

УДК 574.5.08.+541.128.7

Г. К. Коротаев¹, В. В. Пустовойтенко¹, Ю. В. Терехин¹,
В. И. Драновский², С. С. Кавелин², Ю. Д. Салтыков²,
О. Л. Емельянов², В. Н. Цымбал³, В. Б. Ефимов³,
А. С. Курекин⁴, В. А. Комяк⁴, А. П. Пичугин⁵

¹Морський гідрофізичний Інститут Національної академії наук України, Севастополь

²Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

³Центр радіофізичного зондування Землі Національної академії наук та Національного космічного агентства України ім. А. І. Калмикова, Харків

⁴Інститут радіофізики та електроніки Національної академії наук України, Харків

⁵Науковий центр оперативного моніторингу Землі, Москва, Росія

Тридцать лет отечественной спутниковой океанологии.

1. Космическая система «Океан» — «Січ»

Надійшла до редакції 13.08.07

У травні 2007 р. виповнилося 30 років з моменту прийняття Постанови про розробку і створення в СРСР державної космічної експлуатаційної системи дослідження природних ресурсів Землі «Ресурс» та її космічної підсистеми «Океан». У статті розглядаються основні етапи створення океанографічної підсистеми «Океан» і внесок фахівців України в ці роботи. Розглянуто океанографічні космічні апарати і особливості їхніх інформаційно-вимірювальних комплексів. Аналізуються можливості РЛС БО, яка встановлюється на вітчизняних космічних апаратах типу «Січ», вперше запущеної на борту космічного апарата «Космос-1500». Розглядаються деякі підсумки виконаних робіт і основні напрями розвитку робіт у області супутникової океанології в найближчій перспективі.

ВВЕДЕНИЕ

На рубеже 60-х и 70-х годов XX века были приняты решения, определившие пути развития отечественной спутниковой океанологии: в 1976 г. принято решение о разработке экспериментальных отечественных океанографических КА «Океан-Э» [20], 5 мая 1977 г. принято постановление правительства СССР, предусматривающее разработку и создание государственной космической эксплуатационной системы исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее космической подсистемы «Океан» [25]. С

этого времени работы в области дистанционного зондирования Земли и Мирового океана с использованием средств и методов космической техники получили поддержку на государственном уровне, и эту дату можно считать отсчетной точкой в истории отечественной спутниковой океанологии.

Использование методов и средств космической техники вывело морские науки на новый уровень. Во-первых, появилась возможность наблюдения практически любых районов Мирового океана, а во-вторых — стало возможным перейти от изучения фрагментов процессов и явле-

ний, протекающих на поверхности и в толще вод Мирового океана, к их анализу в целом. Особое место среди средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) занимают радиофизические: методы радиолокации и радиометрии. Не вдаваясь в детали, отметим их важную особенность — возможность наблюдения поверхности морских акваторий независимо от времени года, суток и местных погодных условий.

К началу работ по созданию космической подсистемы «Океан» усилиями отечественных [4, 34] и зарубежных [37] радиофизиков были установлены и изучены основные закономерности явления рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью, в ряде академических и отраслевых научно-исследовательских институтов страны сформировались коллективы, занимающиеся развитием средств и методов радиофизического зондирования морской поверхности. На стыке океанографии, радиофизики и радиолокации сформировалось новое направление в области изучения физики морских процессов — радиоокеанография [28], а в последующем — и спутниковая гидрофизика (океанология) [23].

Говоря о развитии отечественной спутниковой океанологии, отметим, что первая попытка использования радиофизических систем для получения из космоса геофизической и океанографической информации была предпринята в 1968 г. запуском космического аппарата (КА) «Космос-243» с многочастотным радиометрическим комплексом ДЗЗ на борту [5]. Второй аналогичный КА «Космос-384» был запущен в 1970 г. Полученные в этих работах результаты показали высокую эффективность радиофизических систем как средств мониторинга морских акваторий и поверхности суши в региональном и глобальном масштабах.

- Не приуменьшая значения проведенных работ и важности полученных при этом результатов, отметим их демонстрационный характер. В это время еще отсутствовала четко сформулированная программа космических исследований Мирового океана, радиофизические комплексы были установлены на борту КА фотографического наблюдения типа «Зенит-2М» с параметрами орбиты соответственно: наклонение — 71.3° (72.9°), перигей — 210 (212) км и апогей — 319 (314) км, которые не являются оптимальными для океанографических и природоресурсных КА. Спутники запущены соответственно 23.09.1968 и 12.10.1970 гг.

- Заметим, что в США КА NIMBUS-5, оснащенный сканирующим радиометрическим комплексом ESMR, был запущен только 11.12.1972 г. Он выведен на орбиту с параметрами: наклонение — 99.95° , перигей — 1091 км, апогей — 1105 км [8].

В 1971 г. Морским гидрофизическим институтом АН УССР (МГИ АН УССР, ныне — МГИ Национальной академии наук Украины) впервые была осуществлена передача океанографической информации непосредственно с автоматической буйковой станции (АБС) «Скат» [2] через активный ретранслятор (созданный специалистами института), установленный на борту КА «Космос-426», на береговой центр управления и обработки информации. Работы продолжались более семи месяцев и подтвердили перспективность метода, существенно повышающего оперативность получения океанографических данных [14]. В Украине это был первый опыт совместной работы океанологов МГИ АН УССР и разработчиков космических аппаратов и систем Конструкторского бюро «Южное».

- Запущенный на орбиту 04.06.1971 г. КА «Космос-426», так же как и КА «Космос-243» и «Космос-384», не был специализированным океанографическим. Это был КА типа «ДС-У2-К», предназначенный для исследования потоков заряженных частиц и всплесков космического излучения. В соответствии с целевым назначением он был выведен на орбиту с параметрами: наклонение — 74° , перигей — 394 км, апогей — 2012 км [8].

ГЛАВНЫЕ КОНСТРУКТОРЫ

Развитие столь наукоемкого направления как спутниковая океанология невозможно без объединения усилий специалистов многих научных, проектных и производственных организаций. Отечественная спутниковая океанология не могла бы состояться без участия коллектива КБ-3 КБ «Южное» и его главных конструкторов: В. М. Ковтуненко — под его руководством разработан эскизный проект подсистемы «Океан» и созданы первые океанографические КА «Океан-Э», Б. Е. Хмырова — он руководил созданием океанографических КА «Океан-ОЭ», С. Н. Коныхова (в настоящее время — академик НАН Украины, Генеральный конструктор ГКБ «Южное») — под его руководством КА «Океан-ОЭ» введены в опытную эксплуатацию (они получили наименование «Океан-О1») и начата разра-

ботка океанографического КА «Океан-О». В последние годы работами по созданию «морских» КА руководил член-корреспондент НАН Украины В. И. Драновский — под его руководством завершено создание КА «Океан-О», созданы КА «Січ-1» и «Січ-1М», начата разработка КА нового поколения.

Спутниковая океанология не могла состояться без участия ведущих специалистов академических научно-исследовательских и производственных организаций: Б. А. Нелепо (академик АН УССР, в те годы — директор МГИ АН УССР, научный руководитель работ), Н. А. Арманда (заместитель директора ИРЭ АН СССР, Председатель Совета по распространению радиоволн АН СССР, профессор, руководитель работ по спутниковой тематике в ИРЭ АН СССР), А. И. Калмыкова (в те годы — кандидат физико-математических наук, научный руководитель работ по созданию спутниковой РЛС БО, в последующем — доктор физико-математических наук, профессор, организатор и первый руководитель Центра радиофизического зондирования Земли НАНУ-НКАУ), Ю. В. Терехина (кандидат технических наук, в те годы — ответственный исполнитель работ по спутниковой тематике в МГИ АН УССР), Г. В. Смирнова (в те годы — кандидат физико-математических наук, директор СКТБ МГИ АН УССР, ныне — академик РАН), В. П. Шестопалова (академик АН УССР, в те годы — директор ИРЭ АН УССР), И. М. Балаклицкого (в те годы — директор СКТБ ИРЭ АН УССР), А. С. Селиванова, Ю. М. Тучина и многих других. Она не состоялась бы без участия специалистов научно-исследовательских, проектных и производственных организаций многих ведомств страны, без участия конструкторов, инженеров, техников и испытателей, вдохнувших жизнь в проекты ученых и обеспечивших надежность работы средств ДЗЗ и космических аппаратов.

