

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

К 50-летию запуска первого
искусственного спутника Земли и к
30-летию начала работ по созданию
отечественной космической
океанографической
системы «Океан» («Січ»)

В.В. Пустовойтенко, Ю.В. Терехин

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
e-mail: v2pust@mail.ru

В историко-аналитическом обзоре рассматриваются этапы создания отечественной космической океанографической системы «Океан» («Січ»), современное состояние работ в области спутниковой океанологии в Украине и перспективы их развития. Основное внимание уделено радиолокационному наблюдению морских акваторий.

Введение. 50 лет назад, в октябре 1957 г. был запущен первый в истории человечества искусственный спутник Земли. С этого времени началась история использования космических технологий в различных областях деятельности человечества и сейчас мы уже не представляем себе жизни без спутниковой навигации, связи, телевидения и т.д.

30 лет назад, в 1977 году, произошло событие, оказавшее непосредственное влияние на наш институт, на его развитие, на научную биографию многих его сотрудников: было принято правительственное решение о разработке и создании в СССР оперативной государственной космической системы (КС) исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее океанографической подсистемы «Океан» [1]. Активным участником этих работ стал Морской гидрофизический институт НАН Украины (в то время – АН УССР), возглавивший как разработку методических основ применения систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в области морских наук и технологий, так и создание самих комплексов ДЗЗ.

Состояние исследований рассеяния радиоволн морской поверхностью в 70-х годах. К концу 60-х – началу 70-х гг. усилиями отечественных (см., например [2, 3]) и зарубежных исследователей, были сформулированы основные положения теории

рассеяния радиоволн на взволнованной морской поверхности и объяснены основные закономерности этого явления. Это позволило приступить к разработке методов и средств дистанционного зондирования морских акваторий из космоса, и в частности – радиолокационных (РЛ-) средств, позволяющих наблюдать морскую поверхность вне зависимости от времени суток и местных гидрометеорологических условий.

В 1973 г. США на борту орбитальной станции «Skylab» провели эксперимент S-193, основной задачей которого была проверка идей по использованию РЛ-систем космического базирования для мониторинга морской поверхности. Его результаты стали основой для последующего создания специализированных спутниковых океанографических РЛ-систем.

В 1961 г. в СССР начата разработка морской КС «Легенда» [4]. Одним из ее элементов являлся КА «УС-А», на борту которого устанавливалась РЛ-станция бокового обзора (РЛС БО). В штатную эксплуатацию КС введена в 1975 г. КА «УС-А» запускались на низкие орбиты с высотой около 270 км и наклонением около 65°. В 1988 г. эксплуатация КА этого типа прекращена.

В 1978 г. США был запущен океанографический КА «Seasat». Этим запуском, по сути, определены основные направления использования космических океанографических РЛ-систем ДЗЗ: получение перспективных РЛ-снимков морской поверхности (РЛС БО), определение параметров поля ветра (скаттерометры) и определение топографии поверхности (альтиметры).

Космическая океанографическая система «Океан» («Січ»). Эксперимент «Океан-Э». Как уже отмечено, в 1977 г. было принято решение о создании в СССР эксплуатационной КС исследования природных ресурсов «Ресурс» и ее океанографической подсистемы «Океан». Решение такой масштабной задачи потребовало координированных усилий научно-исследовательских и производственных организаций многих ведомств страны. Первым шагом на пути создания КС стало проведение космического эксперимента «Океан-Э». Функции головной организации по эксперименту в целом были возложены на МГИ АН УССР. Научным руководителем работ стал директор МГИ АН УССР, академик АН УССР Б.А. Нелепо, ответственным исполнителем работ – заведующий отделом института, к.т.н. Ю.В. Терехин.

В то время в институте частыми гостями были руководители национальных космических программ Р.З. Сагдеев (директор ИКИ АН СССР), Н.А. Арманд (заместитель директора ИРЭ АН СССР), Дж. Апель (США), Р.К. Мур (США) и другие ведущие специалисты в области космических исследований. В свою очередь, сотрудников института часто можно было увидеть в космических научных центрах многих стран, таких как США, Германия, Чехословакия и др.

Первым шагом в создании КС «Океан» стало проведение космического эксперимента «Океан-Э»¹. Его основные задачи сформулированы в [5].

