по 1420× 1420 км	-
4. *IRS-P6 (Resourcesat-1)*	2003	*LISS-3*	0.52 – 0.59 мкм; 0.62 – 0.68 мкм; 0.77 – 0.86 мкм; 1.55 – 1.70 мкм.	23.5 м	141 км	-
		LISS-4	0.52 – 0.59 мкм; 0.62 – 0.68 мкм; 0.77 – 0.86 мкм.	5.8 м	23.9 км (мульти-спектр.); 70.3 км (панхром.)	-
		AWiFS	как и у *LISS-3*	56 м	740 км	-
5. *IRS-P5 (Cartosat-1)*	2005	*PAN-Fore*	500 – 750 нм	2.5 м	30 км	-
		PAN-After	500 – 750 нм	2.5 м	30 км	-
6. *IRS-P7 (Cartosat-2)*	2007	*PAN*	500 – 850 нм	лучше 1 м	9.6 км	-

5) В 1999 г. запущен КА «*Terra*» («Земля»), являющийся составной частью комплексной программы *NASA Earth Observing System* (*EOS*). На его борту, среди прочих систем ДЗЗ, установлен радиометр *ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – усовершенствованный термально-оптический радиометр космического базирования), разработанный специалистами США и Японии [18].

[18] *NASA – National Aeronautics and Space Administration* – Национальное агентство по аэронавтике и исследованию космического пространства (США).

Комплекс *ASTER* состоит из трех подсистем:

– *VNIR* имеет пространственное разрешение 15 м. Работает в видимом и ближнем ИК-диапазонах (длины волн 0.52 – 0.60 мкм; 0.63 – 0.69 мкм и два канала 0.76 – 0.86 мкм, что обеспечивает выполнение стереосъемки);

– *SWIR* имеет пространственное разрешение 30 м. Работает в коротковолновом ИК-диапазоне (длины волн 1.600 – 1.700 мкм; 2.145 – 2.185 мкм; 2.185 – 2.225 мкм; 2.235 – 2.285 мкм; 2.295 – 2.365 мкм и 2.360 – 2.430 мкм;

– *TIR* имеет пространственное разрешение 90 м. Работает в тепловом ИК-диапазоне (длины волн 8.125 – 8.475 мкм; 8.475 – 8.825 мкм; 8.925 – 9.275 мкм; 10.25 – 10.95 мкм и 10.95 – 11.65 мкм).

Ширина полосы обзора (съемки) составляет 60 км [26].

Стоимость снимка размером 60 × 60 кв. км с пространственным разрешением в пределах от 15 до 90 м составляет 60 долларов США.

Получаемые данные используются для исследования параметров цветовых и температурных полей морских акваторий.

6) В этом же, 1999 г., был запущен КА детального наблюдения земной поверхности «*Ikonos*», обеспечивающий съемку поверхности в панхроматическом (длины волн 0.445 – 0.90 мкм, пространственное разрешение 1 м) и мультиспектральном (длины волн 0.45 – 0.52 мкм – голубой; 0.52 – 0.61 мкм – зеленый; 0.64 – 0.72 мкм – красный и 0.77 – 0.88 мкм – ближний ИК). Ширина полосы обзора (съемки) составляет 11 км [26].

Выполнения заказа занимает до 30 суток, минимальная площадь заказа: 49 кв. км при заказе из архива данных, 100 кв. км при заказе съемки. Стоимость составляет 100 грн/км^2 при заказе из архива и 125 грн/км^2 при заказе съемки.

Использование в интересах оперативной океанографии и задач контроля состояния морских экосистем ограничено.

7) В 1999 г. так же был запущен океанографический КА «Океан-О», оснащенный многофункциональным комплексом оптической и радиофизической аппаратуры ДЗЗ. Для нас он интересен прежде всего тем, что это один из КА, создававшихся для океанографической подсистемы «Океан» создававшейся в СССР эксплуатационной космической системы изучения природных ресурсов Земли «Ресурс». Его запуск по различным причинам неоднократно переносился и в конечном итоге пришелся на период высокой активности Солнца, что привело к сбоям в работе системы успокоения, ориентации и стабилизации (СУОС) КА и к необходимости поиска неординарных способов поддержания работоспособности СУОС. Время активного существования КА превысило его гарантийный ресурс и только отсутствие у Украины и России необходимых финансовых средств заставило прекратить работы с ним.

Данные об информационных характеристиках «оптического» комплекса аппаратуры ДЗЗ КА «Океан-О» приведены в табл. 2.

Обратим внимание, что это был первый отечественный океанографический КА, на борту которого был установлен сканер, работающий в тепловом ИК-диапазоне. Это создавало возможность, если не конкурировать, то, по крайней мере, дополнять и уточнять данные, получаемые с помощью сканера *AVHRR*, работающего на борту КА *NOAA*.

Таблица 2. Информационные характеристики аппаратуры ДЗЗ КА «Океан-О» (оптический блок) [27]

Наименование аппаратуры ДЗЗ	Спектральные диапазоны, мкм	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы обзора, км	Примечания
Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения (МСУ-В).	0.45 – 0.52 0.52 – 0.62 0.62 – 0.74 0.76 – 0.90 0.90 – 1.10 1.55 – 1.75 2.10 – 2.35 10.3 – 12.6	50 50 50 50 50 100 300 250	200	
Многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения с конической разверткой (МСУ-СК).	0.5 – 0.6 0.6 – 0.7 0.7 – 0.8 0.8 – 1.1 10.4 – 12.6	160 160 160 160 600	600	
Многоканальное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-М).	0.5 – 0.6 0.6 – 0.7 0.7 – 0.8 0.8 – 1.1	1500 × 1800	1900	Аналогичное используемому на КА «Метеор», «Океан», «Січ-1»
Трассовый поляризационный спектрометр «Трассер»	62 спектральных канала в диапазоне от 0.411 мкм до 0.809 мкм		45	Зондирование в надир

8) В 2001 г. был запущен КА оптического наблюдения «*QuickBird*» [26]. Съемочная аппаратура имеет пространственное разрешение 61 см в панхроматическом режиме (длины волн 0.445 – 0.90 мкм) и 2.44 м в мультиспектральном режиме (длины волн: 0.45 – 0.52 мкм – голубой; 0.52 – 0.60 мкм – зеленый; 0.63 – 0.69 мкм – красный и 0.76-0.90 мкм – ближний ИК) при съемке в надир. Размер кадра – 16.5 × 16.5 км.

Время выполнения заказа составляет от 7 до 14 дней при заказе данных из архива и от 7 до 90 дней при заказе непосредственно съемки. Стоимость заказа составляет 156 грн/км^2 при заказе панхроматической съемки (минимальный заказ 65 км^2), 186 грн/км^2 при совместном заказе панхроматической и мультиспектральной съемки (минимальный заказ 65 км^2), при заказе из архива стоимость снимков составляет 136 грн/км^2 для панхроматической съемки (минимальный заказ 25 км^2) и 165 грн/км^2 для совместного заказа панхроматической и мультиспектральной съемки (минимальный заказ 25 км^2). Очевидно, данные этого КА не могут использоваться в оперативных целях.

9) В 2001 г. Россией запущен метеорологический КА «Метеор-3М № 1», оснащенный многофункциональным комплексом зондирующей аппаратуры [27]. Оптический комплекс ДЗЗ представлен тремя сканерами, данные об основных информационных характеристиках которых приведены в табл. 3.

Таблица 3. Основные информационные характеристики аппаратуры ДЗЗ КА «Метеор-3 № 1» (оптический блок) [27, 28]

Наименование аппаратуры ДЗЗ	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы захвата, км	Ширина полосы обзора, км
МСУ-Э	0.5 – 0.6; 0.6 – 0.7; 0.8 – 0.9	32	в надире 76, на краю полосы обзора 118	1324
МСУ-СМ	0.55 – 0.70; 0.70 – 0.90	по строке 544; по кадру 132	2240	2240
ИК-сканер (Климат)	10.5 – 12.5	1.7	3100	3100

На борту КА также установлен интересный комплекс радиофизической аппаратуры ДЗЗ – микроволновый сканирующий радиометр интегрального влажностного зондирования атмосферы (МИВЗА) и микроволновый сканирующий радиометр температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА). Их информационные характеристики мы рассмотрим далее.

10) В 2002 г. запущен КА «*Aqua*» («Вода») – следующий КА комплексной программы *NASA EOS*. Одним из шести установленных на его борту научных инструментов является спектрорадиометр *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Он имеет 36 спектральных каналов, работающих в видимом, ближнем, среднем и дальнем ИК-диапазонах. Пространственное разрешение изменяется, в зависимости от спектрального диапазона, от 250 до 1 000 м, ширина полосы обзора составляет около 2 300 км [26]. Информация используется для исследования цветовых и температурных полей морских акваторий.

11) В этом же, 2002 г., Европейским космическим агентством (*ESA*) был запущен КА ДЗЗ «*Envisat*» [29, 30]. Одним из элементов ДЗЗ является спектрометр *MERIS* (*Medium Resolution Imaging Spectrometer* – обзорный спектрометр среднего разрешения) обеспечивающий выполнение съемок в 15 каналах, работающих в видимом и ИК-диапазонах. Ширина полосы обзора (съемки) составляет 1150 км, пространственное разрешение составляет: в режиме полного разрешения (*Full Resolution – FR*) – около 300 м, в режиме ухудшенного разрешения (*Reduced Resolution – RR*) – около 1.2 км [19].

На борту КА «*Envisat*» так же установлен усовершенствованный радиометр *AATSR* [20] (*Advanced Along-Track Scanning Radiometer*) [31, 32], обеспечивающий проведение измерений в 7 диапазонах – от видимого до теплового ИК-диапазона [21]. Пространственное разрешение во всех каналах радиометра – около 1 км, ширина полосы обзора (съемки) – около 500 км.

---

[19] Спектральные диапазоны (в мкм): 412.5 ± 10; 442.5 ± 10; 490 ± 10; 510 ± 10; 560 ± 10; 620± 10; 665± 10; 681.25 ± 7.5; 708.75 ± 10; 753.75 ± 7.5; 760.625 ± 3.75; 778.75 ± 15; 865 ± 20; 885 ± 10; 900 ± 10.

[20] Предшествующие модификации радиометра работали на борту КА *ERS-1* (*ATSR-1*) и *ERS-2* (*ATSR-2*).

[21] Длины волн: 550 нм (полоса пропускания 20 нм); 659 нм (полоса пропускания 20 нм); 865 нм (полоса пропускания 20 нм); 1610 нм (полоса пропускания 300 нм); 3.70 мкм (от 3.55 до 3.85 мкм); 10.85 мкм (от 10.35 до 11.35 мкм); 12.00 мкм (от 11.50 до12.50 мкм).