Современный этап развития работ в области спутниковой океанологии в Украине неразрывно связан с именами Г. К. Коротаева (доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель работ в области спутниковой океанологии в МГИ НАН Украины на протяжении последних 15 лет, Национальный координатор и член Управляющего комитета программы «Black

Sea GOOS»*), В. Н. Еремеева (академик НАН Украины, Генеральный директор Океанологического центра НАН Украины), В. И. Лялько (член-корреспондент НАН Украины, директор Центра аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины), В. Н. Цымбала (директор ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ им. А. И. Калмыкова), В. А. Иванова (член-корреспондент НАН Украины, директор МГИ НАН Украины), В. Н. Кудрявцева (доктор физико-математических наук, руководитель работ в области морской радиолокации в МГИ НАН Украины), А. Л. Макарова (с 2005 г. Главный конструктор КБ-3 ГKB «Южное») и многих других.

КОСМИЧЕСКАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА «ОКЕАН».

КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ОКЕАН-Э»

Создание океанографической космической подсистемы «Океан» начато проведением космического эксперимента «Океан-Э», основными задачами которого являлись [17, 21]:

- отработка методики синхронных дистанционных измерений параметров океана и атмосферы над ним в различных диапазонах электромагнитных волн;
- разработка методов калибровки данных дистанционного зондирования по результатам прямых (контактных) подспутниковых измерений гидрометеорологических параметров;
- создание методик обработки данных спутниковых измерений, разработка соответствующих алгоритмов и программ;
- развитие методов интерпретации океанографической спутниковой информации и т. д.

Научное руководство экспериментом и функции Головной организации по бортовому информационно-измерительному комплексу (БИИК) океанографических КА в этих работах были возложены на МГИ АН УССР, а функции головной организации по КА в целом — на КБ «Южное». При подготовке эксперимента сотрудниками МГИ АН УССР в содружестве со специалистами ИРЭ АН УССР, КБ «Южное» и ряда других организаций, на основе всестороннего анализа возможностей обзора акватории Мирового океана с помощью спутниковых комплексов

* Black Sea Global Ocean Observing System — Черноморский сегмент глобальной системы наблюдения океана.

ДЗЗ, информационных возможностей КА, возможностей радиоканалов передачи информации и мощности существующих вычислительных средств и многих других факторов, были определены оптимальная конфигурация спутниковых систем дистанционного зондирования и структура космического и наземного сегментов космической наблюдательной океанографической подсистемы «Океан».

С целью сокращения сроков разработки за основу КА «Океан-Э» был принят хорошо зарекомендовавший себя КА семейства «Целина» [15, 25] и имеющаяся инфраструктура обеспечения его эксплуатации. Запуски КА «Океан-Э» («Космос-1076», «Космос-1151») осуществлены в 1979 и 1980 гг. соответственно [8, 15, 18, 25]. В состав многофункционального БИИК, устанавливаемого на борту этих КА, входили [20]: поляризационный радиометр СВЧ-диапазона «РАДОН» (подобный работавшему в космосе на борту КА «Космос-243» и «Космос-384»); спектрометр ИК-диапазона 174К1; фотометр видимого диапазона «Цвет»; аппаратура вызова абонентов АВА и сбора информации БУКАЗ-КА, а также блок управления работой исследовательской аппаратуры БУК-ИА*. Кроме этого, в состав БИИК КА «Космос-1151» вошел радиолокационный прибор «Сигма-А»**, по сути представлявший собой макет основных функциональных систем и узлов будущей спутниковой РЛС БО (радиолокационной станции бокового обзора).

В качестве основных районов съемки для отработки методик определения параметров морской поверхности и атмосферы по данным ДЗЗ были выбраны акватории северных частей Атлантического и Индийского океанов, где проведение подспутниковых работ обеспечивалось экспедициями на НИС «Михаил Ломоносов», «Академик Вернадский» и «Молдавия», а также Арктический бассейн, в котором наблюдения за ледовым покровом обеспечивалось Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ).

В ходе эксперимента «Океан-Э» были отработаны методы измерений гидрофизических параметров в СВЧ-, ИК- и видимом диапазонах спектра электромагнитных волн, уточнены физические представления о связях величин, изме-

ряемых с КА, с гидрофизическими параметрами, получены оценки точности измеряемых величин. Это позволило определить требования как непосредственно к платформам эксплуатационных океанографических КА, так и к составу спектральных каналов перспективной зондирующей аппаратуры, обеспечивающему ее максимальную эффективность. Результаты работ опубликованы в монографиях [22, 23] и в журналах «Исследование Земли из космоса», «Морские гидрофизические исследования», «Океанология».

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ «ИНТЕРКОСМОС»

Практическая отработка элементов подсистемы «Океан» была проведена также и на КА типа АУОС-3-Р-П-ИК («Интеркосмос-20», «Интеркосмос-21»), запущенных в 1979 и 1981 гг. [8, 17, 25]. С их помощью был получен уникальный массив информации об оптических характеристиках морской воды. Измерения проводились практически непрерывно на протяжении 16 месяцев, что позволило: проверить принципы атмосферной коррекции для широкого диапазона состояния атмосферы и океана, солнечного освещения; построить карты распределения оптических свойств Мирового океана в глобальном масштабе на основе измерений из космоса и т. д. После запуска КА «Интеркосмос-21» на орбите впервые была создана система из двух одновременно работающих океанографических КА («Космос-1151» и «Интеркосмос-21»), что существенно повысило информативность космической наблюдательной системы.

Результаты этих работ стали фундаментом для последующей разработки принципов усвоения спутниковой информации в гидродинамических моделях Черного моря [19].

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «КОСМОС-1500». РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ БОКОВОГО ОБЗОРА

Положительные результаты эксплуатации КА «Океан-Э» стали основой для создания океано-

* «Цвет» и БУК-ИА разработаны в МГИ АН УССР, изготовлены в СКТЬ института.

** Совместная разработка МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР, изготовление — СКТЬ МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР.

графических КА нового класса — оснащенных панорамными системами ДЗЗ, ориентированными на получение снимков подстилающей поверхности. Научное руководство работами на этом этапе создания подсистемы «Океан» было поручено МГИ АН УССР. Главным разработчиком комплекса радиофизической аппаратуры (РФА) в составе радиолокационной станции бокового обзора и радиометра (РМО8) стал ИРЭ АН УССР, а функции головной организации по КА в целом, как и ранее, были возложены на КБ «Южное».

Идея разработки РЛС БО и ее постановки на борт отечественных океанографических КА принадлежит А. И. Калмыкову и базируется на результатах проведенных в ИРЭ АН УССР более чем 35-летних исследований основных закономерностей рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью. Их результатом стало создание электродинамической модели поверхности, формирующей радиолокационный (РЛ-) сигнал (двухмасштабная модель [4, 34]*), и разработка физических основ РЛ-зондирования морской поверхности, поверхности суши, материковых и морских льдов. Адекватное физическое представление о процессах формирования РЛ-сигнала различными видами подстилающей поверхности позволило А. И. Калмыкову и руководимому им коллективу, в содружестве со специалистами других организаций, в сжатые сроки разработать и создать комплекс РФА и его ядро — РЛС БО космического базирования.