Создание КА «Океан-Э» было поручено конструкторскому бюро космических аппаратов и систем (КБ-3) КБ «Южное», главными конструкторами которого в период разработки и создания КС «Океан» являлись: В.М. Ковтуненко, Б.Е. Хмыров, С.Н. Коныхов и В.И. Драновский. Прототипом океанографического КА стал КА «Целина» [1] с существующей инфраструктурой обеспечения эксплуатации, что позволило заметно снизить как трудоемкость, так и сроки создания КА «Океан-Э».

В состав бортового информационно-измерительного комплекса (БИИК) КА «Океан-Э» вошли (см. например [6, 7]) трассовые системы ДЗЗ: фотометр видимого диапазона; поляризационный радиометр СВЧ-диапазона; спектрометр ИК-диапазона; аппаратура вызова абонентов АВА и сбора информации БУКАЗ-КА, а также блок управления работой исследовательской аппаратуры БУК-ИА. В создании аппаратуры БИИК этих КА принимали участие МГИ АН УССР, ИРЭ АН УССР, СКТБ МГИ АН УССР, СКТБ ИРЭ АН УССР, ОКБ МЭИ и другие организации и предприятия.

В соответствии с программой работ было осуществлено два запуска КА: в 1979 г. запущен КА «Океан-Э» №1 («Космос-1076») и в 1980 г. – КА «Океан-Э» №2 («Космос-1151») [1]. Отметим, что на борту КА «Космос-1151» был установлен технологический РЛ-комплекс «Сигма-А», на котором были проверены основные схемно-технические и технологические решения будущей обзорной РЛС БО. Результаты эксперимента «Океан-Э» опубликованы в монографиях [8, 9] и в отдельных

¹ Решение о проведении эксперимента «Океан-Э» и о создании одноименных экспериментальных КА было принято в 1976 г.

номерах журналов «Исследование Земли из космоса», «Морские гидрофизические исследования», «Океанология» и др.

Эксперимент «Интеркосмос». КА «Интеркосмос-20» и «Интеркосмос-21» были запущены в 1979 и 1981 гг. соответственно. В этих работах основное внимание было уделено отработке методик определения оптических характеристик вод морских акваторий.

Океанографический КА «Океан-ОЭ». Радиолокационная станция бокового обзора. Результаты экспериментов «Океан-Э» и «Интеркосмос» стали основой для создания оперативных КА, ориентированных уже на получение перспективных снимков морских акваторий. Эти КА получили название «Океан-ОЭ» – «оперативный, экспериментальный». Новыми, в сравнении с КА «Океан-Э», элементами их БИИК стали [10]: комплекс радиофизической аппаратуры (РФА) в составе обзорной РЛС БО с реальной апертурой приемной антенны и сканирующего радиометра, работающего в 8-миллиметровом диапазоне радиоволн (РМ08) и радиотелевизионный комплекс (РТВК), аналогичный применявшемуся на отечественных метеорологических ИСЗ «Метеор».

Идея разработки РЛС БО и ее постановки на борт отечественных океанографических КА принадлежит А.И. Калмыкову и базируется на результатах более чем 35-летних исследований основных закономерностей рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью, проведенных в ИРЭ АН УССР (см., например [2, 3]).

Станция при умеренном волнении обеспечивала наблюдение морской поверхности в полосе, имеющей ширину около 450 км при среднем пространственном разрешении около 1 км. Ее технической основой стали разработки ИРЭ АН УССР в области создания радиоокеанографических РЛ-систем и разработки МГИ АН УССР в области создания автоматизированных систем обработки океанографической информации. В ее разработке и изготовлении участвовали ИРЭ АН УССР и СКТБ ИРЭ АН УССР, МГИ АН УССР и СКТБ МГИ АН УССР, КБ-3 КБ «Южное», ПО ЮМЗ и машиностроительные предприятия Харькова. Специалистами Львовского политехнического института создана сканирующая антенна РМ08.

Пространственное разрешение РЛС БО оптимизировано для наблюдения мезомасштабных гидродинамических процессов. Информационные параметры системы выбраны

так, чтобы обеспечить возможность приема РЛ-снимков сетью пунктов приема спутниковой информации Госкомгидромет'а СССР.