12) В 2006 г. в России запущен КА оптического наблюдения «Ресурс-ДК1» [33]. В отличие от существовавших ранее аналогичных российских КА, передача получаемых изображений осуществляется по радиоканалу, а не сбросом капсул с фотопленкой или посадкой спускаемого аппарата. Съемка ведется в одном панхроматическом (длины волн 0.58 – 0.80 мкм) и трех мультиспектральных (длины волн 0.5 – 0.6; 0.6 – 0.7 и 0.7 – 0.8 мкм) диапазонах. Пространственное разрешение составляет не хуже 1 м в панхроматическом канале и от 2 до 3 м в мультиспектральных каналах. Полоса обзора составляет 448 км при полосе захвата (в надире) от 4.7 до 28.3 км. Оперативность получения информации, как показывает опыт съемок района Керченского пролива во время осеннего шторма 2007 г., пока недостаточна для ее использования как в экстремальных ситуациях, так и в интересах оперативной океанографии.

13) В 2005 г. запущен российский КА «Монитор-Э» [26]. Спутник ведет панхроматическую (спектральный диапазон 0.536 – 0.843 мкм; пространственное разрешение 8 м; полоса обзора 96 км) и мультиспектральную (спектральные диапазоны 0.528 – 0.585 мкм – зеленый, 0.626 – 0.672 мкм – красный, 0.783 – 0.883 мкм – ближний ИК; пространственное разрешение 20 м, полоса обзора 160 км) съемку земной поверхности. КА разработан в негерметичном исполнении, по модульному принципу, что позволяет при необходимости расширять его возможности.

14) В 2006 г. запущен израильский КА «*EROS-B*[22]» [34, 35]. Он ведет съемку поверхности в полосе наблюдения, имеющей ширину 7 км с пространственным разрешением около 1 м. Спектральный диапазон: 0.5 – 0.9 мкм. Это уже второй КА из одноименной серии. Всего предполагается запустить три таких КА.

15) В 2006 г. запущен японский КА ДЗЗ «*ALOS*» *(Advanced Land Observation Satellite).* Он оснащен аппаратурой радиолокационного и оптического наблюдения: РСА *PALSAR – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*; картографическая стереокамера *PRISM – Panchromatic Remote-sensing Instruments for Stereo Mapping* и мультиспектральная камера *AVNIR-2 – Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2,* которая ранее устанавливалась на КА *ADEOS*). Данные о параметрах съемочной аппаратуры КА *ALOS* приведены в табл. 4.

16) В 2007 г. запущен египетский спутник «*Egyptsat-1*», разработанный изготовленный по заказу Египта специалистами Украины. Спутник оснащен сканером оптического диапазона МСУ-8 и сканером ИК-диапазона ССИК [38, 39].

Сканер МСУ-8 ведет мультиспектральную съемку в трех диапазонах (длины волн 0.50 – 0.59; 0.61 – 0.68 и 0.79 – 0.89 мкм) и панхроматическую съемку в спектральном диапазоне 0.50 – 0.89 мкм. Максимальное пространственное разрешение МСУ-8 на местности – 7.8 м, ширина полосы захвата – 46.6 км.

ССИК – трассовый сканер, работающий в спектральном диапазоне 1.55 – 1.7 мкм. Аппаратура создана государственным научно-исследовательским предприятием «КОНЕКС» совместно с Центральным конструкторским бюро «Арсенал» и Национальным университетом «Львовская Политехника» [40].

---

[22] *EROS – Earth Resources Observation Systems* – Система изучения ресурсов Земли.

Таблица 4. Характеристики съемочной аппаратуры КА *ALOS* [36, 37]

Наименование	Съемочная аппаратура		
	PRISM	*AVNIR-2*	*PALSAR*
Спектральный диапазон, мкм	0.52 – 0.77	голубой: 0.42 – 0.50 зеленый: 0.52 – 0.60 красный: 0.61 – 0.69 ближний ИК: 0.76 – 0.89	1.27 ГГц (23.6 см)
Пространственное разрешение, м	2.5	10	(*High Resolution*) 10; (*SCAN SAR*) 100
Ширина полосы съемки, км	70 (при зондировании только в надир); 35 (при съемке тремя камерами: вперед, назад, в надир)	70	(*High Resolution*) 70; (*SCAN SAR*) 350
Радиометрическое разрешение	8 бит на пиксел	8 бит на пиксел	5 бит на пиксел

В заключение раздела кратко остановимся на основных направлениях и перспективах развития оптических спутниковых средств ДЗЗ. Прежде всего отметим, что, пожалуй с самого появления спутниковых оптических средств наблюдения земной поверхности, четко проявилась тенденция к увеличению их пространственного разрешения. Сохраняется эта тенденция и в настоящее время. Так, например, как отмечено в [41], с 1999 г. мировым лидерами в области распространения снимков сверхвысокого разрешения после запуска трех КА *QuickBird*, *Ikonos* и *OrbView-3* стали американские компании. Другие страны располагают средствами, имеющими худшие характеристики по пространственному разрешению: *EROS-A* (Израиль, разрешение 1 - 1.8 м), *SPOT-5* (Франция, разрешение около 2.5 м) и *Formosat-2* (Тайвань, разрешение 2 м), *EROS-B* (Израиль, разрешение около 0.7 м), «Ресурс-ДК» (Россия, разрешение около 1 м), *Cartosat-2* (Индия, разрешение около 1 м) и *Kompsat-2* (Корея, разрешение около 1 м).

За прошедшие с момента опубликования обзора [41] годы был сделан следующий шаг в направлении повышения пространственного разрешения КА оптического наблюдения – было разработано поколение КА, пространственное разрешение которых достигло полуметра.

В табл. 5 приведены общие сведения о разработанных и разрабатывающихся КА, обеспечивающих получение снимком земной поверхности со сверхвысоким пространственным разрешением.

В качестве иллюстрации возможностей съемочных систем высокого и сверхвысокого разрешения на рис. 1 приведем снимок центральной части Киева – *майдана Незалежности*. Пространственное разрешение исходного снимка – около 75 см [50].

Таблица 5. КА, обеспечивающие получение снимков
с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением

Наименование КА, источник информации	Страна	Дата запуска	Пространственное разрешение, м		Ширина полосы съемки, км
			PAN	*MS*	
1. *IKONOS-2* [42]	США	1999	1.0	4	11
2. *EROS-A* [42]	Израиль	2000	1.8	*	14
3 .*QUICKBIRD-2* [42]	США	2001	0.6	2.4	16
4. *ORBVIEW-3* [42]	США	2003	1.0	4	8
5. *FORMOSAT-2* [42]	Тайвань	2004	2.0	8	24
6. *EROS-B* [42]	Израиль	2006	0.7	*	7
7. *KOMPSAT-2* [42]	Корея	2006	1.0	4	15
8.«БелКА» [42, 43]	Белоруссия, Россия	2006, авария	2.0	10	20
9. Монитор-Э [26]	Россия	2005	8.0	20.0	96 (*PAN*) и 160 (*MS*)
10.*«Ресурс-ДК1»* [42]	Россия	2006	1.0	3	28
11. *IRS Cartosat-2* [42]	Индия	2007	1.0	*	10
12. *WorldView-1*[42]	США	2007	**0.5**	*	**16**
13.*OFEQ-7* [44]	Израиль	2007	лучше **0.5**	*	*
14. *CBERS-2B* (*ZY-1B 2*) [45, 46]	Китай, Бразилия	2007			
HRCC (1PAN + 4MS)			20	20	113
IRMSS (1 PAN)			2.5	–	27
WFI (2 MS)				260	890
15. *OrbView-5 (GeoEye)* [42]	США	06.09.2008	**0.41**	**1.64**	**15**
16. *EROS-C* [42]	Израиль	2008	0.7	2.5	16
17. *Pleiades-1* [42]	Франция	2008.	0.7	2.8	20
18. *WorldView-2* [42]	США	2008	**0.5**	**1.8**	**16**
19. *Pleiades-2* [42]	Франция	2008	0.7	2.8	20
20. Січ-2 [47, 48],	Украина				
МСУ;				7.8	46.5
ССИК			40		46.5
21. Січ-2М-О [48]	Украина		**~ 2**		22.5
				5.7	34.1
21. Січ-3-О источник [48]	Украина		~ **0.6**	**2.4**	-
22. Ресурс-П [49]	Россия	2020-2011			
1. *PAN* + *MS* каналы;			**0.5** – 1.0	**2.0** – 4.0	**50**
2. *MS* + ИК;				10 – 50	100 – 200
3. ИК;				20 – 50	100 – 200
4. гиперспектрометр.				30 – 50	30 – 50

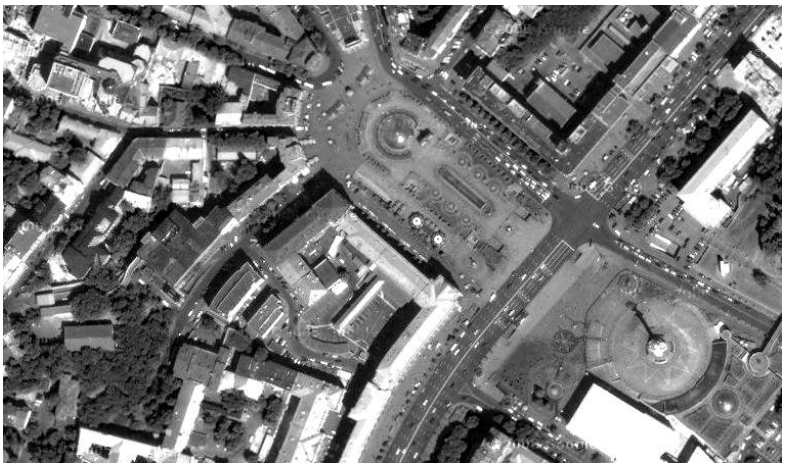

Рис. 1. Центральная часть Киева – майдан Незалежности.
(http://maps.vlasenko.net/satellite/kiev-space-0.75mpp/index.html)

Радиолокационные системы мониторинга земной поверхности. Первые радиолокационные системы (РЛ-) спутникового мониторинга земной (морской) поверхности появились в начале в 60-х – 70-х годах прошлого столетия. Основополагающие для их развития результаты в области морской радиолокации получены в те годы учеными СССР, США, Франции, Великобритании и других стран (см., например, [51 – 55]). Отрадно, что ведущая роль в этих исследованиях принадлежит украинским ученым – представителям харьковской школы радиофизиков. Своеобразным прорывом стало установление в те годы резонансного механизма рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью и разработка, на этой основе, двухмасштабной электродинамической модели морской поверхности [52, 54]. Заметим, что работы в области изучения особенностей формирования РЛ-сигналов с целью улучшения точности определения океанографических параметров морской поверхности и приводной атмосферы с помощью спутниковых средств ДЗЗ, успешно ведутся представителями украинской науки и в настоящее время (см., например, [56, 57]).

