

ОБЗОР ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. А. Асташкин, А. В. Карелин, Ю. А. Кузьмин,
О. К. Маргун, Т. С. Маркелова,
Н. В. Наговицына, Е. М. Твердохлебова

Дан обзор действующих и перспективных орбитальных группировок зарубежных космических аппаратов, связанных с изучением океана. Представлены основные задачи наблюдения океана, перспективная целевая аппаратура и космические аппараты, на которых планируется её размещение. Рассмотрен состав и распределение по спутникам целевой аппаратуры океанографического назначения. Рассмотрены предложения по составу целевой аппаратуры на российских океанографических космических аппаратах и орбитальному построению перспективной российской космической системы «Океан».

Ключевые слова: космический мониторинг океана, океанографическая космическая система, космические аппараты, целевая аппаратура, орбитальная группировка.

Россия и многие государства имеют свои экономические интересы в области судоходства, для удовлетворения которых необходимо информационное обеспечение и регулярные данные о надводной обстановке. Существенную роль в метеорологических процессах играет Мировой океан и его значимые явления: приводный ветер, волнение поверхности и штормовые зоны; солёность, цвет, зоны интенсивной морской биопродуктивности; температура морской поверхности, поверхностные течения и ледовая обстановка [1, 2].

Каждая группа задач [1, 2] требует для постоянного мониторинга своих специальных приборов. Для мониторинга совокупности явлений в океане используются достаточно установившийся комплекс приборов целевого назначения:

- скаттерометр для мониторинга приводного ветра;
- сканер ИК-диапазона для регистрации поля температур на морской поверхности;
- многозональные сканеры для регистрации цвета морской поверхности в прибрежной зоне и в открытых регионах океана, а также для обнаружения районов повышенной биопродуктивности;
- сверхвысокочастотный (СВЧ) – радиометр для определения солёности морской воды;
- радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) для контроля ледовой обстановки в северных и южных полярных широтах: топографии морского ледяного покрова, типа, толщины и состояния морского льда, а также для регистрации интенсивности осадков;
- радиолокационный высотомер для оценки высоты волн и абсолютного уровня поверхности океана.

В табл. 1 приведены основные группы задач исследования поверхности океана, приборы для их решения, требуемые информационные параметры (полоса захвата, время покрытия земной поверхности, разрешение) и планы создания зарубежных и

отечественных измерительных средств.

Целью настоящей работы является выработка ключевых предложений по созданию перспективной российской космической системы океанографического назначения на основе анализа зарубежных космических спутниковых систем, решающих задачи наблюдения океанов.

Действующая орбитальная группировка КА в мире, связанных с изучением океана, по состоянию на май 2018 г. [3] составляет 39 КА, в указанное число входят как КА чисто океанографического назначения, так и многофункциональные КА, космическая информация с которых может быть использована для решения океанографических задач (это могут быть КА оперативной метеорологии, радиолокационные КА и т. д.).

Орбитальная группировка (ОГ) КА ДЗЗ США, связанных с изучением океана составляет 17 КА. Совместно с другими странами США используют 2 КА (JASON-2 и JASON-3).

С помощью многофункциональных космических аппаратов оперативной гидрометеорологии на солнечно-синхронных орбитах (ССО) (NOAA-15, -18, -19 и -20, SNPP массой более 2200 кг) может быть осуществлён мониторинг океана с помощью целевой аппаратуры, размещённой на этих спутниках: – AVHRR/3 (6-канальный оптический радиометр, в диапазонах VIS, NIR, SWIR, MWIR и TIR), для мониторинга морского ледяного покрова; HIRS/3 и HIRS/4 (ИК-зондировщик 20 каналов, включая один VIS) – для мониторинга температуры поверхности моря.

КА Coriolis (827 кг) с помощью конического сканирующего микроволнового радиометра WindSat (частоты: 6,8; 10,7; 18,7; 23,8; 37,0 ГГц) позволяет проводить мониторинг температуры поверхности моря, морского ледяного покрова, скорости и направления ветра над поверхностью моря.