Перед разработчиками подсистемы «Океан» стояла задача создания экономичной и удобной в эксплуатации РЛС, способной обеспечить обзор морских акваторий и оперативную доставку снимков потребителю. Технической основой РЛС БО стали разработки ИРЭ АН УССР в области создания экспериментальных радиоокеанографических РЛ-систем и разработки МГИ АН УССР в области создания автоматизированных систем обработки информации. Это позволило оптимизировать основные параметры РЛС БО, достичь высокой контрастно-фоновой чувствительности и оперативности доведения получаемой информации до потребителей в виде уже

привычных ему снимков поверхности.

РЛС БО имела пространственное разрешение, сопоставимое с разрешением метеорологических систем МСУ-М (СССР, КА «Метеор»), AVHRR**, (США, КА NOAA), а в последующем — и SeaWiFS*** (США, КА SeaStar), что облегчало сопоставление и комплексную обработку получаемой океанографической информации. Параметры РЛС БО обеспечивали уверенное наблюдение морской поверхности в полосе шириной от 450 до 500 км (в зависимости от метеорологических условий) и многолетних льдов в полной полосе обзора.

При выборе расположения полосы обзора РЛС БО относительно трассы КА приоритет был отдан наблюдению ледовых полей в Арктическом бассейне, в связи с чем полоса обзора была расположена слева от трассы КА.

- Заметим, что к этому времени в космосе уже работали системы РЛ-наблюдения морской поверхности. С 1975 г. в штатной эксплуатации находился КА УС-А (RORSAT — Radar Ocean Reconnaissance Satellites — спутник радиолокационного наблюдения океана) [8, 25, 29, 36]. КА этого типа известны как КА «Космос» с различными текущими номерами. Для обеспечения оптимальных условий РЛ-наблюдения морских акваторий они запускались на низкие орбиты, в связи с чем имели малое время жизни. Для поддержания системы в рабочем состоянии требовался систематический запуск новых КА. Энергоснабжение КА обеспечивалось ядерной энергетической установкой. Сняты с эксплуатации в 1988 г. [8].
- 27.06.1978 г. с космодрома Ванденберг был запущен специализированный морской КА «Seasat» [35] (наклонение орбиты 108°, период обращения 100.4 мин, перигей 710 км, апогей 850 км [11]). На борту КА был установлен многофункциональный РЛ-комплекс, в том числе РЛС БО с синтезированием апертуры (РСА) приемной антенны. Она обеспечивала наблюдение морской поверхности в полосе шириной 100 км при пространственном разрешении около 25×25 м. Синтезирование изображения в то время осуществлялось на наземных средствах обработки данных. Это требовало использования широкополосных каналов передачи информации, вследствие чего РСА могла работать только в зонах радиовидимости приемных станций. Все это исключало возможность ее использования для оперативного наблюдения произвольных районов Мирового океана. КА проработал до 10 октября 1978 г. Причина выхода из строя — замыкание [35].
- Необходимо также отметить, что разработка РЛС БО для КА «Океан-ОЭ» не была в то время единственной разра-

* Работы по созданию модели отмечены, несмотря на годы «холодной войны» между СССР и США, дипломом Общества американских радиоинженеров.

** Advanced Very High Resolution Radiometers — усовершенствованный сканер высокого разрешения.

*** Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor — прибор наблюдения цветowych полей.

Рис. 1. Космический аппарат «Океан-ОЭ» («Космос-1500»): 1 — корпус КА, 2 — солнечные батареи, 3 — поворотные панели, 4 — антенна РЛС БО, 5, 6 — блоки аппаратуры комплекса ДЗЗ, 7 — выдвижная штанга, 8 — гравитационный стабилизатор

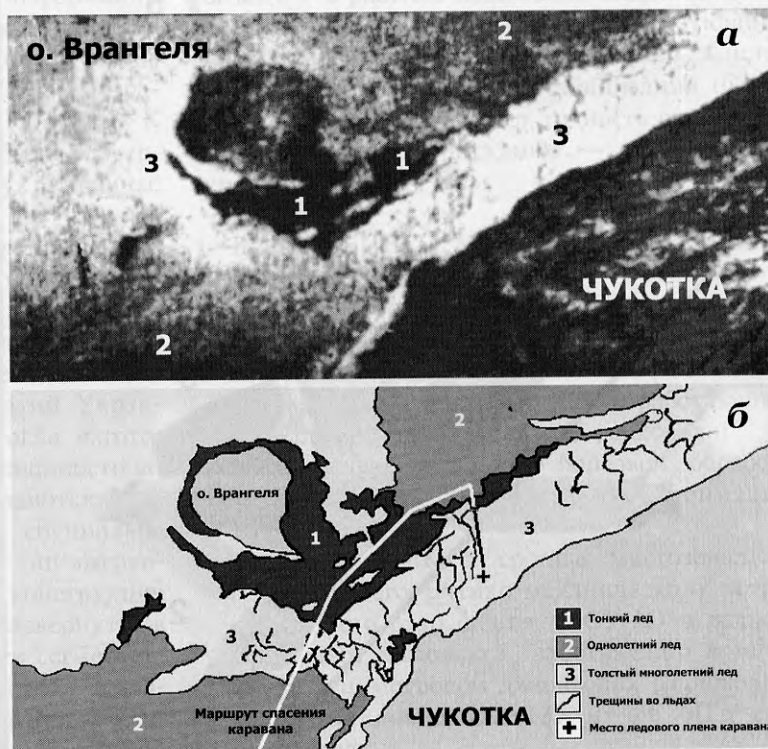
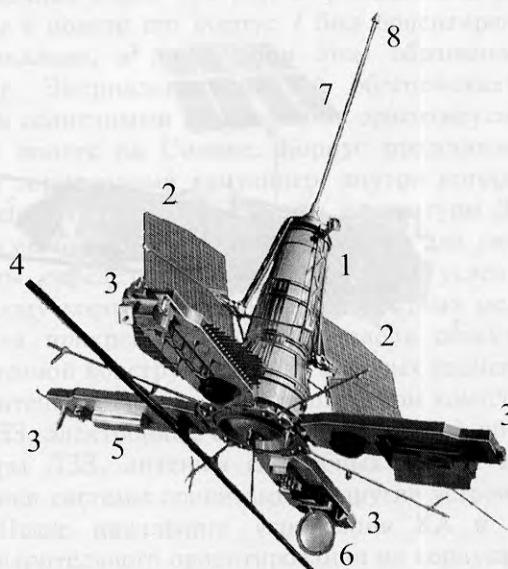


Рис. 2. Вывод каравана судов из ледового плена в проливе Лонга: а — фрагмент РЛ-изображения района, полученного с помощью РЛС БО КА «Космос-1500» 20.10.1983 г.; б — тематическая карта района. Цифровые обозначения: 1 — тонкий лед, 2 — однолетний лед, 3 — толстый многолетний лед, крестик — место ледового плена каравана, сплошная линия — маршрут выхода из ледового плена

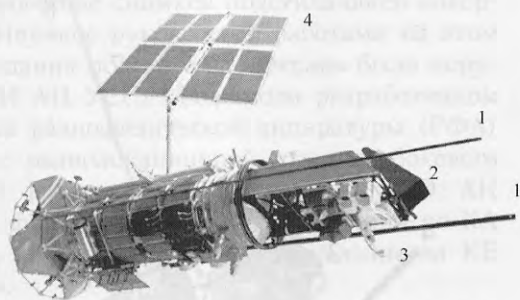


Рис. 3. КА «Океан-О»: 1 — антенны РЛС БО (правого и левого борта), 2 — антенна радиометра Р-600, 3 — антенная система сканера ДЕЛЬТА-2П, 4 — солнечная батарея