РЛ-системы спутникового мониторинга морских акваторий, с момента своего появления, развивались в трех направлениях:

– радиолокационные альтиметры, предназначенные определения реальной топографии морской поверхности, оценки ее шероховатости в области энергонесущих гравитационных волн и оценки скорости ветра, воздействующего на морскую поверхность. Пространственное разрешение спутниковых альтиметров изменяется в пределах от 1 км до 10 км в зависимости от интенсивности волнения;

– радиолокационные скаттерометры, предназначенные для оценки шероховатости морской поверхности в области гравитационно-капиллярных (мелкомасштабных) морских волн и определения, на этой основе, параметров поля ветра, воздействующего на морскую поверхность. Пространственное разрешение скаттерометров составляет от 10 до 60 км (в зависимости от конструктивных особенностей прибора);

– радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО), предназначенные для получения изображений подстилающей поверхности с разной

степенью детализации. Типичное пространственное разрешение РЛС БО при использовании реальной апертуры приемной антенны составляет около 1 км, а при синтезировании апертуры приемной антенны приближается к пространственному разрешению оптических систем мониторинга. В последние годы появились многофункциональные спутниковые РЛС БО с синтезированием апертуры приемной антенны, пространственнее разрешение которых может изменяться от нескольких сотен метров до нескольких метров в зависимости от решаемой задачи.

Технические и информационные характеристики спутниковых РЛ-систем дистанционного зондирования морских акваторий, работавших и работающих в настоящее время в космосе, как средств получения океанографической информации рассмотрены во многочисленных статьях, тематических обзорах трудов и монографиях, таких, например, как [13, 14, 20, 21, 58 – 60]. Поэтому здесь мы ограничимся лишь перечислением КА, оснащенных РЛ-системами ДЗЗ.

1) Пожалуй первым практическим использованием РЛ-средств для наблюдения морских акваторий из космоса стала морская система разведки и целеуказания «Легенда» [14, 15]. Обратим внимание на то, что разработка РЛС БО велась, по сути, одновременно с выполнением научно-исследовательских работ в области радиолокации морской поверхности.

2) Первым космическим океанографическим экспериментом, направленным на изучение возможностей РЛ-наблюдения морской поверхности из космоса, следует считать эксперимент *S-193*, проведенный на борту орбитальной космической станции (ОКС) «*Skylab*» [11]. В ходе эксперимента отработаны принципы построения спутниковых альтиметров и скаттерометров.

3) Мы уже упоминали, что в 1978 г. в США был запущен первый радиолокационный океанографический КА «*Seasat*» [16, 61]. На его борту был размещен многофункциональный комплекс, включающий в себя: микроволновый сканирующий радиометр *SMMR* (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*), радиолокационную станцию бокового обзора с синтезированием апертуры приемной антенны *SAR* (*Synthetic Aperture Radar*), радиолокационный альтиметр *ALT* (*Radar Altimeter*), скаттерометр *SASS* (*Seasat-A Scatterometer System*), радиометр видимого и ИК-диапазонов *VIRR* (*Visible and Infrared Radiometer*) и лазерный рефректор (*Laser Tracking Reflector*). И хотя спутник проработал на орбите всего несколько месяцев, был получен обширный экспериментальный материал, интерес к которому не угас и до настоящего времени.

4) В 1983 г. был запущен первый отечественный океанографический КА РЛ-наблюдения «Космос-1500» [59, 60, 62]. КА был оснащен:

– радиолокационной станцией бокового обзора с реальной апертурой приемной антенны, работающей в сантиметровом диапазоне радиоволн (РЛС БО);

– сканирующим радиометром работающим в 8-миллиметровом диапазоне радиоволн (РМ08);

– специальным процессором бортовой обработки сигнала, управления и синхронизации (БОС);

– радиотелевизионным комплексом (РТВК) в составе многозонального сканирующего оптико-механического устройства малого разрешения

(МСУ-М) и радиопередающего комплекса, работающего в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн;

– трассовым СВЧ-радиометрическим комплексом;

– системой «Кондор» для сбора данных с буйковых станций и их передачи в центры приема информации;

– блоком управления комплексом аппаратуры ДЗЗ (БУК-ИА).

Инициатива разработки спутниковой РЛС БО и установки ее на борту отечественного океанографического КА принадлежала А.И. Калмыкову. Базой для нее стали результаты более чем 35-летних исследований основных закономерностей рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью, позволивших создать электродинамическую модель поверхности [23] и разработать физические основы РЛ-зондирования земной поверхности.

За основу для создания РЛС БО были взяты разработки ИРЭ АН Украины в области создания радиоокеанографических РЛ-систем и разработки МГИ АН Украины в области создания автоматизированных систем обработки океанографической информации. В работах участвовал и ряд проектных, конструкторских и производственных организаций СССР и Украины.

Несмотря на многие организационные, технические и технологические проблемы РЛС БО была создана и до последних лет являлась неотъемлемым элементом бортовых комплексов ДЗЗ океанографических КА.

5) В 1985 г. в опытную эксплуатацию принята отечественная оперативная океанографическая космическая система (КС) «Океан» (см., например [21]).

6) В последующие годы в разных странах мира запускались КА, оснащенные системами РЛ-мониторинга земной поверхности [24]:

– альтиметрические «*GeoSat»,* «Гео-ИК», «*ERS-1,-2*», «*TOPEX/Poseidon*»*;* модуль «Природа» долговременной орбитальной космической станции «Мир»; «*GFO-1*», «*Jason-1,-2*», «*Envisat*»*;*

– скаттерометрические «*ERS-1,-2*», «*ADEOS-I, -II*», «*QuikSCAT*», «*MetOp-1»;*

– КА обзорного РЛ-наблюдения «УС-А», «Космос-1151», «Космос-1500, -1602, -1766, -1869», «Океан-1, -2, -3, -4», «Січ-1», «Океан-О», «Січ-1М»;

– КА детального РЛ-наблюдения «*Shuttle* (*SIR-A, -B -C/X-SAR*)», «Космос-1689 (Траверс)», «Космос-1870», «Алмаз-1», «*Lacrosse-1,-2,-3,-4,-5*», «*ERS-1,-2*», «*JERS-1*», «*RADARSAT-1,-2*», модуль «Природа» (Траверс-1П), «*EnviSat (ASAR)*», «*Terra-SAR-X*», «*SAR-Lupe 1, 2, 3, 4*», «*COSMO-Skymed 1, 2*», «*YAOGAN-1, -2, -3*», «*ALOS*», «*IGS Radar-2*», «*TecSAR (Polaris)*».

---

[23] Ее разработка отмечена дипломом Общества американских радиоинженеров.

[24] *ADEOS – Advanced Earth Observation Satellite;*
COSMO-SKYMED Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation – Созвездие малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном (Италия);
Envisat – Environment Satellite;
ERS – European Remote Sensing Satellite;
IGR – Intelligence Gathering Satellite;
GFO – Geosat Follow On;
JERS – Japanese Earth Resources Satellite (Япония);
MetOp – Meteorological Operational Satellite;
TOPEX – The Ocean Topography Experiment;
QuickScat –Quick Scatterometer.

В табл. 6 приведены обобщенные данные о запусках КА РЛ-мониторинга, произведенных в последние годы.

Таблица 6. Запуски КА РЛ-мониторига, произведенные в последние годы

Наименование КА	Год запуска	Страны (организации), которым принадлежит КА	Целевое назначение КА
1. Січ-1М	2004	Украина, Россия	Дистанционное зондирование
2. *Lacrosse-5*	2005	США	Радиолокационная разведка
3. *ALOS*	2006	Япония	Дистанционное зондирование, картографирование
4. *YAOGAN-1*	2006	Китай	Разведка
5. *MetOp-1*	2006	*NOAA, EUROMETSAT ESA* [23]	Метеорологический
6. *SAR-Lupe -1, -2*	2006	Германия	Разведка
7. *YAOGAN-2,-3*	2007	Китай	Детальное наблюдение
8. *IGS Radar -2*	2007	Япония	Детальное наблюдение
9. *SAR-Lupe -3*	2007	Германия	Разведка
10. *Terra-SAR-X*	2007	Германия	Разведка
11. *COSMO-Skymed -1, -2*	2007	Италия	Детальное наблюдение
12. *RADARSAT -2*	2007	Канада	Дистанционное зондирование
13. *TecSAR (Polaris)*	2008	Израиль	Детальное наблюдение
14. *SAR-Lupe -4*	2008	Германия	Разведка
15. *Jason-2/OSTM* [25]	2008	*NASA, CNES, NOAA, EUROMETSAT* [23]	Топография акватории Мирового океана

Радиометрические комплексы сверхвысокочастотного диапазона. Радиометрические комплексы, работающие в СВЧ-диапазоне радиоволн, так же как и РЛ-системы, позволяют наблюдать подстилающую поверхность независимо от условий ее освещенности и присутствия облачности, степень влияния оторой снижается с увеличением длины волны.

Однако, СВЧ-радиометрическим комплексам присущ и ряд недостатков:

– во-первых, разрешающая способность спутниковых СВЧ-радиометрических комплексов довольно низка и составляет десятки километров, что ограничивает сферу возможного их применения в области морских наук и технологий и особенно – в сфере океанографии прибрежных областей;

– во-вторых, излучательная способность морской воды в СВЧ-диапазоне далека от единицы, что приводит к возрастанию влияния (в сравнении с систе-

[25] *ESA – European Space Agency* – Европейское космическое агентство;

CNES – Centre National d''Etudes Spatiales, or National Space Study Center – Космическое агентство Франции;

EUMETSAT – European Meteorological Satellite organization – Европейская организация по использованию метеорологических спутников.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration – Национальное управление по освоению океана и атмосферы (США);

OSTM – Ocean Surface Topography Mission – Миссия по изучению топографии поверхности океана.

мами ИК-диапазона) на результат измерения температуры поверхности моря ряда других факторов, таких как: присутствие на поверхности пены, неоднородность солености и т.д. Это, с одной стороны, ведет к увеличению погрешности измерения температуры, но, с другой стороны, создает возможность дистанционного измерения, например, характеристик полей солености - важного параметра, характеризующего состояние морских акваторий.

Кратко рассмотрим современное состояние и основные направления развития спутниковых радиометрических систем ДЗЗ, работающих в СВЧ-диапазоне, развивая, по возможности, информацию, содержащуюся в обзоре [9].

1) Первые шаги в области использования радиометрических систем, работающих в СВЧ-диапазоне, для мониторинга земной поверхности были предприняты в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия (см., например [8, 9, 63]). В 1968 г. и в 1970 г. на борту КА «Космос-243» и «Космос-384» [26] соответственно были запущены радиометрические комплексы ДЗЗ, представлявшие собой многочастотный трассовый радиометрический комплекс, работающий на длинах волн 0.8; 1.35; 3.4 и 8.5 см. Флуктуационная чувствительность радиометров составляла около 1 К при постоянной времени 1 с. Зондирование велось «в надир».

2) Важным шагом развитии спутниковых радиометрических систем ДЗЗ стало создание и запуск ИСЗ *NIMBUS-5* (1972 г.). Помимо штатной метеорологической аппаратуры на борту КА были установлены два радиофизических комплекса:

– панорамный сканирующий радиотепловой комплекс *ESMR* (*Electrically Scanning Microwave Radiometer*), работающий на частоте 19.35 ГГц (длина волны 1.55 см) с полосой обзора 3000 км и мгновенным пространственным разрешением 29 км при флуктуационной чувствительности 1.5 К. Сканирование осуществлялось поперек трассы движения аппарата при помощи электронной фазированной решетки;

– 5-канальный радиотепловой зондировщик *NEMS* (*Nimbus E Microwave Spectrometer*), измерявший интенсивность излучения подстилающей поверхности на частотах 22.23; 31.65; 52.86; 53.84 и 55.44 ГГц (длины волн, соответственно 1.35; 0.95; 0.57; 0.56 и 0.54 см). Два длинноволновых канала были предназначены для отработки зондирования по двухчастотной методике, а три коротковолновых канала расположены в области 5-мм кислородной линии поглощения.