В соответствии с программой эксперимента «Океан-ОЭ» [10] было осуществлено два запуска КА: 28 сентября 1983 г. запущен КА «Океан-ОЭ» № 1 («Космос-1500»), а ровно через год – 28 сентября 1984 г. запущен КА «Океан-ОЭ» № 2 («Космос-1602»).

Информация, получаемая с помощью РЛС БО КА «Космос-1500», широко использовалась в октябре 1983 г. на Северном морском пути при выводе из ледового плена каравана из 22 судов, «затертых» в районе пролива Лонга². РЛС БО в условиях полярной ночи стала единственным³ источником информации о состоянии ледового покрова. В последующем РЛ-информация использовалась для контроля ледовой обстановки при выводе из ледового плена Антарктиды научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов» (1984 г.), при проводке караванов в Охотском море (1985 г.) и Татарском проливе в (1985 г.) и т.д. [1]. РЛС БО стала эффективным средством раннего обнаружения тропических штормов и ураганов. Получаемая с ее помощью информация использовалась при контроле интенсивности весенних паводков в Украине и т.д.

Основные итоги работы экспериментальных КА «Океан-ОЭ» подробно рассмотрены в коллективной монографии [7] и в статьях тематического выпуска журнала «Исследование Земли из космоса» [11], в отдельных выпусках журналов «Морские гидрофизические исследования», «Океанология» и др. Одним из итогов работы стала организация в сжатые сроки серийного изготовления РЛС БО на одном из предприятий радиотехнической промышленности.

Космические аппараты «Океан-О1». 6 февраля 1985 г. было принято постановление правительства СССР о принятии КА «Океан-ОЭ» в опытную эксплуатацию под индексом «Океан-О1». В период с 1986 по 1994 гг. было запущено шесть таких КА. Внешний вид КА «Океан-О1» показан на рисунке.

Разработка КС «Океан» отмечена Государственной премией СССР, многие ее участ-

² К моменту запуска КА одно судно каравана было уже раздавлено и утонуло, а еще одно имело пробойную выше ватерлинии. Стоимость грузов составляла около 8 миллиардов долларов США [12], что превышало стоимость создания и эксплуатации КА «Космос-1500».

³ Для КА УС-А КС «Легенда» район катастрофы находился вне поля наблюдения.

ники награждены орденами и медалями СССР. КА «Океан-О1» экспонировался на ВДНХ СССР и на международном авиакосмическом салоне в Ле-Бурже (Франция).

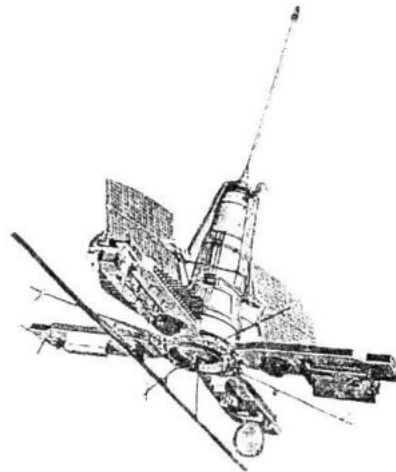


Рисунок – КА «Океан-О1»

Космический аппарат «Океан-О». Следующим шагом в создании КС «Океан» стала разработка КА «Океан-О». Его целевое назначение состояло [1] в обеспечении съемок в оптическом, инфракрасном и микроволновом диапазонах с низким, средним и высоким пространственным разрешением для изучения Мирового океана и суши в интересах народного хозяйства и наук о Земле. Он отличался от своих предшественников как конструктивно, так и составом аппаратуры БИИК. При этом, более мощная система электропитания и более точная система ориентации позволяли получать качественно новую информацию. КА был запущен на штатную орбиту 17 июля 1999 г., срок его активной работы превысил гарантийный ресурс (3 года). С его помощью было получено много интересной океанографической информации.