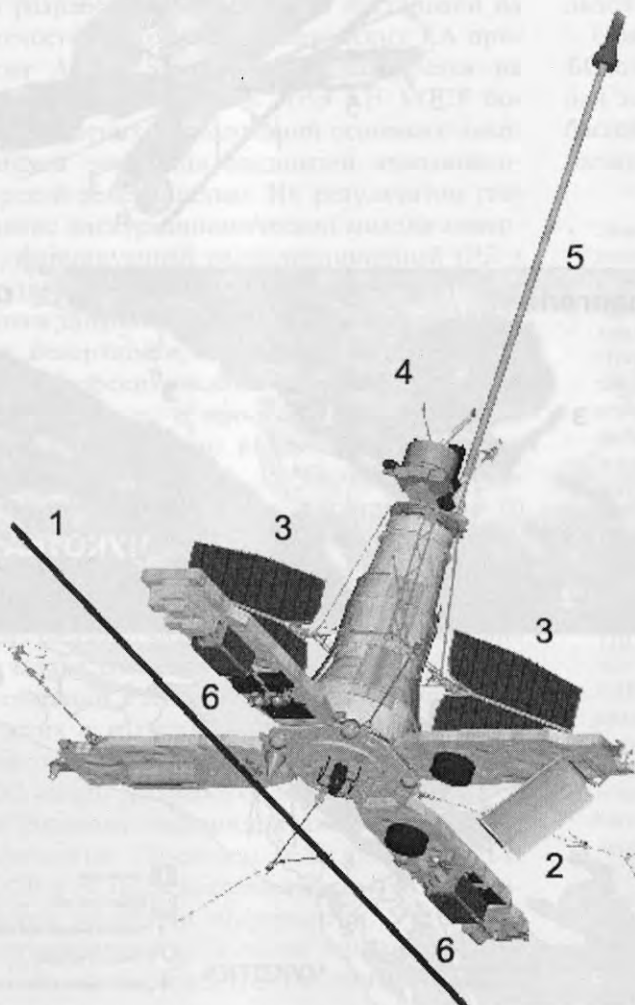


Рис. 4. КА «Січ-1М»: 1 — антенна РЛС БО, 2 — антенна РМ08, 3 — солнечные батареи, 4 — сканер МТВЗА-ОК, 5 — гравитационный стабилизатор, 6 — микроспутник

Рис. 5. Фрагмент одного из первых РЛ-изображений, полученных с помощью РЛС БО КА «Січ-1М». Виток № 1370, дата съемки 23.05.05 г. Режим расширенной полосы обзора (700 км)



боткой спутниковой РЛС: параллельно с ней создавались РСА для установки на КА типа «Ресурс-О» и «Алмаз». РСА «Траверс» была установлена борту КА «Ресурс-О» № 1, запущенного как «Космос-1689» в 1985 г. [26], и больше на КА этого типа не устанавливалась [32]. В последующем она вошла в состав модуля «Природа» долговременной орбитальной космической станции (ДОС) «Мир». Вторая РСА, требовавшая для обеспечения своей работы мощностей энергетической установки ДОС, была запущена в космос только в 1987 г. на борту КА «Космос-1870» и повторно — в 1991 г. на борту КА «Алмаз-1» [6, 8].

Применение на борту КА «Океан-ОЭ» радиотелевизионного комплекса (РТВК) разработки РНИИ КП (г. Москва), аналогичного уже применявшемуся на метеорологических КА «Метеор», обеспечивало возможность непосредственного получения РЛ- и радиотепловых снимков поверхности широкому кругу потребителей — снимки передавались в стандарте АРТ* и принимались как на специализированных центрах приема и обработки спутниковой информации Госкомгидромета СССР (частотный диапазон 466 МГц), так и в сети автономных пунктов приема спутниковой информации (АППИ), работавших в частотном диапазоне 137 МГц. К моменту запуска КА такие АППИ были развернуты и в институтах Академии наук Украины: МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР.

При создании РЛС БО пришлось преодолеть многие проблемы организационного и технического характера. Отсутствие в академических институтах соответствующей производственной базы потребовало привлечения потенциала проектных и промышленных предприятий Украины. Так, антенну для РЛС БО смогли изготовить только на одном из многих машиностроительных предприятий Харькова, радиотехнической промышленностью Украины специально для РЛС БО был разработан новый тип высоковольтного разъема. Оригинальная конструкция антенного блока, позволяющая развернуть в космосе антенну, состоящую из пяти сегментов, и стабилизировать ее геометрию в полете, создана специалистами КБ «Южное». Отработка конструкции РЛС БО проведена на испытательной базе производственного объединения «Южный машиностроительный завод».

Остановимся в нескольких словах на некоторых особенностях КА «Океан-ОЭ», внешний вид

которого показан на рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема КА [11, 27] выполнена так, чтобы в полете его корпус 1 был ориентирован вертикально, а днище при этом обращено к Земле. Энергоснабжение КА обеспечивается двумя солнечными батареями 2, ориентируемыми в полете на Солнце. Корпус представляет собой герметичный контейнер, внутри которого размещены электронные блоки аппаратуры ДЗЗ и служебных систем КА, требующие для своей работы определенных климатических условий. К днищу корпуса с помощью поворотных механизмов прикреплены четыре панели объемно-ферменной конструкции 3, на которых размещены антенные системы 4—6 аппаратуры комплекса ДЗЗ, электронные блоки РФА и другой аппаратуры ДЗЗ, антенны служебных систем КА, датчики системы ориентации и другие устройства. После начального успокоения КА и его предварительного ориентирования из корпуса на штанге 7 в рабочее положение выдвигается гравитационный стабилизатор 8, образующий с корпусом КА гравитационный диполь. Система успокоения ориентации и стабилизации (СУОС) КА в полете обеспечивает точность ориентации: по тангажу и по рысканью — от 5 до 7°, по крену — не хуже 3°.

В состав БИИК КА «Океан-ОЭ» были включены [11, 19, 27]:

- РЛС БО с реальной апертурой приемной антенны, работающая в сантиметровом диапазоне радиоволн;
- сканирующий радиометр РМ08, работающий в 8-миллиметровом диапазоне радиоволн;
- специальный процессор бортовой обработки сигнала, управления и синхронизации (Б УОС);
- комплекс РТВК в составе многозонального сканирующего оптико-механического устройства малого разрешения (МСУ-М) и радиопередающего комплекса, работающего в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн — частотные диапазоны 137 и 466 МГц соответственно;
- трассовый СВЧ-радиометрический комплекс;
- система сбора и передачи информации (ССПИ) «Кондор» для сбора данных с буйковых станций и других платформ и их передачи

* Automatic Picture Transmission — автоматическая передача изображений.