3) В 1975 г. был запущен следующий КА этой серии – *Nimbus-6*. На его борту были установлены:

– комплекс *ESMR* (*Electrically Scanning Microwave Radiometer*), работающий на частоте 37 ГГц (длина волны 0.8 см);

– 5-канальный сканирующий зондировщик *SCAMS (Scanning Microwave Spectrometer)*, измерявший интенсивность излучения подстилающей поверх-

[26] КА «Космос-243» и «Космос-384» не были специализированными океанографическими. Это были спутники фотонаблюдения типа «Зенит» (см., например, [2]), спускаемый аппарат которых после выполнения полетного задания возвращался на Землю. При возврате КА «Космос-243» спускаемый аппарат отклонился от траектории спуска, опустился на поверхность Аральского моря, проплавил лед и затонул. Его поиск и подъем осуществлен силами поисково-спасательной службы Черноморского флота [64].

ности на частотах 22.24; 31.40; 53.65; 54.90 и 58.80 ГГц (длины волн, соответственно 1.35; 0.96; 0.56; 0.55 и 0.51 см).

4) В 1978 г. был запущен уже упоминавшийся нами океанографический КА «*SeaSat*». Кроме РЛ-систем на его борту был установлен двухполяризационный сканирующий радиометр *SMMR* (*Scanning Microwave Multichannel Radiometer*), работавший на частотах 6.6; 10.7; 18; 21 и 37 ГГц (длины волн, соответственно: 4.54; 2.8; 1.66; 1.42 и 0.8 см). Сканирование осуществлялось под углом 42° к надиру (коническое сканирование), размер элемента разрешения изменялся от 22 км на волне 0.8 см до 100 км на волне 4.54 см. Прибор с аналогичными характеристиками был запущен в том же 1978 г. на борту, так же уже упоминавшегося нами КА *Nimbus-7* [16].

5) В 1979 г. был запущен первый отечественный океанографический КА «Космос-1076» (см., например, [2, 13, 19, 20]). Одним из элементов его комплекса ДЗЗ являлся радиометрический комплекс «Радон» [27]в составе:

– трассового сверхвысокочастотного спектрометра, имевшего рабочие длины волн 0.8; 1.35; 3.2 и 8.5 см. Пространственное разрешение радиометров изменялось в пределах от 18 км на волне 0.8 см до 85 км на волне 8.5 см. В спектрометре применены рупорные антенны, что обеспечило минимальный уровень боковых лепестков. Зондирование осуществлялось «в надир».

– поляриметра, имевшего рабочую длину волны 3.2 см. Диаграмма направленности поляриметра отклонена на угол 56° от надира по направлению полета КА. В поляриметре использована зеркальная антенна.

В последующем комплекс «Радон» в полном составе и раздельно неоднократно работал в составе отечественных океанографических КА.

6) В течение многих лет в космосе используется атмосферный зондировщик *AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit)*, состоящий из модулей: *AMSU-A1* (13 частотных каналов в диапазоне от 23.8 до 57.3 ГГц) и *AMSU-A2* (два частотных канала на частотах 57.3 ГГц и 89.0 ГГц) и *AMSU-B* (5 частотных каналов в диапазоне от 89 до 183 ГГц). Пространственное разрешение (в надире) составляет 45 км для радиометров модулей *AMSU-A* и 15 км для радиометров модуля *AMSU-B* [65].

7) На борту КА *AQUA* и *ADEOS-2* установлен усовершенствованный 8-канальный радиометр *AMSR (Advanced Mechanically Scanned Radiometer)*. Его основные характеристики приведены в табл. 7 [66].

8) На борту индийского КА *IRS-P4 (Oceansat-1)* установлен радиометрический комплекс *MSMR (Multi-frequency Scanning Microwave Radiometer*), измерительные каналы которого работают на частотах 6.6 ; 10.6; 18 ГГц и 21 ГГц (длины волн и размеры элемента разрешения, соответственно, 4.55; 2.83; 1.67 и 1.43 см и 120; 75; 45 и 40 км). Ширина полосы обзора сканера составляет 1360 км.

9) В 1996 г. к орбитальной космической станции «Мир» был пристыкован исследовательский модуль «Природа», оснащенный многофункциональным комплексом аппаратуры ДЗЗ, в том числе – радиометрическим комплексом «ИКАР-Дельта», основные характеристики которого приведены в табл. 8. [68].

---

[27] Отметим, что спектрометр комплекса «Радон» ранее уже работал в космосе на борту КА «Космос-243» и «Космос-384».

Таблица 7. Основные характеристики сканирующего радиометра AMSR

Параметры	Прибор (сканер)	
	AMSR-E (Aqua)	*AMSR (ADEOS-II)*
Частотный диапазон, ГГц (длина волны, см)	6.9 (4.35); 10.7 (2.8); 18.7 (1.6); 23.8 (1.26); 36.5 (0.82); 89.0 (0.34)	6.9 (4.35); 10.65 (2.82); 18.7 (1.60); 23.8 (1.26); 36.5 (0.82); 89.0 (0.60); 50.3 (0.57); 52.8 (0.34)
Размер элемента разрешения, км	74 × 43 (6.9 ГГц); 14 × 8 (36.5 Ггц); 6 × 4 (89.0 ГГц).	74 × 43 (6.9 ГГц); 14 × 8 (36.5 ГГц); 6 × 4 (89.0 Ггц)
Ширина полосы обзора, км	1445	1445

Таблица 8. Основные характеристики радиометрического комплекса «ИКАР-Дельта» модуля «Природа»

Наименование прибора	Длина волны, см	Пространственное разрешение, км	Ширина полосы обзора, км	Примечания
1. Трассовый радиометрический комплекс «Икар-Н»:				
Р-30;	0.3;	60;	60;	Зондирование «в надир», высота полета 400 км
Р-80;	0.8;	60;	60;	
Р-135;	1.35;	60;	60;	
Р-225П;	2.25;	60;	60;	
Р-600	6.0	60	60	
2. Сканирующий радиометрический комплекс «Икар-Дельта»:				
Р-30;	0.3;	5;	400;	высота полета 400 км
Р-80;	0.8;	8;	400;	
Р-135;	1.35;	15;	400;	
Р-400	4.0	60	400	
3. Панорамный радиометрический комплекс «Икар-П»:				высота полета 400 км
Р-225П;		75;	750;	
Р-600		75	750	

Модуль был запущен с целью всестороннего изучения Земли из космоса, включая проблемы глобальных изменений на планете в области климатологии, океанографии и экологии в рамках одноименной международной программы.

10) 17 июля 1999 г. был запущен океанографический КА «Океан-О», оснащенный многофункциональным комплексом аппаратуры ДЗЗ, рабо-

тающей в видимом, инфракрасном и СВЧ-диапазонах, в том числе – многочастотным радиометрическим комплексом, основные технические характеристики которого приведены в табл. 9 [68].

Таблица 9. Основные характеристики радиометрического комплекса ДЗЗ КА «Океан-О»

Наименование прибора	Длина волны, см	Прстранственное разрешение, км	Ширина полосы обзора, км
1. Трассовый радиометр Р-225	2.25	130	130
2. Трассовый радиометр Р-600	6.0	135	135
3. Сканирующий радиометрический комплекс «Дельта-2П»	0.8; 1.35; 2.25; 4.3	17 × 22; 28 × 37; 49 × 65; 91 × 120	1126

11) Среди спутниковых радиометрических комплексов ДЗЗ следует отметить микроволновый сканирующий радиометр интегрального влажностного зондирования атмосферы (МИВЗА) и микроволновый сканирующий радиометр температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА), устанавливаемые на КА типа «Метеор-3М» [69, 70].

Многоканальный прибор МТВЗА предназначен для применения в качестве инструментария при решении фундаментальных проблем системы «океан-атмосфера». Он обеспечивает зондирование системы «океан-атмосфера» как в окнах прозрачности атмосферы, так и в линиях поглощения кислорода (52 – 57 ГГц) и водяного пара (183 ГГц). В приборе реализовано коническое сканирование, угол визирования (на борту КА) составляет 51.3°, а угол падения (на поверхности, относительно местной вертикали) составляет 65°.

Сканирующий радиометр МИВЗА предназначен для регистрации излучения атмосферы и подстилающей поверхности с целью определения параметров системы «океан-атмосфера-суша», таких как:

– распределение по акватории Мирового океана интегральной влажности атмосферы и водности облаков;

– данные об интенсивности осадков и скорости приводного ветра.

В приборе также реализовано коническое сканирование. Угол визирования составляет 42°, при этом угол падения составляет около 51°.

Основные технические характеристики приборов приведены в табл. 10.

Отметим, что последующем, для КА «Січ-1М», запущенного в 2004 г., комплексы МИВЗА и МТВЗА были объединены и дополнены каналами, работающими в видимом и ИК-диапазонах спектра. Доработанный таким образом комплекс получил название МТВЗА-ОК [71].

Основные технические характеристики прибора МТВЗА-ОК приведены в табл. 11.

Необходимо отметить, что при существующей технологии работ данные, получаемые с помощью российских КА ДЗЗ, малодоступны – даже при выполнении совместных с российскими научными организациями работ в период экспериментальной эксплуатации КА «Океан-О» задержка в получении снимков акватории Черного моря достигала нескольких месяцев (!), а данные радиометрических съемок в СВЧ-диапазоне вообще оказались недоступными.

Это полностью исключает возможность использования информации в интересах оперативной океанографии Черного моря.

Таблица 10. Основные характеристики аппаратуры радиометрического комплекса КА «Метеор-3М»

Наименование аппаратуры	Рабочая частота (ГГц) и поляризация	Пространственное разрешение, км	Ширина полосы обзора, км
1. МТВЗА	18.7 (В, Г); 22.2 (В); 33.0 (В, Г) 36.5 (В, Г) 42 (В, Г) 48 (В, Г) 52 – 57 (В) – пять каналов 91.65 (В, Г) 183.31 (В, Г) – три канала	75 68 45 41 36 32 30 18 12	2600
2. МИВЗА	19.97 (В, Г) 35.0 (В, Г) 93.95 (В, Г)	110 65 25	1700

Таблица 11. Основные характеристики комплекса МТВЗА-ОК КА «Січ-1М»

Параметр	Значение
1. Рабочая частота, ГГц:	
канал 1;	6.9
канал 2;	10.6
канал 3;	18.7
канал 4;	23.8
канал 5;	31.5
канал 6;	36.7
канал 7;	42.0
канал 8;	48.0
канал 9;	52 – 57
канал 10;	89
канал 11.	183.31
2. Ширина полосы обзора, км:	2000
3. Разрешение, км × км:	От 112 × 260 до 8 × 19

Нетрудно видеть, что все рассмотренные нами радиометрические комплексы работают в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн и ориентированы более на определение параметров атмосферы (что, впрочем, тоже весьма важно), чем на определение параметров поля температуры морской поверхности. В последние же годы наблюдается смещение акцентов в сторону разработки спутниковых радиометров, работающих в дециметровом диапазоне радиоволн. Именно с этими радиометрами связаны надежды на возможность решения задачи определения параметров не только температурных полей морской поверхности, но и полей солености вод в приповерхностном

слое. Так, например, в [72, 73] рассмотрены проекты многолучевых космического радиометров: восьмилучевого РК-21-8 и двухлучевого, предназначенных для установки, соответственно, на борт российского сегмента Международной космической станции (запуск ожидается в 2010 г.) и на борт автоматического КА МКА-ПН1 (запуск предполагается в 2008 г.). Основные проектные характеристики радиометра РК-21-8 приведены в табл. 12.

