

- 71—80.
4. Burenkov V. I., Kopelevich O. V., Sheberstov S., et al. Bio-optical characteristics of the Aegean Sea retrieved from satellite ocean color data // *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Eds P. Malanotte-Rizzoli, V. N. Eremeev. — Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 1999.—P. 313—326.
  5. Gordon H. R., Clark D. K., Brown J. W., et al. Phytoplankton pigment concentration in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determination and CZCS estimates // *Appl. Opt.*—1983.—22, N 1.—P. 20—36.
  6. McClain C. R., Barnes R. A., Eplee R. E., et al. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses. Part 2 // *NASA Technical Memo. 2000-206892.*—2000.—10.—57 p.
  7. McClain C. R., Cleave M. L., Feldman G. C., et al. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research // *Sea Technology.*—1998.—39.—P. 10—16.
  8. Morel A. In-water and remote measurements of ocean color // *Boundary.—Layer Meteorol.*—1980.—18.—P. 177—201.
  9. O'Reilly J. E., Maritorena S., Mitchell B. G., et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS // *J. Geophys. Res.*—1998.—103.—P. 24937—24953.
  10. Roesler C. S., Perry M. J. In situ phytoplankton absorption, fluorometric emission, and particulate backscattering spectra determined from reflectance // *J. Geophys. Res.*—1995.—100.—P. 13279—13294.
  11. Suslin V. V., Suetin V. S., Kucheryaviy A. A., Korolev S. N. Possibilities of the Black Sea bio-optical characteristics estimation from SeaWiFS data // *Proc. Internat. conf. «Current problems in Optics of Natural Waters: ONW-1» St.-Peterburg, Russia, Sept 25-28, 2001.* — St.-Peterburg, 2001.—P. 222—227.
  12. Tassan S. Local algorithms using SeaWiFS data for the retrieval of phytoplankton pigments, suspended sediment, and yellow substance in coastal waters // *Appl. Optics.*—1994.—33, N 12.—P. 2369—2378.

## Космический эксперимент «Мониторинг морских акваторий»

Г. К. Коротаев<sup>1</sup>, В. В. Малиновский<sup>2</sup>, В. В. Пустовойтенко<sup>2</sup>,  
Л. Н. Радайкина<sup>1</sup>, С. В. Станичный<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь

<sup>2</sup>ООО ДВС-ЛТД, Севастополь

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов, протекающих в океанах и морях, а так же в атмосфере над ними, на основе данных дистанционного зондирования начато практически запуском первых космических аппаратов (КА) и орбитальных станций. Первоначально для этого использовались визуальные и фотографические наблюдения. В последующем были созданы обширный инструментальный парк средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и специализированные КА: метеорологические, океанографические, исследования природных ресурсов и т. д. К их числу относятся КА типа NOAA, «Nimbus», SEASAT, ERS, SeaSat, многие КА серии «Космос», «Ресурс», «Океан» и др.

Приход космических средств и методов в морские науки придал им новые качества. Во-первых, появилась возможность наблюдения в реальном времени или с небольшой задержкой любых регионов Мирового океана. Во-вторых, появилась возможность перейти на новый уровень изучения процессов, протекающих в морях и океанах — на уровень изучения целостных образов этих процессов. Наконец, современные радиолокационные средства ДЗЗ

позволяют наблюдать процессы независимо от условий освещенности, времени года и местных погодных условий.

В 70—90 годы XX века в отечественной спутниковой океанологии развивались и поддерживались исследования, долгосрочная цель которых состояла в реализации непрерывного мониторинга Мирового океана на основе использования спутниковой информации и информации, получаемой на гидрологических разрезах, выполняемых в рамках программы «Разрезы» [6]. Эти работы начаты запуском океанографических КА «Космос-1076, -1151», в последующем продолжены запуском КА «Космос-1500, -1602» и др. Основные итоги этих работ обобщены в [6—8]. Полученные результаты легли в основу создания целевой долгосрочной программы «Океан» [6].

Очевидно, что в современных условиях подобная глобальная программа, обеспечивавшая в те годы получение более половины общего мирового объема океанографических данных, вряд ли может быть реализована усилиями одной страны. Поэтому в последние годы акцент в использовании спутниковой информации смещен в пользу решения региональных задач. Работы в этом направлении на

Украине начаты запуском КА «Січ-1» [4] и продолжены в последующем запуском КА «Океан-О».