Таблица 1. Запуски океанографических КА по программам «Океан» и «Січ»

Дата запуска КА	Дата прекращения работы КА	Наименование и тип КА	Период обращения, мин	Наклонение, град	Перигей, км	Апогей, км	Литературный источник
Программа «Океан»							
12.02.79	31.03.80	«Космос-1076» («Океан-Э» № 1)	97	82	647	678	[8, 25]
01.11.79	?	«Интеркосмос-20» (АУОС-3 Р-П-ИК)	94.4	74	467	523	[8, 25]
23.01.80	13.10.81	«Космос-1151» («Океан-Э» № 2)	97.8	82.5	650	678	[8, 25]
06.02.81	?	«Интеркосмос-21» (АУОС-3 Р-П-ИК)	94.5	74	475	520	[8, 25]
28.09.83	16.07.86	«Космос-1500» («Океан-ОЭ» № 1)	97.8	82.5	648	680	[8, 25]
28.09.84	05.12.86	«Космос-1602» («Океан-ОЭ» № 2)	97.8	82.5	648	679	[8, 25]
28.07.86	24.10.88	«Космос-1766» («Океан-О1» № 1)	97.8	82.5	647	679	[8, 25]
16.07.87	03.05.89	«Космос-1869» («Океан-О1» № 2)	97.8	82.5	648	680	[8, 25]
05.07.88	14.06.90	«Океан» («Океан-О1» № 3)	97.8	82.5	651	680	[8, 25]
09.06.89	?	? («Океан-О1» № 4)		авария 3-й степени РН			[8]
28.02.90	18.07.91	«Океан-2» («Океан-О1» № 5)	97.3	82.5	618	645	[8, 25]
04.06.91	04.01.94	«Океан-3» («Океан-О1» № 6)	97.3	82.5	620	655	[8, 25]
11.10.94	?	«Океан-4» («Океан-О1» № 7)	97.7	82.55	632	666	[8, 25]
17.07.99	?	«Океан-О»	94	98		675	[8, 25]
Программа «Січ»							
31.08.95	15.01.04	«Січ-1» («Океан-О1» № 8)	97.73	82.53	632	669	[1, 8, 25]
24.12.04	08.08.05	«Січ-1М»	93.8	82.56	281	640	[8, 10]

в центры приема информации;

- блок управления комплексом аппаратуры ДЗЗ (БУК-ИА).

Первый из КА «Океан-ОЭ», получивший название «Космос-1500», был запущен 28 сентября 1983 г. (табл. 1). Основными задачами запуска являлись [3, 17, 27]:

- отработка методов дистанционного зондирования Мирового океана и поверхности Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства и науки;
- проведение оперативной съемки ледовых покровов Арктики и Антарктиды для обеспечения навигации в замерзающих районах Мирового океана;
- отработка новых видов информационно-измерительной аппаратуры и т. д.

На КА «Космос-1500» впервые был создан режим формирования «совмещенного кадра», когда на одном фотобланке размещались снимки подстилающей поверхности, получаемые с по-

мощью трех разных приборов: РЛС БО, РМ-08 и одного из каналов МСУ-М. Кроме этого предусматривались и автономные режимы работы, когда на фотобланк выводилась информация РЛС БО и РМ08 или только информация РЛС БО. Это позволяло, с одной стороны, сохранять ресурс сканера МСУ-М при съемках в темное время суток, а с другой — реализовать потенциальное пространственное разрешение РЛС БО даже при использовании для передачи информации узкополосного радиоканала, работающего метровом диапазоне. Кроме этого, был сохранен и «стандартный» режим съемки только с помощью сканера МСУ-М (аналогичный использовавшемуся в то время на КА «Метеор»).

Для облегчения визуального анализа снимков, получаемых с помощью РФА, БУОС обеспечивал квазилинейную расстановку пикселей (элементов изображения) по поверхности, стабилизацию угла наблюдения ближней границы полосы обзора и ширины полосы обзора, а следова-

тельно, и масштаба РЛ-изображения подстилающей поверхности поперек полосы обзора [9, 12, 27]. При этом в совмещенном режиме масштаб изображений поверхности, получаемых с помощью РЛС БО и РМ08, был приведен к масштабу оптических изображений.

«КОСМОС-1500» — КОСМИЧЕСКИЙ ЛОЦМАН АТОМОХОДОВ

Ко времени запуска КА «Космос-1500» на Северном морском пути сложилась кризисная ситуация: в проливе Лонга во льдах был «затерт» караван из 22 судов с грузами стоимостью около 8 миллиардов долларов США [30], необходимыми для районов Крайнего Севера. Уже был раздавлен льдами и утонул теплоход «Нина Сагайдак», возникла реальная угроза полной утраты каравана. РЛС БО КА «Космос-1500» стала единственным средством*, позволявшим в условиях полярной ночи регулярно проводить обзор как непосредственно пролива Лонга, так и прилегающих районов Северного Ледовитого океана. Уже первые РЛ-изображения района бедствия (одно из них приведено на рис. 2) показали, что ситуация не столь трагична — в 100 км севернее места расположения каравана, у острова Врангеля, была обнаружена обширная полынья, а в тяжелых многолетних льдах — системы широких трещин и разводий, по которым можно было провести караван к этой полынье. Штаб спасательной операции, после некоторых колебаний, прислушался к мнению радиофизиков и принял адекватные решения, обеспечившие спасение каравана.

Во второй раз КА «Космос-1500» выступил в качестве «космического лоцмана» в 1985 г. при обеспечении вывода из ледового плена Антарктиды научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов». На спасение был направлен ледокол «Владивосток», на борту которого был развернут АППИ, обеспечивающий оперативный прием РЛ-снимков, что позволяло ежедневно разрабатывать наиболее рациональный план движения ледокола во льдах. На завершающей фазе операции на РЛ-изображениях была обнаружена широкая трещина в тяжелых льдах, протянувшаяся к дрейфовавшему судну. По ней ледокол

дошел до «Михаила Сомова», освободил его ото льда и вывел из ледового массива [13]. В 1991 г. «Михаил Сомов» вновь попал в ледовый плен Антарктиды. Однако в этот раз дрейф проходил в летнее, светлое время, льды были не столь тяжелыми, и судно смогло освободиться из плена самостоятельно. При этом общее наблюдение района осуществлялось оптическими средствами с борта КА «Метеор», «Ресурс», общее радиолокационное — с борта КА «Океан-О1», детальное радиолокационное — с помощью РСА, установленной на борту КА «Алмаз-1» [6]. Заметим, что и в последующем РЛ-информация, получаемая с помощью КА «Океан-О1», неоднократно использовалась для обеспечения транспортных операций в Арктике и Антарктиде.

Результаты эксплуатации РЛС БО на борту КА «Океан-ОЭ» подтвердили ее высокую эффективность как инструмента для всепогодного наблюдения поверхности морских акваторий и ледовых полей и стали основой для организации в сжатые сроки ее промышленного изготовления. Первая РЛС БО промышленного изготовления (НИИРИ, г. Харьков) была запущена в космос 26 мая 1986 г. в составе БИИК КА «Космос-1766».

Основные итоги эксплуатации КА «Океан-ОЭ» подробно рассмотрены в монографии [27] и в статьях тематического выпуска журнала «Исследование Земли из космоса» [9]. Результаты работ показали, что получаемая с помощью КА типа «Океан-ОЭ» информация может успешно использоваться в качестве информационного обеспечения при решении многих научных и народнохозяйственных задач. 6 февраля 1985 г. Постановлением правительства СССР КА «Океан-ОЭ» были приняты в опытную эксплуатацию под индексом «Океан-О1» [25].

Для ознакомления широких кругов общественности с достижениями в области спутниковой океанологии океанографические КА включались в состав экспозиций на ВДНХ УССР (КА «Интеркосмос-21») и ВДНХ СССР (КА «Космос-1500»).

Создание и сдача в опытную эксплуатацию КА океанографической подсистемы «Океан» отмечена присуждением коллективам ее создателей Государственных премий СССР и Украины и награждением большой группы участников

* Для КА УС-А, наклонение орбиты которых составляло 65° [8], район катастрофы находился вне поля обзора.