Таблица 12. Основные проектные характеристики РК-21-8 [72, 73]

Наименование параметра	Значение	Примечания
1. Количество лучей	8	
2. Рабочая частота	1410 МГц	Длина волны 21.3 см
3. Пространственное разрешение	около 50 км	в каждом луче
4. Поляризация	линейная	
5. Ширина полосы обзора	около (450 – 500) км	суммарная
6. Флуктуационная чувствительность	около 0.3 К	
7. Диапазон измеряемых температур	от 10 до 320 К	
8. Число градаций:		
при определении солености	до 5;	
при определении влажности	до 10;	
при определении биомассы	до 10	

Предполагается, что результаты работ с использованием разрабатываемых панорамных радиометров позволят оценить эффективность СВЧ-радиометрии L-диапазона для определения влажности почв и биомассы растительности, солености морской воды и пространственных и временных вариаций параметров подстилающей поверхности.

Завершая рассмотрение спутниковых СВЧ-радиометрических систем ДЗЗ, обратим внимание на то, что в последние годы на борту альтиметрических КА стало обязательным присутствие «атмосферных» радиометрических комплексов, с помощью которых определяются метеорологические, а затем – радиофизические, характеристики земной атмосферы. Это позволяет определить реальную скорость распространения радиоволн при зондировании и, таким образом, повысить точность альтиметрических измерений. В качестве примера приведем данные о характеристиках СВЧ-радиометра, устанавливаемого на борту КА типа *ERS* и *Envisat*. Прибор *MWR* (*MicroWave Radiometer*) [74] имеет два измерительных канала, работающих на частотах 23.8 и 36.5 ГГц (длин волн, соответственно, 1.26 и 0.82 см). Размер элемента разрешения на зондируемой поверхности составляет 20 км и, поскольку зондирование ведется «в надир», ширина полосы обзора так же составляет 20 км.

КОМПЛЕКСНЫЙ СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

В настоящее время данные ДЗЗ широко применяются для решения разнообразных прикладных задач, каждая из которых выдвигает свои специфические требования к характеристикам снимков и самих систем ДЗЗ. К их числу относятся, например, обзорность в метеорологии, частота и регуляр-

ность съемки при мониторинге, высокое пространственное и радиометрическое разрешение при решении оборонных задач и т.д. Космические данные обеспечивают возможность:

– изучения природных условий, ресурсов и экологической обстановки в целях оптимального развития отраслей хозяйства в интересах рационального природопользования и ресурсосбережения, охраны природы и развития регионов. Конечный информационный продукт при этом чаще всего имеет картографическую форму представления – топографические, тематические и специальные карты, в т.ч. в цифровом виде;

– изучения динамики развития элементов окружающей среды и экологических ситуаций, систематический оперативный контроль результатов и условий взаимодействия системы «общество-природа». Результат может быть представлен как в картографической форме, так и в виде соответствующим образом обработанных изображений – для обеспечения возможности оперативного принятия решений;

– наблюдения территорий и объектов, предрасположенных к появлению чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий, с целью их предупреждения, наблюдения и оценки последствий, а также оперативного принятия решений по их ликвидации.

При этом следует иметь в виду, что получаемая с помощью спутниковых средств ДЗЗ информация характеризует собой только относительно тонкий слой морской поверхности – шероховатость в области гравитационных и гравитационно-капиллярных волн (РЛ-средства ДЗЗ: скаттерометры, РЛС БО, радиометры, работающие в сантиметровом диапазоне радиоволн); шероховатость в области энергонесущих волн и реальная топография морской поверхности (альтиметры); температура морской поверхности (радиометры, работающие в тепловом инфракрасном диапазоне); цветовые характеристики морской воды (приборы, работающие в видимом диапазоне). Океанологию же интересует не только процессы, протекающие на морской поверхности и вблизи ее, но и, возможно даже в большей степени, процессы, протекающие в толще морских вод. Поэтому необходимо разумное сочетание информации, получаемой с помощью современных спутниковых средств мониторинга морских акваторий, с данными, получаемыми традиционными, контактными способами.

Одним из вариантов такого использования данных является усвоение спутниковой и контактной информации, получаемой при измерениях *in situ* [28], при моделировании динамических и других процессов, происходящих в морской среде.

Информационная система *GEOSS-UA* [29]**.** С начала 80-х годов в МГИ НАН Украины интенсивно разрабатывались принципы построения и основы реализации системы комплексного мониторинга состояния Азово-Черноморского бассейна [75]. Благодаря накопленному опыту и сотрудничеству с причерноморскими странами в настоящее время создана и функционирует в

[28] Наблюдения *in situ* – наблюдения в заданной точке в заданное время (в данной точке в данное время).

[29] *GEOSS* – Global Earth Observation System of Systems. *GEOSS-UA* – украинский сегмент системы *GEOSS*.

режиме времени, близком к реальному, система анализа и прогноза гидрофизических полей. Работа системы обеспечивается усвоением данных, получаемые как с орбитальных космических аппаратов (альтиметрия, скаттерометрия, ИК-радиометрия и др.), так и с помощью традиционных средств и систем гидрометеорологии.

Функционально система состоит из тесно взаимодействующих друг с другом:

– наблюдательной подсистемы;

– прогностической подсистемы;

– подсистемы представления и распространения информации.

Наблюдательная подсистема. Наблюдательная подсистема аккумулирует спутниковые данные и сопутствующую гидрометеорологическую информацию. Она же отвечает за предварительный просмотр и отбраковку данных. Использует данные о топографии поверхности Черного моря, получаемые с помощью альтиметрических спутников *TOPEX/POSEIDON, GeoSat, ERS, Jason, EnviSat;* данные о параметрах поля ветра, получаемые с помощью скаттерометра *QuikScat;* данные о параметрах поля температуры поверхности моря, получаемые с помощью КА серии *NOAA;* данные цветовых сканеров сканеров *SeaWiFS* и *MODIS* [76]. Данные о скорости течений в приповерхностном слое моря, о величине атмосферного давления, о температуре морской воды в приповерхностном слое и в более глубоких слоях получаются с помощью запускаемых в акваторию Черного моря дрифтеров, которые разрабатываются и изготавливаются научно-производственной фирмой (НПФ) «Марлин-Юг» [77]. Данные о скорости течений в глубинных слоях моря и профилей температуры и солености морской воды в отдельных точках акватории Черного моря получаются с помощью буев-профилемеров (*PALACE*-буев), запущенных в ходе реализации программы *NICOP* [30], одним из участников которой является МГИ НАН Украины. Оптические параметры атмосферы, необходимые для разработки региональных алгоритмов обработки и интерпретации информации о цветовых полях морской воды, контролируются с помощью автоматизированного солнечного фотометра производства фирмы *CIMEL*, входящего в международную систему определения параметров атмосферы *AERONET* [31] [78].

Для сбора стандартной гидрометеорологической информации вблизи побережья Южного берега Крыма используется стационарная океанографическая платформа, расположенная вблизи п. Кацивели в точке с координатами 44°23'38" северной широты и 33°59'15" восточной долготы.

Спутниковые снимки акватории Черного, Азовского и ряда других морей, передаваемые с борта КА *NOAA*, принимаются и обрабатываются непосредственно в институте. Прием осуществляется с помощью станции приема спутниковой информации [32], работающей в частотном диапазоне 1.7 ГГц. Станция работает в полуавтоматическом режиме по программе, составляемой оператором на произвольный период времени.

---

[30] Наблюдение Черного моря профилирующими буями – проект европейского офиса морских исследований США.

[31] *AERONET – AErosol RObotic NETwork.*

[32] По сути – макет приемной станции, жестко (аппаратно) ориентированный на структуру информационного потока, передаваемого с борта КА *NOAA* в режиме *HRPT.*

Обработка информации осуществляется с использованием специального автоматизированного комплекса программно-технических средств при минимальном участии оператора.

Прогностическая подсистема. Прогностическая подсистема включает в себя взаимосвязанные подсистемы прогноза ветра, прогноза волнения, моделирования циркуляции вод Черного моря, моделирования динамики моря в прибрежных районах и подсистему наблюдений и экологического моделирования.

Подсистема прогноза атмосферной циркуляции над акваторией Черного моря в своей работе использует результаты глобального оперативного анализа и прогноза атмосферной циркуляции и регионального мезомасштабного атмосферного моделирования. Региональный прогноз осуществляется национальной метеорологической администрацией Румынии. Для регионального моделирования атмосферной циркуляции в акватории Черного моря используется также мезомасштабная негидростатическая модель *MM5*[33]. В качестве начальных и граничных условий в модели используются данные глобального оперативного анализа *GDAS* [34] и прогноза *GFS* [29].

Подсистема диагноза и прогноза циркуляции вод в Черном море достаточно подробно рассмотрена в статьях тематического сборника [79]. В ней используется процедура ассимиляции спутниковых альтиметрических данных и данных измерений температуры поверхности моря, проводимых с помощью сканера AVHRR КА NOAA.

Атмосферные воздействия задаются на основе метеорологической информации, а также путем ассимиляции имеющихся в сети Интернет данных спутниковых скаттерометрических измерений (КА *NSCAT* и *QuikSCAT*), доступных после обработки в Лаборатории реактивного движения (США). Кроме этого используются и модельные данные *NCEP*[35], *ALADIN* [36]и др.

Подсистема прогноза волнения моря в качестве рабочего инструмента использует спектральную модель *WAM* [37], адаптированную для работы в акватории Черного моря. При работе модель тесно взаимодействует с моделью циркуляции вод Черного моря: из модели циркуляции в модель *WAM* поступают данные о скоростях течений, а из модели *WAM* в модель циркуляции – данные о коэффициенте трения воздуха о морскую поверхность, рассчитанные с учетом эффектов волнения. Система функционирует с сентября 2007 г.

Подсистема прогноза динамики моря в прибрежный районах использует в качестве рабочего инструмента, непосредственно выдающим прогностическую информацию о гидрологическом режиме в регионе, региональную модель циркуляции. Она основана на модели океанической циркуляции Принстонского университета (*Princeton Ocean Model – POM*). Для учета влияния на циркуляцию в прибрежной зоне открытых прилегающих областей моря при расчетах используется технология вложенных сеток.