Космический аппарат «Січ-1». После распада СССР Украина, опираясь на имеющиеся научную и производственную базы, приступила к созданию Национальной космической наблюдательной системы «Січ» и в сжатые сроки смогла создать как океанографический КА «Січ-1» (запущен под юрисдикцией Украины и России 31 августа 1995 г. [13]), так и необходимую наземную инфраструктуру управления, приема, обработки и распространения получаемой информации. Институты НАН Украины стали активными участниками этих работ, разрабатывая концепцию построения центров приема, обработки и распространения спутниковой информации, создавая оригинальное программ-

но-математическое обеспечение приема, предварительной и тематической обработки получаемой информации (внедрено в Национальном центре управления и испытаний космических средств – НЦУИКС), а также выполнения функции экспериментальных региональных центров приема, обработки и распространения спутниковых данных.

КА «Січ-1» проработал на орбите 8 лет 4 месяца и 15 дней (при гарантийном сроке – 6 месяцев!) – работы с ним были прекращены только 15 января 2004 г. [14]. 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, в том числе осуществлено:

- обеспечение Госкомгидромет'а Украины необходимой информацией в период угрозы весеннего паводка в 1996, 1998 и 2000 годах;

- обеспечение в период с октября 1999 г. по май 2000 г. проводки НИС «Горизонт» 5-ой украинской антарктической экспедиции на станцию «Академик Вернадский» и т.д.

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». КА «Січ-1М» являлся многоцелевым аппаратом, предназначенным для наблюдения поверхности Земли в видимом, среднем ИК- и СВЧ-диапазонах в интересах хозяйственной деятельности и проведения научных исследований в различных областях физики моря и атмосферы Земли. На борту КА был установлен БИИК в составе: РЛС БО с полосой обзора 700 км, сканирующий радиометр РМ08; усовершенствованный многозональный сканер МСУ-ЭУ; температурно-влажностный зондировщик атмосферы и океана МТВЗА-ОК с полосой обзора 2000 км и аппаратура для исследования тонкой структуры электрических токов, низкочастотных электрических и магнитных полей в плазме ионосферы [1, 15].

Для передачи информации с борта КА на сеть приемных пунктов использован широкий набор бортовых передающих устройств в диапазонах 137.4 МГц, 1.7 ГГц и 8.2 ГГц⁴.

⁴ Это создавало возможность использования для приема информации практически всего существующего в мире парка приемных станций (более 1000 станций канала 137 МГц, более 200 – 1.7 ГГц и более 30 – 8.2 ГГц) [16].

Запущенный 24 декабря 2004 г. КА был выведен на нерасчетную орбиту [17]. Несмотря на это и краткий срок эксплуатации (работы с КА прекращены 8 августа 2005 г. [18]) был выполнен этап летно-конструкторской отработки усовершенствованной РЛС БО и получено много интересной информации.

Заключение. Рассмотрены основные этапы создания и развития отечественной космической океанографической наблюдательной системы «Океан» («Січ»). Ведущая роль в ее создании принадлежит специалистам академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий Украины. Полученный опыт показал, что круг тематических задач, решение которых возможно на основе использования спутниковой информации, весьма широк и охватывает различные области фундаментальных и прикладных наук о Земле и Мировом океане.

Современный [19] этап в развитии космической океанологии (океанографии), как одного из направлений использования спутниковой информации, характеризуется дальнейшим развитием как в техническом, так и в методическом плане. Совершенствуются средства получения информации и методы обработки и усвоения данных: создаются системы автоматизированной обработки, внедряются ГИС-технологии и т.д. В этом направлении специалистами МГИ НАН Украины разработан и введен в эксплуатацию программный комплекс и Web-страница (морской портал) информационной системы «Аквакосмос» для мониторинга Черного и Азовского морей, создаваемой в соответствии с европейскими стандартами с перспективой последующей интеграции в международные системы GMES и GEOSS [20].

Развиваются и представления о физических механизмах формирования информационных сигналов в различных участках спектра электромагнитных волн, РЛ-сигналов в частности (см., например [21]).