этой работы, в том числе — специалистов КБ «Южное», МГИ АН УССР и ИРЭ АН УССР, орденами и медалями СССР.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ОКЕАН-01»

В период с 1986 по 1994 гг. на орбиту было выведено шесть КА «Океан-01» (данные о запусках приведены в табл. 1). Разработка получила высокую мировую оценку — результаты работ широко освещены в мировой научной печати, КА экспонировался на международном авиакосмическом салоне в Ле-Бурже (Франция) [25]. Конструкция и характеристики КА «Океан-01» соответствовали конструкции и характеристикам КА «Океан-0Э». И хотя состав БИИК КА «Океан-01» от запуска к запуску претерпевал некоторые изменения [17, 20], ключевым его элементом оставался комплекс радиофизической аппаратуры: РЛС БО, радиометр РМ08 и специальный процессор бортовой обработки сигнала, управления и синхронизации БУОС.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ОКЕАН-0»

Полученный опыт эксплуатации КА типа «Океан-Э», «Океан-0Э» и «Океан-01» дал возможность с большим пониманием подойти к формированию требований к эксплуатационной океанографической системе и приступить к разработке более совершенного океанографического КА, получившего название «Океан-0». (Постановление о начале разработки КА принято правительством СССР 6 февраля 1985 г. [25]). Его целевым назначением было обеспечение глобальной съемки акватории Мирового океана и прилегающих районов суши в оптическом, ИК- и СВЧ-диапазонах с низким, средним и высоким пространственным разрешением для изучения Мирового океана и суши в интересах народного хозяйства и наук о Земле [17, 25]. Для этого на борту КА был установлен многофункциональный БИИК, в состав которого входили:

- радиофизическая аппаратура активного и пассивного зондирования — РЛС БО (два комплекта: право- и левостороннего обзора), многоканальный сканирующий СВЧ-радиометр «Дельта-2П», трассовые СВЧ-радиометры ше-

стисантиметрового (Р-600) и двухсантиметрового (Р-225) диапазонов;

- оптико-электронная (видимого и ИК-диапазонов) аппаратура — многоканальные сканирующие устройства высокого (МСУ-В), среднего (МСУ-СК) и малого (МСУ-М) разрешения, трассовый поляризационный спектрометрический прибор видимого диапазона «Трассер»;
- радиотелевизионный комплекс (РТВК-М);
- бортовая аппаратура ССПИ «Кондор-2М»;
- высокоскоростная радиопередача информации.
- Используемая в отечественной практике классификация приборов ДЗЗ по пространственному разрешению (М — малое, С — среднее и В — высокое) отличается от классификации, действующей в настоящее время на мировом рынке спутниковой информации:
 - а) сверхнизкое разрешение — 1 км и более;
 - б) низкое разрешение — от 1 км до 40 м;
 - в) среднее разрешение — от 40 до 5 м;
 - г) высокое разрешение — от 5 до 2 м;
 - д) сверхвысокое разрешение — лучше 2 м.
- По этой классификации отечественные спутниковые приборы ДЗЗ попадают в категории приборов сверхнизкого (радиометры СВЧ-диапазона), низкого (сканеры оптического и инфракрасного диапазонов, РЛС БО) и среднего (сканеры оптического и инфракрасного диапазонов) пространственного разрешения.

Разработка КА «Океан-0», внешний вид которого показан на рис. 3, была завершена в начале 1990-х годов. В отличие от КА «Океан-01» при его создании применена конструктивно-компоновочная схема с горизонтальным расположением продольной оси в полете. Это позволило разместить крупногабаритные антенные системы (1—3 и др.) аппаратуры ДЗЗ, не используя при этом поворотные устройства. Характерной особенностью силуэта КА является и расположенная в верхней полусфере солнечная батарея 4 [17].

КА «Океан-0» имел более мощную, в сравнении с КА «Океан-01», систему энергоснабжения, что позволяло проводить синхронную съемку с помощью всех установленных на его борту средств ДЗЗ. Система СУОС КА обеспечивала точность ориентации $10'$ при угловой скорости стабилизации 0.0015 град/с [24].

Заметим, что «космическая судьба» КА «Океан-0» по разным причинам была нелегкой — в течение нескольких лет он ожидал своего запуска, сроки пуска уже находящегося на старте

Таблица 2. Состав и основные параметры бортового информационно-измерительного комплекса КА «Січ-1»

Наименование прибора	Рабочий диапазон	Ширина полосы обзора	Пространственное разрешение, км	Передача информации
РЛС БО	Сантиметровый	450 км (5.7°)	2.5×1.3	В аналоговом виде в формате АРТ по радиоканалам метрового и дециметрового диапазонов
РМ-08	Миллиметровый	550 км (7.0°)	25×25	
МСУ-М	0.5—0.6 мкм	1900 км (24.2°)	1.5×1.5	на краю полосы обзора
	0.6—0.7 мкм		в надире	
	0.7—0.8 мкм		1.8×1.7	
	0.8—1.0 мкм			
МСУ-С	0.57—0.70 мкм	1370 км (17.4°)	0.345×0.345	Только по радиоканалу дециметрового диапазона
	0.70—0.82 мкм		0.815×0.515 на краю полосы обзора	

КА неоднократно переносились — при этом был поставлен своеобразный «рекорд» продолжительности нахождения ракеты-носителя на пусковом столе (11 суток) [24]. В конечном итоге КА был запущен только 17 июля 1999 г. Через несколько месяцев (в феврале 2000 г.) он был «поврежден в результате столкновения с метеоритом или фрагментом какого-то космического объекта» [8]. Время работы КА пришлось на период наивысшей активности Солнца, что потребовало поиска неординарных решений по управлению КА в условиях сильных изменений параметров атмосферы [33]. Тем не менее, срок работы КА на орбите превысил его гарантийный ресурс.

С точки зрения развития отечественной спутниковой океанологии весьма важно то, что на борту КА «Океан-О» впервые в отечественной практике был установлен сканер, работающий в тепловом ИК-диапазоне и обладающий более высоким, чем сканер AVHRR КА NOAA пространственным разрешением. Это позволяло если не конкурировать, то по крайней мере дополнять данные NOAA.

КОСМИЧЕСКАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА «СІЧ». КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «СІЧ-1»

Космическая наблюдательная система (КС) «Січ» создается Украиной в соответствии с Национальной (общегосударственной) космической программой. Эффективное использование собст-

венной научной и производственной базы и имеющихся заделов позволило заметно сократить сроки разработки и запустить первый из КА КС «Січ», получивший название «Січ-1» [8, 16, 17] (см. табл. 1), уже 31 августа 1995 г.

КА «Січ-1» был ориентирован на оперативное получение информации о процессах и явлениях, протекающих на морской поверхности и вблизи ее, в атмосфере, в ледовых массивах и на суше. Обеспечивалось это применением многофункционального БИИК, организацией бортовой обработки информации и передачей ее по радиоканалам, работавшим в частотных диапазонах 137 и 466 МГц. В Украине прием получаемой информации осуществлялся как в центральном приемном пункте КС (г. Евпатория), так и в сети АППИ потребителей (МГИ НАН Украины, ЦРЗЗ НАНУ-НКАУ и организации других ведомств).

Состав и основные параметры средств ДЗЗ, входящих в БИИК КА «Січ-1», перечислены в табл. 2. Ширина полосы обзора приборов в градусах определена для района средней полосы Черного моря (по 45° с. ш.).

КА «Січ-1» активно работал на орбите 8 лет 4 месяца и 15 дней (при гарантийном сроке 6 месяцев!). Работы с ним были прекращены 15 января 2004 года [1]. За это время проведена съемка морских акваторий и суши в интересах потребителей Украины (42 научные и научно-исследовательские организации различных министерств и ведомств) и России и получен большой объем интересных данных. Важным резуль-

татом его работы стало дальнейшее совершенствование методик анализа и интерпретации данных ДЗЗ, осуществление шагов по практическому использованию получаемой информации в различных отраслях хозяйства Украины. Некоторые примеры использования информации, получаемой с помощью КС «Океан» — «Січ», в интересах решения фундаментальных и прикладных задач будут рассмотрены во второй части статьи.