---

[33] *MM5 – Mesoscale Model, version 5.*

[34] *GDAS – Global data Assimilation System; GFS – Global Forecasting System.*

[35] *NCEP – National Centers for Environmental Prediction* (Национальный центр по защите окружающей среды, США).

[36] *ALADIN – Aire Limitee Adaptation dynamique Developpement InterNational.*

[37] *WAM – Wave Analysis Model* (модель анализа волнения).

Подсистема мониторинга и прогнозирования состояния экосистемы Черного моря позволяет выявлять аномалии и прогнозировать эволюцию полей оптико-биологических характеристик морской воды в акватории Черного и Азовского морей, таких как: концентрация хлорофилла – *a*, концентрация фитопланктона, области цветения фитопланктона и т.д. При работе подсистема усваивает данные, получаемые с помощью цветового сканера *SeaWiFS*.

Подсистема представления и распространения информации отвечает за визуализацию результатов наблюдений и модельных расчетов и распространение конечных информационных продуктов среди конечных потребителей. Выходными (конечными) продуктами системы являются карты океанографических параметров, регулярно обновляемые и выставляемые на специализированном сайте – морском портале.

МОРСКОЙ ПОРТАЛ СИСТЕМЫ *GEOSS-UA*

Морской портал системы *GEOSS-UA* (морской портал НКАУ) был создан специалистами МГИ НАН Украины для обеспечения доступа широкому кругу потребителей к данным, получаемым при дистанционном зондировании морских акваторий, к результатам моделирования процессов, протекающих как на поверхности, так в толще морских вод, к результатам анализа текущей ситуации в акватории Черного моря и краткосрочному прогнозу ее развития. Кроме текущей информации, на портале выставлена и архивная информация (начиная с 2006 г.). Основные сведения о конечный информационных продуктах (КИП) системы *GEOSS-UA,* выставляемых на портале, приведены в табл. 13. а образцы КИП показаны на рис. (2 – 7).

Портал имеет удобный, логичный, не вызывающий вопросов у пользователей, интерфейс. Адрес портала «http://dvs.net/ua». Внешний вид главной страницы портала показан на рис. 8 (страница на русском языке) и на рис. 9 (страница на английском языке).

Заметим, что в настоящее время в Украине, кроме нашего портала, существует еще несколько сайтов-порталов, предоставляющих пользователю спутниковые изображения из собственных архивов информации и различные тематические карты, полученные на основе обработки спутниковых данных. Назовем некоторые из них.

1) сайт Центра приема, обработки специальной информации и контроля навигационного поля (г. Дунаевцы, Хмельницкой области – является структурным подразделением Национального космического агентства Украины и входит в состав Национального Центра управления и испытаний космических средств). На сайте в виде изображений представлены данные, полученные с помощью КА *NOAA, TERRA* и «Метеор-3М» за период с 1980 г. по настоящее время. Имеется возможность выборки. Электронные адреса:

– электронный каталог: «http://dzz.org.ua/electronic_catalogue.asp»;

– стол заказов данных ДЗЗ: «http://dzz.org.ua/orders.asp».

2) Центр обработки информации Института космических исследований НАНУ-НКАУ:

Таблица 13. Конечные информационные продукты системы *GEOSS-UA*

Наименование конечного информационного продукта	источник информации	Характеристика КИП		
		пространственное разрешение, км	периодичность обновления КИП	запаздывание в выставлении КИП, час
	1. Информация в графическом виде			
1.1 Карты температуры поверхности моря (*SST*)	*AVHRR*	~ 1	6-8 карт в сутки	от 1 до 12
1.2 Карты температуры поверхности моря (*SST*)	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
1.3 Карты скоростей поверхностных течений	*AVHRR*	~ 1	от 6 до 8 карт в сутки	от 1 до12
1.4 Карты концентрации хлорофилла – *a*	*MODIS*	~ 1	1 раз в сутки	от 24 до 36
1.5 Карты интенсивности восходящего излучения на волне 551 нм	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
1.6 Карты ледового покрова	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
1.7 Карты положения фронтальных зон	*AVHRR, MODIS*	не хуже 1	до 4 раз в сутки	от 1 до 12
	2. Информация в цифровом виде			
2.1 Карты температуры поверхности моря (*SST*)	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
2.2 Карты интенсивности восходящего излучения на волне 551 нм	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
2.3 Карты концентрации хлорофилла – *a*	*MODIS*	~ 1	1 раз в сутки	от 24 до 36
2.4 Карты ледового покрова	*MODIS*	от 0.25 до 1	от 1 до 2 карт в сутки	от 1 до 12
	3. Результаты моделирования			
3.1 Карты прогноза измерения температуры поверхности моря		не хуже 25	не реже 1 раза в сутки	-
3.2 Карты прогноза эволюции поля течений		не хуже 25	не реже 1 раза в сутки	
3.3 Карты прогноза эволюции высоты и направления распространения поверхностных волн		не хуже 25	не реже 1 раза в сутки	

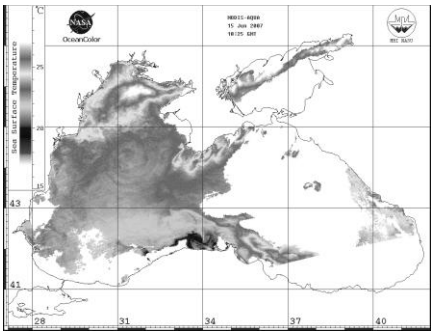

Рис. 2. Поле температуры поверхности моря (*MODIS*)

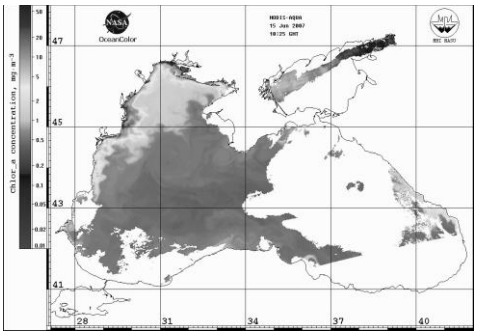

Рис. 3. Поле распределения концентрации хлорофилла – *a* (*MODIS*)

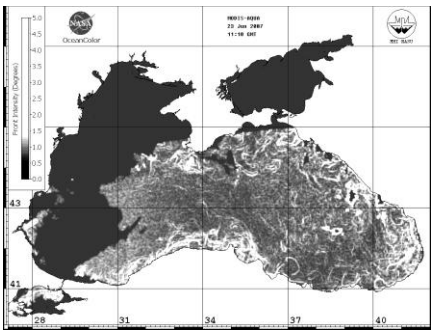

Рис. 4. Положение фронтальных зон в акватории Черного моря (*MODIS*)

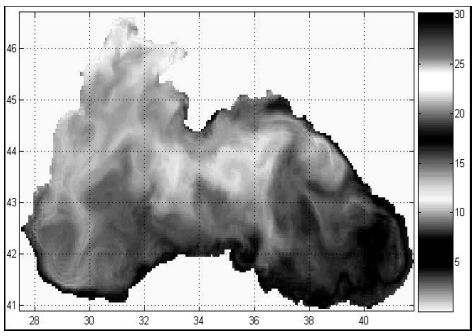

Рис. 5. Поле температуры воды на глубине 2.5 м (модель)

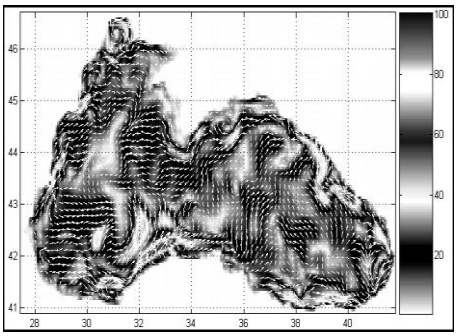

Рис. 6. Поле скорости течений на глубине 2.5 м (модель)

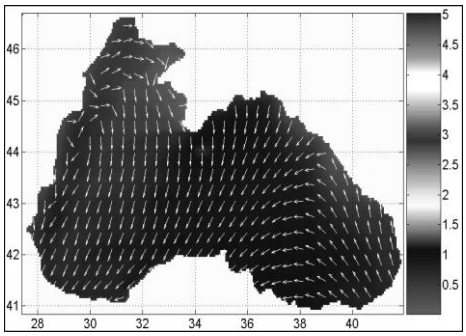

Рис. 7. Поле высот и направлений распространения поверхностных волн (модель)

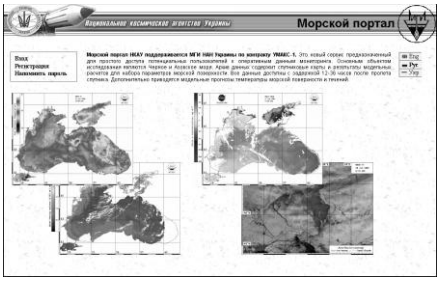

Рис. 8. Главная страница портала *GEOSS-UA* (русский язык)

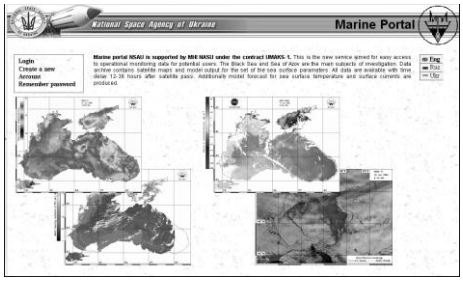

Рис. 9. Главная страница портала *GEOSS-UA* (английский язык)

– интерактивная карта облачного слоя на территории Европы (апрель-ноябрь 2007). Электронный адрес: «http://dos.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_mapserver&Itemid=11»;

– система формирования рациональных запросов на ДЗЗ на сайте. Электронный адрес: «http://dos.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_remository&Itemid=18&func=fileinfo&id=1»;

– анимированное представление данных *WRF* (*Weather Research and Forecasting* – Метеорологических исследований и прогнозов). Электронный адрес: «http://dos.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_wrf&Itemid=10»;

– архив спутниковой информации (спутники *MSG-1, Meteosat-5, Meteosat-7, NOAA, GOES East, GOES West, MTSAT*). Электронный адрес сайта: «http://dos.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_contact&catid=5&Itemid=8»

3) ГНПЦ «Природа» (Киев). Является организацией, отвечающей в Украине за накопление и распространение спутниковой информации. Располагает данными съемок территории Украины. Электронный адрес каталога данных ДЗЗ по Украине в период с 1980 г. по настоящее время: «http://www.pryroda.gov.ua/katalog/search_film.do?catId=83»

4) Украинский центр менеджмента Земли и ресурсов (УЦ МЗР). Располагает данными съемок, выполненных приборами *SeaWiFS, AVHRR.* Снимки получены с помощью HRTP-станции, расположенной в Киеве. Электронные адреса:

– архива изображений, полученных с помощью сканеров КА *NOAA* (*AVHRR*), *OrbWiev* (*SeaWiFS)* и *Landsat:* «http://www.ulrmc.org.ua/archive/index_ua.html»;