Морской гидрофизический институт НАН Украины, применяя многолетний опыт использования спутниковой информации при решении фундаментальных и прикладных задач физики моря, реализует в масштабах Черного моря прототип региональной космической наблюдательной системы [3]. При этом, наряду с использованием собственно спутниковой информации, предполагается широкое использование сопутствующей океанографической (океанологической) и метеорологической информации, а также информации, получаемой с помощью дрейфующих автоматических буйковых станций (дрифтеров) [5]. Предполагается, что источником оперативной спутниковой информации в рамках этой системы станет КА «Січ-1М» [1].

#### КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «Січ-1М»

Космический аппарат «Січ-1М» создается на базе платформы, хорошо зарекомендовавшей себя при создании океанографических КА типа «Космос-1500, -1602», «Океан-01» и «Січ-1», и предназначен для оперативного сбора данных о состоянии Мирового океана и суши, передачи этих данных по радиоканалам на пункты приема Планируемый срок его запуска — 2003 г. [1].

Предполагается оснащение КА «Січ-1М» уникальным бортовым информационно-измерительным комплексом (БИИК), включающим в себя следующие комплексы ДЗЗ [1]:

- радиолокационную станцию бокового обзора (РЛС БО) с реальной апертурой антенны;
- сканирующий радиометр 8-мм диапазона РМ-08;
- многозональное оптико-механическое сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-М);
- многозональное оптико-электронное сканирующее устройство высокого разрешения (МСУ-ЭУ);
- оптико-микроволновый сканер МТВЗА-ОК с блоками СВЧ-, видимого и ИК-диапазонов.

КА оснащается также аппаратурой для исследования электрофизических характеристик ионосферы «Вариант» и аппаратурой спутниковой навигации (АСН).

Отличительной особенностью КА «Січ-1М» является использование для передачи информации бортовых радиолиний, работающих в частотных диапазонах 137 МГц, 1.7 и 8.2 ГГц, позволяющих принимать информацию практически всему мировому парку станций приема спутниковой информации. Это, безусловно, позволяет удовлетворить потребности как отечественных, так и зарубежных потребителей космической информации.

Другой особенностью КА «Січ-1М», в сравнении с предшествовавшими ему КА аналогичного класса, является расширение ширины полосы обзора РЛС БО. Это, безусловно, расширяет ее возможности РЛС БО при наблюдении морских акваторий и таких опасных гидрометеорологических образований, как тайфуны (речь идет о наблюдении проявления тайфунов и других опасных гидрометеорологических образований на морскую и океанскую поверхность).

Суммарные затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию в течение года системы «Січ-1М» оцениваются в 18 млн долл. США, в то время как стоимость системы аналогичного класса NOAA оценивается в 100 млн долл. США [2]. Другими словами, космическая наблюдательная система, построенная на основе КА «Січ-1М», обладает экономической эффективностью на мировом рынке космических технологий. Немаловажным фактором, повышающим ее эффективность, является то, что ведущие научные организации Украины, занимающиеся вопросами использования информации ДЗЗ в области морских наук и технологий, имеют многолетний опыт работы с космической информацией и соответствующие наработки методического и программно-математического обеспечения первичной и тематической обработки данных. К их числу прежде всего относятся МГИ НАН Украины, ЦРЗЗ НАНУ—НКАУ им. А. И. Калмыкова, ЦАКИЗ и ряд других.

Имеющийся опыт показывает, что на основе использования спутниковой информации, получаемой с помощью КА класса «Січ-1М», в том числе радиолокационной, возможна оценка многих характеристик морской поверхности, приводного слоя атмосферы и ледового покрова, определяющих состояние морских экологических систем, а также экологических систем в зоне сопряжения «суша—море». К их числу относятся: интенсивность волнения (положение штормовых областей); скорость и направление ветра в приводном слое атмосферы; положение морских температурных фронтальных зон; параметры морских и атмосферных внутренних волн; положение, конфигурация ледовых полей и сплоченность льда в них; влагозапас и водность облачности и ряд других [6—8].

#### КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «МОНИТОРИНГ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ»

Космический эксперимент (КЭ) «Мониторинг морских акваторий» направлен на получение данных о состоянии морских акваторий и их прибрежных областей с целью информационного обеспечения решения фундаментальных и прикладных задач

физики моря по таким основным направлениям:

- мониторинг топографии морских акваторий;
- мониторинг параметров поля ветра над морскими акваториями;
- мониторинг поля температуры морской поверхности;
- мониторинг параметров ледового покрова на морских акваториях (концентрация, дрейф и размеры ледовых полей);
- решение задач в области морской биологии и экологии.