Таблица 1

**Приборные комплексы перспективных космических аппаратов
для решения основных задач наблюдения океанов**

Параметр	2020	2025	2030
Высота волн и поверхности Поверхностные течения	Альтиметр Poseidon 3B (KA Jason-3) 30 км, 10 сут; Радиолокационный альтиметр с синтезированной апертурой SRAL (KA Sentinel- 3A,-3B) 20 км, 10 сут	Альтиметры Altimeter и SHIOSAI (KA COMPIRA) 20 км, 5 км, 14 сут, 7 сут; Альтиметры Altimeter и KaRIN (KA SWOT) 20 км, горное 1 км, вертикальное 0,1 м; 14 сут	Радиолокационный альтиметр с синтезированной апертурой SRAL (KA JASON-CS-A) 20 км, 10 сут
Вектор приводного ветра	Скаттерометр ASCAT (KA Metop-C) 25 км, 1,5 сут; Скаттерометр OSCAT (KA Oceansat-3, 3A); 25км, 1 сут	Скаттерометр WindRAD (KA FY-3H, 3E) 10 – 20 км, 1 сут; SCAT (KA CFOSAT follow-on) 50 – 10 км, 7 сут	Скаттерометр SCA (KA Metop-SG-B2) 15 – 20 км, 1,5 сут
Температура поверхности океана (ТПО)	ИК-сканер HIRAS (KA FY-3D) 16 км; 0,5К; 0,5 сут SLSTR (KA Sentinel-3A) 0,5 – 1,0 км; 0,5К; 1 – 2 сут	ИК-сканер CrIS (KA JPSS-2) 14 км; 0,5 К; 0,5 сут	ИК-сканер IASI-NG (Metop-SG-A1) 12 км; 0,08 – 0,18 К; 0,5 сут
Цвет морской поверхности, соленость	Сканер цветности океана OLCI (KA Sentinel-3A) 0,3 км, 2 сут MERSI-2 (KA FY-3D), 0,25 – 1 км, 0,5 – 1 сут	FLORIS (KA FLEX) 0,3 км, 20 сут SGLI (GCOM-C2) 0,25 – 1 км, 3 сут	OCI (KA PACE) 1 км, 0,5 сут
Ледовый покров, толщина льда	Лазерный альтиметр ATLAS (ICESat-2) верт. раз. 0,1 м, 183 сут.; PCA SAR-C (Sentinel-1A, -1B); KA с PCA X, C, S, L, P-диапазонов: SAR-X (KA Paz(SEOSAR)); PCA SAR-C (KA GF-3); PCA W-SAR (KA HY-3A); PCA SAR-C (RISAT) KA RISAT-1A; PCA SAR-RCM (KA RCM-1,-2,-3); PCA SAR-L (KA SAOCOM-1A,-1B); PCA PALSAR-2 (KA ALOS-2); разрешение 1 – 10 м, покрытие 2 – 10 сут PCA – высотомер SRAL (Sentinel-3A) разрешение 0,3 – 20 км, покрытие 30 – 10 сут	Пассивный СВЧ-радиометр AMCR-2 (KA GOSAT-3); KA с PCA HRWS-SAR (KA HRWS-SAR); PCA SAR-L(NISAR) KA NI-SAR; PCA SAR-S(NISAR) KA NI-SAR; разрешение 2 – 7 м, покрытие 12 сут	Радиолокационный альтиметр с синтезированной апертурой SRAL (KA JASON-CS-A) 20 км, 10 сут KA с PCA SAR-X/Ku (KA SCLP)

Пассивный сканирующий микроволновый радиометр SMAP (частота 1,41 ГГц) на КА SMAP позволяет определять соленость поверхностной морской воды.

Группировка из 8 малых КА CYGNSS на дрейфующих орбитах осуществляет измерение скорости приповерхностных ветров, связанных с тропическими штормами и ураганами. При этом исполь-

зуется метод одновременной регистрации на спутнике сигналов системы GPS и отражённых центральной частью циклона. Источником зондирующего сигнала (сигнала «подсветки») выступают навигационные спутники, а приём ведут аппараты CYGNSS. Основным преимуществом орбитальной группировки из восьми КА CYGNSS перед одиночными предшественниками, измеряющими ско-

рости приповерхностного ветра в океане с помощью скаттерометров (локаторов), является то, что система космических аппаратов CYGNSS будет вести измерения скорости приповерхностных ветров внутри ураганов и тропических циклонов с высоким временным разрешением. Современные метеоспутники не могут вести измерения внутри стены ливня вблизи глаза (окна) урагана. Именно в этой области, примыкающей к «глазу», происходит интенсивное испарение воды с температурой +25 °С и выше, а при конденсации водяного пара его скрытая теплота переходит в атмосферу и становится источником энергии мощного атмосферного вихря. Сигналы GPS способны проникать через плотную облачность и дождь, так что спутники CYGNSS позволяют определить скорость ветра в зоне интенсивных осадков.

Единственными океанографическими КА США, несущими на борту изображающие радиолокаторы с синтезированной апертурой (совместно с ЕКА), являются КА JASON-2 и JASON-3 [4], которые созданы для изучения топографии океана. Размещённый на них двухчастотный альтиметр Poseidon-3B – радар-высотометр (*Ku*-диапазон (13,58 ГГц) и *C*-диапазон (5,3 ГГц)) предназначен для изучения: динамической топографии океана, измерения высоты значительных волн, изменения уровня прибрежного моря (приливов), скорости ветра над поверхностью моря.

В сентябре 2018 г. планируется запуск КА ICE-Sat-2 мониторинга ледяного покрова и изменения массы льда в приполярных областях с помощью комплекса целевой аппаратуры (ЦА): лазерным альтиметром ATLAS, ретрорефлектором LRA и TRSR – прибором системы позиционирования (приёмником для одновременного приёма сигналов от нескольких спутников Глобальной системы позиционирования (GPS)).