В настоящее время Украина приступает к реализации Общегосударственной космической программы на 2008-2012 гг. В рамках ее направления «Дистанционное зондирование» [22] предусматривается создание и развертывание группировки КА наблюдения Земли и геофизического мониторинга «Січ», создание системы геоинформационного обеспечения

как части европейской системы GMES и мировой GEOSS и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. – 232 с. [Электронный документ] <http://epizodspace.testplot.ru/bibl/kb-jujn/06.html>
2. F.G. Bass, I.M. Fuks, A.I. Kalmykov et al. Very High Frequency Radiowave Scattering by a Disturbed Sea Surface, Parts I and II // IEEE Trans. Antennas and Propagat. – 1968. – vol. AP-16. – P. 554–559 and 560–568.
3. Ф.Г. Басс, И.М. Фукс. Рассеяние радиоволн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972. – 424 с.
4. И. Афанасьев. К истории разработки спутников морской радиоразведки // Новости космонавтики. – 2007, №1 [Электронный документ] <http://www.novosti-kosmonavtiki.ru/content/numbers/288/36.shtml>
5. Б.А. Нелепо, Н.А. Арманд, Б.Е. Хмыров и др. Эксперимент «Океан» на искусственных спутниках Земли «Космос-1076» и «Космос-1151» // Исследование Земли из космоса. – 1985, №3. – С. 5–12.
6. Космические аппараты «Океан-01». Сайт космодрома «Плесецк». Информационный бюллетень пресс-центра космодрома «Плесецк» № 36 от 11 октября 1994 г. [Электронный документ] <http://www.plesetzka.ru/index.php?p=inf036&d=doc/inf>
7. 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.: Гидрометеиздат. – 1990. – 200 с.
8. Б.А. Нелепо, Ю.В. Терехин., В.К. Коснырев и др. Спутниковая гидрофизика. – М.: Наука. – 1983. – 253 с.
9. Б.А. Нелепо, Г.К. Коротаев, В.С. Суетин и др. Исследование океана из космоса. – Киев, Наукова думка. – 1985. – 168 с.
10. Ю.А. Афанасьев, Б.А. Нелепо. Программа экспериментов на ИСЗ «Космос-1500» // Исследование Земли из космоса. – 1985. – №3. – С. 3–9.
11. Исследование Земли из космоса. – М.: Наука. – 1985, №3. – 128 с.
12. И. Сердюк, В. Цымбал. Пока не грянул гром // Международный общественно-политический еженедельник. – 2005, №13 (541). [Электронный документ] <http://www.zerkalo-nedeli.com/nn/show/541/49716>
13. С.Н. Конюхов, В.И. Драновский. Разработка спутников для дистанционного зондирования Земли. [Электронный документ] / Аэрокосмический портал Украины. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/0/da5a4e4c78630f8cc2256c36003a233e?OpenDocument>.
14. 10 лет назад был запущен первый украинский спутник «Сич-1». Аэрокосмический портал Украины. [Электронный документ] <http://space.com.ua/gateway/news.nsf/AllnewsR/9F97D142A5AF4178C225706E00260EF1?openDocument>
15. Українська програма спостережень Землі із космосу. – Київ, НКАУ. – 2005. – 94 с.
16. «СИЧ-1М» выходит в космос. // Военно-промышленный курьер. – 2005, № 2(69), 15-25 января. [Электронный документ] http://www.vpk-news.ru/article.asp?pr_sign=archive.2005.69.articles.company_02
17. Железняков А. Космический мир. Энциклопедия «Космонавтика». Хроника освоения космоса. Запуски космических аппаратов. [Электронный документ] <http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/chrono/index.shtml>
18. КА «СИЧ-1М» прекратил работу. Сайт Научного Центра оперативного мониторинга Земли. [Электронный документ] http://www.ntsomz.ru/news/news_center/sich_finish.html
19. Г.К. Коротаев, В.Н. Еремеев. Введение в оперативную океанографию Черного моря. – Севастополь.: «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2006. – 382 с.
20. Космічна програма. Аэрокосмический портал Украины. [Электронный документ] <http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/mainU/175696F87AF711EBC3256BF80052D39A?OpenDocument&Lang=U>
21. V. Kudryavtsev, D. Hauser, G. Caudal et al. A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. 1. Background model // J. Geophys. Res. – 2003. – 108 (C3), 8054, doi:10.1029/2001JC001003.
22. В. Горбулин, О. Федоров. Украина космическая: старты в будущее // Зеркало недели, № 31 (660), 24-31 августа 2007. [Электронный документ] <http://www.zn.ua/3000/3100/60221>