С точки зрения развития непосредственно КС итогом работ с КА «Січ-1» стало [1]:

создание на базе НЦУИКС (Национальный центр управления и испытаний космических средств, г. Евпатория) наземной инфраструктуры управления КА с отработкой одноточечной, вследствие особенностей географического расположения Украины, технологии управления;

формирование наземного специального комплекса приема и обработки информации ДЗЗ в составе главного (г. Дунаевцы) и региональных пунктов приема и обработки информации и центра архивации информации ДЗЗ (на базе ГНПЦ «Природа»);

отработка замкнутого цикла управления космической системой, что обеспечивает Украине независимость в получении, обработке и тематической интерпретации аэрокосмических данных наблюдения как собственной территории, так и других районов Земли.

В 1999 г. работы по созданию и эксплуатации первого этапа КС «Січ» в составе КА «Січ-1» и наземной инфраструктуры отмечены присуждением коллективам разработчиков, изготовителей и эксплуатирующих организаций Государственной премии Украины.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «СІЧ-1М»

Следующим шагом в развитии отечественной океанографической КС «Січ» стал КА «Січ-1М» [7, 17, 25]. Он являлся многоцелевым аппаратом, предназначенным для наблюдения поверхности Земли в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах в интересах хозяйственной деятельности и проведения научных исследований в различных об-

ластях физики моря и атмосферы Земли.

Для достижения этого на борту КА установлены:

- РЛС БО с улучшенными характеристиками;
- сканирующий радиометр РМ08;
- два комплекта усовершенствованных многозональных сканирующих устройств типа МСУ-ЭУ;
- температурно-влажностный зондировщик атмосферы и океана МТВЗА-ОК для комплексного обзора в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах спектра электромагнитных волн с широкой полосой обзора (2000 км);
- комплекс приборов «Вариант» для исследования тонкой структуры электрических токов, низкочастотных электрических и магнитных полей в плазме ионосферы.

Для передачи информации с борта КА на сеть наземных приемных станций на его борту установлены две цифровые, работающие в частотных диапазонах 8.2 и 1.7 ГГц, радиолнии передачи данных. Одновременно с этим сохранен и радиоканал, работающий в частотном диапазоне 137 МГц.

Внешний вид КА «Січ-1М» показан на рис. 4 [7]. Внешне он похож на КА типа «Океан-01» (см. рис.1). Однако в связи с размещением в верхней части корпуса вращающейся антенной системы прибора МТВЗА-ОК 4, штанга гравитационного стабилизатора 5 несколько смещена относительно его оси симметрии.

Запущенный 24 декабря 2004 г. КА вышел, к сожалению, на нерасчетную эллиптическую орбиту (апогей 640 км, перигей 281 км, период обращения 93.8 мин, наклон орбиты 82.56° [8]). Несмотря на нештатную орбиту и краткий срок эксплуатации (работы с КА были прекращены 8 августа 2005 года [10]), были проведены РЛ-съемки отдельных морских акваторий и прилегающих к ним районов суши. Они проведены как в стандартном режиме работы РЛС БО (ширина полосы обзора 450 км), так и в режиме расширенной до 700 км полосы обзора. На рис. 5 в качестве примера показан один из РЛ-снимков, полученных с помощью КА «Січ-1М». Снимок охватывает территорию России, Белоруссии, Украины, Молдовы, частично Турции и Болгарии и акваторию Черного моря. При обработке выполнена коррекция сигнала по наклонной дальности и яркости.

Рассматривая запуск КА «Січ-1М» как один из этапов летно-конструкторских испытаний модифицированного КА и его комплекса ДЗЗ, отметим важное для нас обстоятельство: проведенные работы подтвердили работоспособность РЛС БО и в новом режиме — в режиме расширенной полосы обзора.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КА МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

В настоящее время Украина приступила к реализации четвертой за свою историю Общегосударственной космической программы на 2008-2012 годы.

Ее выполнение позволит:

- создать на орбите постоянно действующую систему отечественных КА геофизического мониторинга «Січ», обеспечить ее эксплуатацию и использование получаемой информации;
- создать национальную систему геоинформационного обеспечения как часть европейской (GMES) и мировой (GEOSS) систем наблюдения за Землей*;
- усовершенствовать систему координатно-временного и навигационного обеспечения Украины с участием Российской Федерации и ЕС и т. д.

Космической программой предусматривается создание на базе усовершенствованных платформ перспективных КА наблюдения Земли. Среди них [17]:

- МС-2-8 («Січ-2»), на борту которого предполагается установить сканер оптического диапазона с разрешающей способностью около 8 м;
- «Січ-3-О», на борту которого предусматривается установка оптико-электронного устройства высокого разрешения, обеспечивающего детальность при съемке в надир лучше 1 м;
- «Січ-3-Р», на борту которого предусматривается установка РЛ-системы с высокой разрешающей способностью на местности [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рубеже 80-х и 90-х годов XX столетия была создана отечественная система оперативного мониторинга Мирового океана «Океан». Ведущая роль в ее создании принадлежит специалистам академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий Украины. Полученный опыт эксплуатации системы показал, что круг задач, решение которых возможно на основе использования спутниковой информации, весьма широк и охватывает различные области фундаментальных и прикладных наук о Земле и Мировом океане: океанологию, метеорологию, гидрологию, экологию, транспорт, добычу полезных ископаемых и т. д.

Космическая океанология как одно из направлений использования спутниковой информации постоянно развивается и совершенствуется в техническом и методическом плане. Совершенствуются и средства получения информации, и методы обработки и усвоения данных: создаются системы автоматизированной обработки, структурного и текстурного анализа получаемых изображений, классификации образов, комплексной обработки информации, получаемой с помощью систем ДЗЗ, работающих в оптическом, ИК- и СВЧ-диапазонах и т. д.

Для современных спутниковых РЛ-систем ДЗЗ характерна тенденция к дальнейшему улучшению их пространственного и радиометрического разрешения, обеспечивающая в перспективе переход к радиовидению, т. е. к получению РЛ-образов природных явлений и объектов, детально выявляющих их форму. Разрабатываемые перспективные средства ДЗЗ, в том числе радиолокационные, интегрируются в геоинформационные системы, гидрометеорологические и геофизические модели разного уровня.

В современном мире дистанционное зондирование Земли из космоса как одно из направлений космической деятельности развивается во многих странах мира. Не является исключением и Украина, космическая отрасль которой обладает высоким научным и производственным потенциалом.

* GMES — Global Monitoring for Environment and Security — система глобального мониторинга Земли в интересах безопасности и охраны окружающей среды; GEOSS — Global Earth Observation System of Systems — глобальная система наблюдения за Землей.

Космическая деятельность Украины осуществляется в соответствии с Законом Украины «О космической деятельности» и Национальными (общегосударственными) космическими программами. Согласно Указу Президента Украины № 933 «О мерах по дальнейшему развитию космической отрасли Украины» от 10 июня 2005 г. разработан проект четвертой «Общегосударственной космической программы Украины на 2008—2012 годы», отвечающей новым мировым тенденциям в исследовании и использовании космоса. В соответствии с ней специалисты Украины разрабатывают космические аппараты дистанционного зондирования Земли «Сич-2» и «Сич-3», имеющие высокую конкурентоспособность и представляющие собой реакцию космической отрасли Украины на современные потребности мирового рынка в космической информации.