– заказ необработанных снимков: «rawimages@ulrmc.org.ua»

В России также функционирует достаточно большое число систем и центров приема и обработки спутниковых данных, как специализированных отраслевых, так и региональных, призванных решать различные задачи мониторинга окружающей среды. Из наиболее крупных и активно функционирующих систем приема, обработки и распространения спутниковой информации отметим такие, например, как:

1) сайт «Спутник» – совместный сайт ИКИ РАН и НПЦ «Планета» (Москва), электронный адрес «http://sputnik.infospace.ru/noaa/rus_win/black»;

2) сайт Научно-исследовательского центар космической метеорологии «Планета» (Москва), электронный адрес: «http://planeta.infospace.ru/planeta_products/archive/products/qlook»;

3) сайт «Космический мониторинг Черного моря», электронный адрес «http://www.blacksea-online.com/». Проект реализован «Центром геомаркетинговых исследований» и «ГИС Консалт Груп» в тесном сотрудничестве с Европейским космическим агентством. Однако, последнее обновление информации на сайте сделано 9 июля 2008 г.;

4) сайт Инженерно-технологического центра (ИТЦ) «СканЭкс», посвященный средствам, методам и результатам космического мониторинга морских акваторий. Электронный адрес сайта «http://www.scanex.com/ru/map/default.asp»;

5) автоматизированный интерфейс ИТЦ «СканЭкс» «Космоснимки-Черное море», предназначенный для оперативного доведения спутниковых данных из

приемного центра в Москве оперативным службам порта Новороссийск. Интерфейс создан на базе геопортала «Космоснимки.ру», работает в закрытом режиме и позволяет отображать обстановку в зоне контроля с указанием координат нахождения судов и позиционирования нефтяных сликов, обнаруживаемых при обработке данных спутниковой съемки (см., например http://www.pryroda.gov.ua/ru/index.php?newsid=1001096).

6) сайт Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) на котором выставляются результаты мониторинга морских акваторий, в том числе – Черного и Азовского морей. Электронный адрес сайта: «http://hmc.hydromet.ru/».

По акватории Черного моря на сайте размещаются следующие виды информации:

- прогноз (с шагом 12 час, заблаговременность – до 10 суток) метеорологических полей;
- прогноз параметров ветрового волнения;
- карта температуры поверхности моря (обновляется 1 раз в сутки в момент времени, соответствующий 4 часам Всемирного скоординированного времени);
- карта аномалий уровня Азовского и Черного морей (относительно среднего за период с 1993 по 1999 гг.), построенная по спутниковым альтиметрическим данным. Обновление ежедневное, но с задержкой данных около 1 месяца);
- прогноз штормовых условий по морям Российской федерации, в том числе – по Черному и Азовскому морям (с шагом в 3 час, заблаговременность – до 10 суток). По сути – это карты направления и скорости ветра на высоте 10 м над морской поверхностью. Обратим внимание на то, что по состоянию на момент написания статьи, прогноз штормовых условий предоставляется на сайте в опытном режиме, т.е. без указания возможных погрешностей КИП.

В качестве примера на рис. 10 и рис. 11 показаны образцы конечных информационных продуктов, выставляемых на некоторых из названных сайтов.

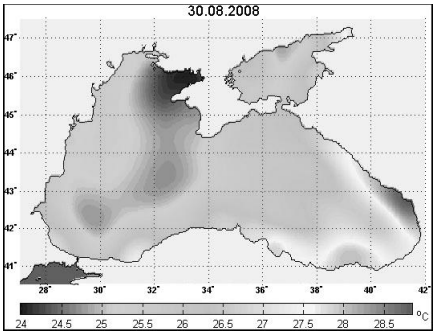

Рис. 10. Вид КИП «Температура поверхности моря» на сайте «ЕСИМО»

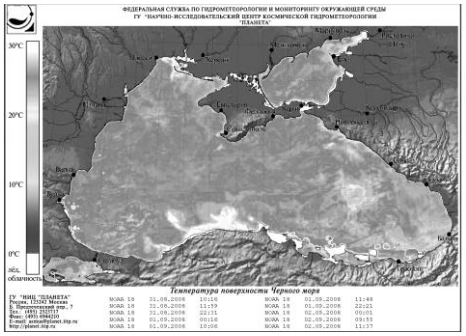

Рис. 11. Вид КИП «Температура поверхности моря, 02.09.2008» на сайте «Планета»

Существуют и другие сайты аналогичной тематики, в том числе – зарубежные, но мы, за неимением места, на рассмотрении выставляемых информационных продуктов останавливаться не будем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье кратко рассмотрена система комплексного мониторинга акватории Черного и Азовского морей, функционирующая в МГИ НАН Украины на протяжении последних нескольких лет в режиме времени, близком к реальному. Одновременно рассмотрены основные источники спутниковой информации, используемой для обеспечения ее работы и направления их дальнейшего развития.

Для систем оптико-электронного наблюдения характерна тенденция повышения их пространственного разрешения и в настоящее время они уверенно переходят рубеж метрового разрешения, превращаясь в системы точечного мониторинга отдельных объектов и сооружений. Очевидно, что подобная информация может быть чрезвычайно интересной и полезной при освещении ситуации в районах природных и техногенных катастроф. Но, как показывает практика, оперативность доведения информации до соответствующих управленческих структур оставляет желать лучшего (см., например, [80]).

Космическая отрасль Украины, следуя отмеченной тенденции, так же готовится к эксплуатации КА оптико-электронного наблюдения «Січ-2М-О» с пространственным разрешением около 2 м и «Січ-3-О» с пространственным разрешением около 0.6 м (см. табл. 5).

Большие надежды в спутниковой океанографии связаны с СВЧ-радиометрическими комплексами, работающими в дециметровом диапазоне радиоволн. С их помощью возможно решение важной для океанографии проблемы – проблемы определения солености вод Мирового океана. К сожалению, в Украине это направление в области космического приборостроения полностью отсутствует.

Лучшее положение наблюдается в Украине в области создания спутниковых радиолокационных систем ДЗЗ. Опираясь на опыт, полученный при создании РЛС БО для океанографических КА типа «Космос», «Океан» и «Січ», в настоящее время космической отраслью Украины в содружестве с институтами НАН Украины ведется разработка спутниковых систем для КА «Січ-2М-Р» с пространственным разрешением 1300 м в обзорном режиме и 200 м при детальном просмотре и для КА «Січ-3-Р» с пространственным разрешением 20 м в режиме детальной съемки и 2 м при покадровой съемке [81, 82].

В Морском гидрофизическом институте НАН Украины продолжаются работы по совершенствованию системы *GEOSS-UA* и улучшению ее точностных характеристик

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агалаков В. С., Сире А.Ш.* Метеорологические ИСЗ / Новое в жизни, науке, технике.: Космонавтика, астрономия. – М.: Знание. – 1977. – вып. 11. – 64 с.
2. *Железняков А.* Космический мир. Энциклопедия «Космонавтика». Хроника освоения космоса. Запуски космических аппаратов. [Электронный документ] http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/chrono/index.shtml (Проверено 15.02.2006).
3. *Самолет-разведчик* ЦРУ U-2: досье на проект. [Электронный документ] http://www.agentura.ru/press/about/jointprojects/washprofile/u2spy/ (Проверено 03.07.2008).
4. *Дей Дуен А.* Краткий очерк истории американской спутниковой разведки / пер. И. Лисова // Новости космонавтики. – 2004. – Том 14, № 11. – С. 67 - 69.

5. *Тарасенко М., Афанасьев И.* Секретные «посылки» с орбиты. 40 лет со дня первого запуска по программе CORONA // Новости космонавтики. – 1999. – № 4. [Электронный документ] http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/nk/1999/4/1999-4d.html (Проверено 08.08.2008).
6. *Берд К.* Нефть за Ирак // Компьютера. – 2003. – № 17. [Электронный документ] http://offline.computerra.ru/2003/492/26857/ (Проверено 08.08.2008).
7. *Космические аппараты «Зенит*-2» [Электронный документ] http://www.baikonur-info.ru/proekt_3.htm (Проверено 08.08.2008).
8. *Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т.* Радиоизлучение Земли как планеты. – М.: Наука. – 1974. – 187 с.
9. *Шарков Е.А.* Пассивное микроволновое зондирование Земли: прошлое, настоящее и планы на будущее // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса: Сборник науч. статей. – М.: – 2004. – С.70 - 80.
10. *Landsat program.* Mission and Spacecraft library [Электронный документ] http://msl.jpl.nasa.gov/programs/landsat.html (Проверено 02.08.08).
11. *Бэлью Л., Стулингер Э.* Орбитальная станция «Скайлэб» / Сокр. пер. с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук Г. Л. Гродзовского. – М.: Машиностроение. – 1977. – 232 с.
12. *Тарасенко М.* Отечественная система оперативного дистанционного зондирования Земли // Новости космонавтики. [Электронный документ] http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/184-185/22.shtml (Проверено 10.02.2006).
13. *Призваны временем.* Том 2. Ракеты и космические аппараты КБ «Южное» / Под общ. ред. Генерального конструктора, акад. НАН Украины С.Н. Конюхова. – Днепропетровск.: Арт-Пресс. – 2004. – 232с.
14. *Савин А.И., Зотов Г.Ф., Петрущенко Ю.Е.* Система морской космической разведки и целеуказания. [Электронный документ] http://www.navy.ru/science/sor7.htm (Проверено 03.03.2008).
15. *Sven Grahn.* The US-A program (Radar Ocean Reconnaissance Satellites - RORSAT) and radio observations thereof. [Электронный документ]. http://www.svengrahn.pp.se/trackind/RORSAT/RORSAT.html (Проверено 12.03.2006).
16. *Seasat* [Электронный документ] http://www.directory.eoportal.org/press_Seasat.html (Проверено 26.03.2006).
17. *GES DISC DAAC Data Guide*: Coastal Zone Color Scanner (CZCS) Instrument Guide. [Электронный документ] http://daac.gsfc.nasa.gov/guides/GSFC/guide/CZCS_Sensor.gd.shtml (Проверено 01.08.2008).
18. *An Overview of SeaWiFS and the SeaStar Spacecraft.* [Электронный документ] http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/ (Проверено 01.08.2008).
19. *Нелепо Б.А., Арманд Н.А., Хмыров Б.Е. и др.* Эксперимент «Океан» на искусственных спутниках Земли «Космос-1076» и «Космос-1151» // Исследование Земли из космоса. – 1985, №3. – С. 5 - 12.
20. *Конюхов С.Н., Драновский В.И.* Разработка спутников для дистанционного зондирования Земли. [Электронный документ] / Аэрокосмический портал Украины. http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/0/da5a4e4c78630f8cc2256c36003a233e?OpenDocument (Проверено 25.12.2005).
21. *Пустовойтенко В.В., Радайкина Л.Н., Коротаев Г.К.* Космические средства радиолокационного мониторинга морских акваторий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2008. – вып. 16. – С. 45 - 83.
22. *Advanced Very High Resolution Radiometer* – AVHRR. NOAA Satellite and Information Service [Электронный документ] http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html (Проверено 10.08.2008).
23. *Космический* аппарат *SPOT* [Электронный документ] http://www.quickbird.ru/sputnik/spot.shtml (Проверено 10.08.08).