Измерения перечисленных параметров в своей совокупности дают исходные данные для расчета и прогноза циркуляции, первичной продукции, продукции рыбных ресурсов и граничных условий для прогноза погоды и климатических изменений, оценки экологического состояния морских акваторий и т. д.

Выполнение КЭ позволит развить методики тематической интерпретации информации, получаемой с помощью средств ДЗЗ отечественной космической наблюдательной системы «Січ» и на этой основе:

- апробировать методики оперативного мониторинга циркуляции вод в Черном море по данным спутниковых измерений, получить данные о региональных особенностях поля ветра и волнения в Азово-Черноморском бассейне и в восточном Средиземноморье и изучить особенности радиолокационной наблюдаемости морских температурных фронтальных зон в различных гидрометеорологических условиях;

- в квазиоперативном режиме выявить вероятные источники загрязнения прибрежной области Черного моря, определить вероятные пути переноса загрязнений оценить степень антропогенного воздействия на его прибрежную область;

- сформулировать рекомендации по комплексному использованию спутниковой и сопутствующей информации в системе регионального и глобального мониторинга поля ветра в приводном слое атмосферы над морскими акваториями и по использованию спутниковых данных в системе обеспечения безопасности мореплавания в Азово-Черноморском бассейне и Восточном Средиземноморье.

- получить теоретические и экспериментальные оценки точности регрессионного алгоритма определения ТПО и параметров скорости ветра с использованием поляризационных и поляризационно-спектральных измерений аппаратуры МТВЗА-ОК и отработать элементы эксплуатационной методики определения ТПО и параметров поля ветра в регионе Северной Атлантики по данным дистанционных измерений аппаратуры МТВЗА-ОК и РЛС БО КА «Січ-1М» и сформулировать рекомендации по оптимизации спектрального состава каналов спут-

никового СВЧ-зондировщика атмосферы;

- провести комплексную съемку приантарктического района (района антарктической станции «Академик Вернадский»), определить фактическое положение ледовой кромки в контролируемом районе и получить данные по динамике ее перемещения, получить данные о реальной ледовой обстановке непосредственно в районе нахождения станции и выработать рекомендации по использованию спутниковой информации в интересах решения задач физики моря, характерных для приантарктического региона, и обеспечения безопасности мореплавания в этом регионе.

В процессе выполнения КЭ, наряду с использованием данных, получаемых с помощью комплекса ДЗЗ КА «Січ-1М», предполагается широкое использование доступных данных, получаемых с помощью комплексов дистанционного зондирования других КА (NOAA, ENVISAT, TOPEX/POSEIDON и др.), а также доступных гидрометеорологических и гидрологических (контактных) данных. Для этого будут широко использоваться возможности технических средств МГИ НАН Украины (HRPT- и АРТ-станции приема спутниковой информации, станции приема факсимильной и первичной гидрометеорологической информации и др.), возможности получения необходимой информации по сети Интернет, а так же возможности получения информации, обеспечиваемые участием института в международных морских и космических программах.

Основными районами, наблюдение которых предполагается осуществить в ходе выполнения КЭ, являются:

- Черное и Азовское моря, моря восточного Средиземноморья, Мраморное и Эгейское моря;

- Северная Атлантика, течение Гольфстрим, пролив Ла-Манш;

- Антарктида и приантарктический район.

Черное и Азовское моря и моря Восточного Средиземноморья являются традиционной МГИ НАН Украины областью спутникового мониторинга.

Северная Атлантика также является регионом Мирового океана, входящим в сферу научных интересов МГИ НАН Украины. Институт располагает обширным фактическим материалом об основных гидрологических и океанографических параметрах, характеризующих этот регион. Его регулярные спутниковые наблюдения начаты запуском КА «Космос-1076, -1151» и продолжены запуском КА «Космос-1500, -1602» и «Січ-1». Регион характеризуется наличием в нем энергоактивных зон, через Северную Атлантику проходит течение Гольфстрим. Район является своеобразной «кухней», оказывающей заметное влияние на климатические и погодные условия в европейских странах, в том числе — и в Украине. Район является источником

зарождения и развития опасных гидрометеорологических явлений, в частности ураганов и тайфунов.