- 10 лет назад был запущен первый украинский спутник «Сич-1». Аэрокосмический портал Украины. <http://space.com.ua/gateway/news.nsf/AllnewsR/9F97D142A5AF4178C225706E00260EF1?openDocument>.
- Анблагов В. Г., Забурдаев В. И., Иванов А. Ф. Дистанционные гидрозонды // Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. — Л.: Гидрометеоздат, 1977.—С. 547—557. 562—589.
- Афанасьев Ю. А., Нелепо Б. А. Программа экспериментов на ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 3—9.
- Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние радиоволн на статистически неровной поверхности. — М.: Наука, 1972.—424 с.
- Башаринов А. Е., Гурвич А. С., Егоров С. Т. Радионизлучение Земли как планеты. — М.: Наука, 1974.—187 с.
- Витер В., Петровский В., Кучейко А. Трудная судьба советского «Лакросса» // Новости космонавтики.— [Электронный документ] <http://www.novosti-kosmonavтики.ru/content/numbers/218/33.shtml>
- 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.—2004.—№ 11.—С. 184—197.
- Железняков А. Космический мир // Энциклопедия «Космонавтика». Хроника освоения космоса. Запуски космических аппаратов. <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/chrono/index.shtml>
- Исследование Земли из космоса. — М.: Наука, 1985.—№ 3.—128 с.
- КА «Сич-1М» прекратил работу. http://www.ntsomz.ru/news/news_center/sich_finish.html
- Кавелин С. С., Белов Д. Г., Гладиллин В. С. и др. Экспериментальный океанографический спутник «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1983.—№ 3.—С. 115—122.
- Калмыков А. И., Ефимов В. Б., Кавелин С. С. и др. Радиолокационная система ИСЗ «Космос-1500» // Исслед. Земли из космоса.—1984.—№ 5.—С. 84—93.
- Козловский А. М. Зимой в Южном океане. <http://www.kapustin.boom.ru/journal/kozlovskiy3.htm>
- Колесников А. Г., Нелепо Б. А., Ковтуненко В. М. и др. Ретрансляция океанографической информации с автоматической буйковой станции при помощи ИСЗ «Космос-426» // Докл. АН СССР.—1977.—234, № 1.—С. 49—52.
- Конструкторское бюро «Южное». Космические аппараты. <http://www.yuzhnoye.com/?id=15&path=About%20company/History/Spacecraft/Spacecraft>
- Конюхов С. Спутники Украины в космосе. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/NewsAnalitR/8C4FD1578E9AD3A8C3256AE7002B59D3?open>
- Конюхов С. Н., Драновский В. И. Разработка спутников для дистанционного зондирования Земли. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/0/da5a4e4c78630f8cc2256c36003a233e?OpenDocument>.
- Коротаев Г. К., Малиновский В. В., Мотыжев С. В. и др. Компоненты спутникового мониторинга Черного моря (вклад Украины в Black Sea GOOS). — Севастополь, 2001.—116 с.—(Препринт / НАН Украины; МГИ).
- Коротаев Г. К., Пустовойтенко В. В., Радайкина Л. Н. и др. Дистанционное зондирование морей и океанов. Развитие работ в области спутниковой океанологии // Развитие морских наук технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под общ. ред. В. Н. Еремеева. — Севастополь: НПП «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2004.—С. 585—625.
- Космические аппараты «Океан-01» // Информ. бюл. пресс-центра космодрома «Плесецк».—1994.—№ 36.—11 октября.—(Сайт космодрома «Плесецк». <http://www.plesetzk.ru/index.php?p=inf036&d=doc/inf>).
- Нелепо Б. А., Арманд Н. А., Хмыров Б. Е. и др. Эксперимент «Океан» на искусственных спутниках Земли «Космос-1076» и «Космос-1151» // Исслед. Земли из космоса.—1985.—№ 3.—С. 5—12.
- Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Суевин В. С., Терехин Ю. В. Исследование океана из космоса. — Киев: Наук. думка, 1985.—168 с.
- Нелепо Б. А., Терехин Ю. В., Коснырев В. К., Хмыров Б. Е. Спутниковая гидрофизика. — М.: Наука, 1983.—253 с.
- Первый «Океан-О» на орбите // Новости космонавтики.—1999.—№ 9. <http://www.novosti-kosmonavтики.ru/content/numbers/200/13.shtml>
- Призваны временем. Т2. Ракеты и космические аппараты КБ «Южное» / Под общ. ред. С. Н. Конюхова. — Днепрпетровск: Арт-Пресс, 2004.—232 с. [Электронный документ]. <http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/kb-ujn/obl.html>
- Произведен запуск КА «Ресурс О1» № 3 // Новости космонавтики.—1994.—№ 22. <http://epizodsspace.testpilot.ru/bibl/nk/1994/22/22-1994-2.html>
- Радиолокация поверхности Земли из космоса. (Исследование морской поверхности, ледяного и ледового покровов с помощью спутниковой радиолокационной

- станции бокового обзора) / Под ред. Л. М. Митника, С. В. Викторова. — Л.: Гидрометеиздат, 1990.—200 с.
28. Радиоокеанографические исследования морского волнения / Под. ред. С. Я. Брауде. — Киев: АН УССР, 1962.—116 с.
29. Савин А. И., Зотов Г. Ф., Петрущенко Ю. Е. Система морской космической разведки и целеуказания. [Электронный документ] <http://www.navy.ru/science/sor7.htm>
30. Сердюк И., Цымбал В. Пока не грянул гром // Международный общественнополитический еженедельник.—2005.—№ 13 (541). <http://www.zerkalo-nedeli.com/nn/show/541/49716>
31. Сич-3-Р. Сайт ГКБ «Южное». Космические аппараты. Наблюдение Земли. [Электронный документ] <http://www.yuzhnoye.com/?id=136&path=Aerospace%20Technology/Spacecraft/Remote%20Sensing/Sich-3-R/Sich-3-R>
32. Тарасенко М. Отечественная система оперативного дистанционного зондирования Земли // Новости космонавтики. <http://www.novosti-kosmonavтики.ru/content/numbers/184-185/22.shtml>
33. Удалой В. А., Иванов Н. М., Соколов Н. Л. и др. Некоторые особенности оперативного управления космическим аппаратом «Океан-О» // Гироскопия и навигация.—2004.—№ 2 (45).—С. 48—54.
34. Bass F. G., Fuks I. M., Kalmykov A. I., et al. Very high frequency radiowave scattering by a disturbed sea surface, Parts I and II // IEEE Trans. Antennas Propagat.—1968.—AP-16.—P. 554—559 and 560—568.
35. Seasat [Электронный документ] http://www.directory.eoportal.org/press_Seasat.html
36. Sven Grahn. The US-A program (Radar Ocean Reconnaissance Satellites—RORSAT) and radio observations thereof. <http://www.svengrahn.pp.se/trackind/RORSAT/RORSAT.html>
37. Wright W. J. A new model for sea clutter // IEEE Trans. Antennas Propagat.—1968.—AP-16.—P. 217—223.

THIRTY YEARS OF DOMESTIC SPACE OCEANOLOGY. 1. SPACE SYSTEM OCEAN—SICH

*G. K. Korotayev, V. V. Pustovoytenko, Yu. V. Terekhin,
V. I. Dranovsky, S. S. Kavelin, Yu. D. Saltykov,
O. L. Yemelyanov, V. N. Tsymbal, V. B. Yefimov,
A. S. Kurekin, V. A. Komyak, A. P. Pichugin*

Thirty years ago, in May 1977, the Decision on the elaboration and creation of the state space system for remote sensing of the Earth «Resurs» and its space subsystem «Ocean» was adopted in the USSR. We consider the main stages of creating the oceanographic subsystem «Ocean» and the contribution of Ukraine to this project. Oceanographic satellites and some peculiarities of their informational and measuring complexes are discussed. The possibilities of SLR first launched aboard the satellite «Kosmos-1500» and then mounted on the Ukrainian satellites of the «Sich» type are analysed. Some results of the work performed and the main directions for the further development of the investigations in the field of satellite oceanology are considered.