24. *Программа SPOT* [Электронный документ] http://www.innoter.com/page scameras/spot.html (Проверено 10.08.08).
25. *Indian Remote Sensing Satellites* [Электронный документ] http://www.csre.iitb. ac.in/isro/ (Проверено 10.08.08).
26. *Совзонд.* Спутниковые данные [Электронный документ] http://www.sovzond.ru/ (Проверено 18.08.2008).
27. Космические системы ДЗЗ. [Электронный документ] http://planet.iitp.ru/ Gosfond/system_r.htm (Проверено 15.08.2008).)
28. Общие сведения о КА «Метеор-3М № 1». [Электронный документ] http://kargonet.narod.ru/rab2/obshie.htm (Проверено 11.08.2008).
29. *Ланкратов К.* На орбите – европейский суперспутник. К запуску КА Envisat-1. [Электронный документ] http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/232/ 23.shtml (Проверено 25.07.2008).
30. *MERIS.* Medium Resolution Imaging Spectrometer [Электронный документ] http://wdc.dlr.de/sensors/meris/ (Проверено 12.08.2008).
31. *AATSR* [Электронный документ] http://envisat.esa.int/instruments/aatsr/ (Проверено 12.08.2008).
32. *Advanced Along-Track Scanning Radiometer (AATSR - ATSR2)* [Электронный документ] http://www.wmo.ch/pages/prog/sat/Instruments_and_missions/AATSR.html (Про -верено 12.08.2008).
33. *Космический аппарат «Ресурс-ДК1».* [Электронный документ] http://www.sam space.ru/S_DZZ/КА%20«Ресурс-ДК1».htm (Проверено 10.08.2008).
34. *Israeli EO Bird EROS-B Safely In Orbit* [Электронный документ] http://www.space mart.com/reports/Israeli_EO_Bird_EROS_B_Safely_In_Orbit.html (Проверено 12.08.2008).
35. *EROS-B Satellite Program* [Электронный документ] http://www.defense-update.com/ directory/erosB.htm (Проверено 12.08.2008).
36. *ALOS-missions.* [Электронный документ] http://alos.nasda.go.jp/2/alos_mission-e.html (Проверено 15.08.2008).
37. *ALOS.* Данные дистанционного зондирования со спутника ALOS [Электронный документ] http://www.pryroda.gov.ua/ru/index.php?newsid=264 (Проверено 15.08.2008).
38. *Egyptsat*-1 [Электронный документ] http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/ proektR/3B41E4935D67F084C2256F2A003356A1?OpenDocument&Lang=R (Проверено 11.08.2008).
39. *Копик А.* «Днепр» снова в строю // Новости космонавтики. – 2007. – Том 17. – № 6 (293). – С. 32 - 36.
40. *Шевчук-Старецкая Кр.* Наши ученые создали спутник для египтян. С орбиты 670 километров над землей видны улицы, машины, корабли // Газета по українски. – 2007, № 401. [Электронный документ] http://www.gpu.ua/index.php ?&id=171209&eid=401&lang=ru (Проверено 10.08.2008).
41. *Спутниковая* разведка: новые тенденции развития. [Электронный документ] http://news.cosmoport.com/2006/03/03/6.htm (Проверено 15.08.2008).
42. *Болсуновский М.А.* Данные ДЗЗ высокого разрешения. Ближайшие перспективы. [Электронный документ] http://www.sovzond.ru/dzz/publications/ 540/3053.html (Проверено 15.08.2008).
43. «БелКА» не смогла выйти на орбиту [Электронный документ] http://news.bbc.co.uk/hi/russian/sci/tech/newsid_5219000/5219182.stm (Проверено 15.08.2008).
44. *Системы* дистанционного зондирования [Электронный документ] http://mpsar. com/dz4_ru.html (Проверено 15.08.2008).

45. *CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) – Zi Yuan Satellite Series* [Электронный документ] http://directory.eoportal.org/presentations/6146/8664.html (Проверено 15.08.2008).
46. *The CBERS-1, 2 and 2B cameras* [Электронный документ] http://www.cbers.inpe.br/en/programas/cbers1-2_cameras.htm (Проверено 15.08.2008)
47. *Драновский В.И., Салтыков Ю.Д. Вариченко Л.В. и др.* Сканерные устройства, разрабатываемые на Украине [Электронный документ] http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=862 (Проверено 15.08.2008)
48. *Аэрокосмічни спостереження* в інтересах сталого розвитку і безпеки (GEO-UA). – Київ.: ТОВ «СЕЕМ». – 2008. – 117 с.
49. В России разрабатывается новый спутник «Ресурс-П» [Электронный документ] http://www.rol.ru/news/misc/spacenews/06/10/04_006.htm (Проверено 20.08.08).
50. http://maps.vlasenko.net/satellite/kiev-space-0.75mpp/index.html
51. *Crombie D.D.* Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc/s // Nature. – 1955, vol. 175. – P. 681 - 683.
52. *Bass F. G., Fuks I. M., Kalmykov A. I., Ostrovsky I. E. and Rosenberg A. D.* Very High Frequency Radiowave Scattering by a Disturbed Sea Surface, Parts I and II // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1968. – vol. AP-16. – P. 554 - 559 and 560 - 568.
53. *Wright J. W.* A New Model for Sea Clutter.// IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1968. – vol. AP-16. – P. 217 - 223.
54. *Басс Ф.Г., Фукс И.М.* Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука. – 1972. – 424 с.
55. *Зубкович С.Г.* Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. – М.: Сов. радио. – 1968. – 224 с.
56. *Kudryavtsev, V., Hauser D., Caudal G. et al.* A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. Part 1: The background model // Journ. Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108, № C3. 8054, doi:10.1029/2001JC001003.
57. *Kudryavtsev, V., Hauser D., Caudal G. et al.* A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. Part 2: Radar modulation transfer function. // Journ. Geophys. Res. – Vol. 108, № C3. 8055, doi:10.1029/2001JC001004.
58. *Kramer H.J.* Earth Observation Short History. 1. Earth Observation History on Technology Introduction [Электронный документ] www.eoportal.org/documents/kramer/History.pdf (Проверено 22.01.08).
59. *Радиолокация поверхности Земли из космоса.* (Исследование морской поверхности, ледяного и ледового покровов с помощью спутниковой радиолокационной станции бокового обзора) / под ред. Л.М. Митника и С.В. Викторова. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1990. – 200 с.
60. *Радиолокационные методы и средства* дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей / под ред. акад. НАН Украины, д.т.н. С.Н. Конюхова, чл.-корр. НАН Украины, д.т.н В.И. Драновского и к.т.н. В.Н. Цымбала. – Киев.: Джулия Принт. – 2007. – 440 с.
61. *Seasat.* [Электронный документ] http://nsidc.org/data/docs/daac/seasat_platform.gd.html (Проверено 13.07.2008).
62. *Кавелин С.С., Белов Д.Г., Гладилин В.С. и др.* Экспериментальный океанографический спутник «Космос-1500» // Исследование Земли из космоса. – 1983, №3. – С. 115 - 122.
63. *Большаков Л.Л.* Космические методы в океанологии / Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия», № 6. − М.: Знание, − 1982. − 64 с.
64. *Безжанов М.* Поиск космического разведчика. [Электронный документ] http://yuvit.mylivepage.ru/wiki/1160/252 (Проверено 13.07.2008).
65. *AMSU* [Электронный документ] http://wdc.dlr.de/sensors/amsu/ (Проверено 13.07.2008).

66. *AMSR-E Instrument Description* [Электронный документ] http://nsidc.org/data/docs/daac/amsre_instrument.gd.html (Проверено 13.07.2008).
67. *Ланкратов К.* Пилотируемые полеты. Россия. Модуль «Природа» // Новости космонавтики. – 1996, № 10. [Электронный документ] http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/nk/1996/10/10-1996.html (Проверено 13.07.2008).
68. *Океанографический спутник «Океан-О»* [Электронный документ] http://sputnik1.infospace.ru/ocean_o/rus_win/ocean_1.htm (Проверено 13.07.2008).
69. *Микроволновый* сканирующий радиометр интегрального влажностного зондирования атмосферы (МИВЗА) [Электронный документ] http://old.ntsomz.ru/imgcatalog/InfoFiles/m3ref/mivza.html (Проверено 13.07.2008).
70. *Микроволновый* сканирующий радиометр температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА) [Электронный документ] http://old.ntsomz.ru/imgcatalog/InfoFiles/m3ref/mtvza.html (Проверено 13.07.2008).
71. *Драновский В.И., Салтыков Ю.Д., Меланченко А.Г. и др.* Спутник дистанционного зондирования земли «Сич-1М» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика» – 2004. – вып. 11. – С. 184 - 197.
72. *Арманд Н.А., Тищенко Ю.Г., Аблязов В.С.* Спутниковая СВЧ-радиометрия L-диапазона [Электронный документ] www.iki.rssi.ru/earth/articles06/vol1-221-223.pdf (Проверено 13.07.2008).
73. *Арманд Н.А., Саворский В.П., Смирнов М.Т. и др.* Космические радиометры дециметрового диапазона / Аэрокосмічни спостереження в інтересах сталого розвітку та безпеки: Матеріали доповідей Першой Всеукраїнської конференції. (Київ, 3 – 5 червня 2008 р.). – Київ.: Наукова думка. – 2008. – С. 13 - 15.
74. *Envisat* [Электронный документ] http://envisat.esa.int/object/index.cfm?fobjectid=3775 (Проверено 13.07.2008).
75. *Коротаев Г.К., Еремеев В.Н.* Введение в спутниковую океанографию Черного моря. – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2006. – 382 с.
76. *Коротаев Г.К., Драновский В.И., Пустовойтенко В.В.* Предисловие // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – вып. 11. – С. 6 - 8.
77. *Марлин-Юг.* Дрифтеры типа WOCE [Электронный документ] http://www.marlin-yug.com/ru/products.php?category_name_id=12 (Проверено 03.08.2008)
78. *AERONET.* Aerosol Robotic Network. Mission [Электронный документ] http://aeronet.gsfc.nasa.gov/ (Проверено 05.08.2008).
79. *Экологическая безопасность* прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. научн. тр. Вып. 11 / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Редкол.: Иванов В.А. (гл. ред.) и др. – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – 268 с.
80. *Керченская катастрофа: как ее видели с орбиты.* [Электронный документ] http://cnews.ru/reviews/print.shtml?2008/03/24/293451 (Проверено 10.07.2008).
81. *Аерокосмічні* спостреження в інтересах сталого розвитку и безпеки (GEO-UA). – Київ: ТОВ «СЕЕМ». – 2008. – 117 арк.
82. *Деятельность Украины* по созданию спутников дистанционного зондирования Земли. Информационный альбом. [Электронный документ] www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2008/tech-23.pdf (Проверено 08.07.2008).

Материал поступил в редакцию 25.08.2008 г.

После доработки 22.10.2008 г.