Антарктида и приантарктический район представляет интерес и как один из динамически активных районов Мирового океана и как район нахождения полярной антарктической станции «Академик Вернадский».

Кроме непосредственного наблюдения интересующих районов с помощью средств ДЗЗ КА «Січ-1М» и сбора сопутствующей информации, в рамках КЭ предусматриваются контрольно-калибровочные измерения. Необходимость их проведения диктуется следующими обстоятельствами:

— методики тематической интерпретации спутниковой информации (в частности радиолокационной) еще далеки от совершенства, что в ряде случаев исключает возможность однозначной интерпретации получаемых данных;

— характеристики средств ДЗЗ подвержены изменениям, не поддающимся учету за счет использования внутренних калибровок аппаратуры.

Это требует для обеспечения достоверности и репрезентативности получаемой информации систематического измерения параметров информационного сигнала спутниковых комплексов ДЗЗ при наблюдении тестовых районов, характеристики которых стабильны.

Для РЛС БО такими тестовыми районами могут быть тропические леса Амазонки, пески пустыни Сахара и морские полигоны, на которых синхронно со спутниковыми наблюдениями осуществляется определение гидрометеорологических и океанографических характеристик акватории, влияющих на формирование радиолокационного сигнала. Для оптической аппаратуры такими тестовыми районами могут быть участки консервативных морских акваторий и т. д.

Общая методология организации и проведения контрольно-калибровочных работ подробно рассмотрена в работе [6]. Там же определены и основные задачи, контрольно-калибровочных измерений, в том числе:

— отработка методов и средств контрольно-калибровочных измерений;

— отработка методов и средств дистанционного зондирования морской (океанской) поверхности и атмосферы в строго контролируемых гидрометеорологических условиях;

— оценка качества функционирования бортовой аппаратуры ДЗЗ в процессе ее эксплуатации;

— оценка точности гидрофизических характеристик и восстановления измеряемых полей;

— организация метрологического обеспечения спутниковых средств ДЗЗ, а также средств контрольно-калибровочных измерений и ряд других.

В качестве одного из возможных контрольно-калибровочных полигонов (ККП) рассмотрен Черноморский КПП, полностью охватывающий акваторию Черного моря, и имеющий в своем составе разнообразные средства измерений, включая самолет-лабораторию АН-30, быстроходное судно типа «Комета».

Безусловно, в современных условиях организация сети ККП, на которых обеспечивался бы широкий спектр гидрологических и океанографических измерений в полном объеме, как это предусматривалось в [6], представляется весьма проблематичной. Вместе с тем при сужении круга задач вполне осуществимо выполнение необходимых измерений на ограниченных акваториях (мини-полигонах).

В рамках КЭ «Мониторинг морских акваторий» в качестве такого мини-полигона предусматривается использовать Морской экспериментальный полигон МГИ НАН Украины и имеющуюся на нем инфраструктуру. Полигон имеет в своем составе морскую экспериментальную платформу, оснащенную необходимым набором стандартной и оригинальной гидрометеорологической, гидрологической и океанографической аппаратуры, а также плавсредства, обеспечивающие возможность выполнения измерений на прилегающих к полигону участках морской поверхности.

1. Загоруйко А. Н., Богомья В. И. Перспективы внедрения ГИС/ДЗЗ технологий в решении прикладных региональных задач // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь, 2001.
2. Зубко В. П. Дистанційне зондування Землі в космічній програмі України // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. — Київ: ЦАКДЗ, 1999.—С. 19—26.
3. 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 / МГИ НАН Украины).
4. Міжвідомча науково-прикладна програма використання інформації з космічного апарата для спостереження Землі «Січ-1». — Київ, 1995.—27 с.
5. Мотыжев С. В. Исследование поверхностной циркуляции в Черном море с помощью дрейфующих буев со спутниковой связью // Морской гидрофизический журн.—1998.— № 6.—С. 65—71.
6. Нелепо Б. А., Коротаев Г. К., Суетин В. С. и др. Исследование океана из космоса. — Киев: Наук. думка, 1985.—168 с.
7. Нелепо Б. А., Терехин Ю. В., Коснырев В. К. и др. Спутниковая гидрофизика. — М.: Наука, 1983.—253 с.
8. Радиолокация поверхности Земли из космоса. — Л.: Гидрометеоиздат. 1990.—200 с.