Орбитальная группировка КА ДЗЗ стран Европы, связанных с изучением океана к концу 2018 г. должна составлять 17 КА. Совместно с другими странами ЕС используют 3 КА (JASON-2, JASON-3 и SARAL).

В отличие от американской океанографической группировки, практически на каждом океанографическом КА ЕКА установлен радиолокатор с синтезированной апертурой. Это либо локатор-альтиметр, либо скаттерометр, либо локатор бокового обзора. Единственный КА SMOS, не несущий локатор, проводит измерения солёности поверхностной морской воды с помощью пассивного микроволнового радиометра MIRAS (1,413 ГГц).

На многофункциональных КА оперативной гидрометеорологии на ССО Meteor-A и Meteor-B

установлены скаттерометры ASCAT *C*-диапазона (5,255 ГГц). Основные цели их работы: измерение скорости и вектора над поверхностью моря; тип морского льда; снежный покров; состояние снега (влажное / сухое) и т. д. На этих же аппаратах установлены приборы AVHRR/3, AVHRR/3, IASI, которые позволяют проводить в том числе и мониторинг морского ледяного покрова, и температуры поверхности моря.

Полноценные в океанографическом смысле КА JASON-2 и JASON-3 (с аппаратурой Poseidon-3B), SARAL (AltiKa – *Ka*-диапазон 35,75 ГГц), Sentinel-3A [5 – 8] (SRAL (*C*-диапазона – 5,4 ГГц и *Ku*-диапазона – 13,58 ГГц)) несут на себе радиолокационные высотометры SAR, позволяющие изучать: динамическую топографию океана, высоту волн, изменения уровня приливов; скорости ветра над поверхностью моря; геодид; толщину морского льда. Также на этих аппаратах установлена следующая целевая аппаратура: группа приборов точной орбитографии AMR – несканирующий микроволновый радиометр (цель – атмосферная коррекция с учётом водяного пара для уточнения измерений РЛ – высотометра «Poseidon-3»); DORIS (доплеровская орбитография и радиоопределение); TRSR (Turbo Rogue Space Receiver) – прибор системы позиционирования (приёмник для одновременного приёма сигналов от нескольких спутников Глобальной системы позиционирования (GPS)); LRR (ESA) (Laser Retro-Reflector) – лазерный ретро-отражатель (цель работы прибора – космическая геодезия, точная орбитография); LRA (CNES) (Laser Retro-Reflector Argay) – лазерный ретрофлекторный массив (космическая геодезия); GPS (ESA) – GPS-приемник (цель – точная орбитография; приемник для одновременного приёма сигналов от нескольких спутников Глобальной системы позиционирования (GPS)); MWR (Sentinel-3) – несканирующий микроволновый радиометр (атмосферная коррекция водяного пара для радиолокационного альтиметра (SRAL)); OLCI (Ocean and Land Colour Imager) – сканер цветности океана; SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) – радиометр поверхностной температуры моря и суши.

Наиболее полным концептуальным аналогом отечественного океанографического КА Meteor-M № 3 можно назвать КА Sentinel-3A. Необходимо подчеркнуть, что этот КА не несёт на себе радиолокатора бокового обзора.

На КА TerraSAR-X, TanDEM-X, Sentinel-1A и Sentinel-1B находятся радиолокаторы бокового обзора с синтезированной апертурой *X*-диапазона SAR-X (TerraSAR-X и TanDEM-X) и *C*-диапазона

SAR-C (Sentinel-1A и Sentinel-1B), проводящие мониторинг ледяного покрова; морского ледяного покрова; движения ледников; топографии ледника; топографии листового льда; доминирующее направление волн; доминирующий период волн.

В сентябре 2018 г. планируется запуск совместного китайско – французского океанографического КА CFOSAT со скаттерометром SCAT(CFOSAT) *Ku*-диапазона (13,575 ГГц) и радиолокационным альтиметром SWIM для мониторинга приливов, ледового покрытия, толщины льда и динамической топографии океана. Программа получит свое развитие с запуском в 2022 г. второго КА CFOSAT.

Орбитальная группировка КА Китая, связанных с изучением океана, к концу 2018 г. должна составлять 9 КА, на май 2018 г. состоит из 5 КА [9]:

На трёх КА оперативной гидрометеорологии FY-3B, FY-3C и FY-3D радиолокаторов нет. На этих КА установлены: MERSI-1 (Medium Resolution Spectral Imager) – сканер цветности океана; MWRI (Micro-Wave Radiation Imager) – пассивный конический сканирующий микроволновый изображающий радиометр (цели миссии – измерение интенсивности осадков на поверхности; морской ледяной покров; скорость ветра над поверхностью моря (горизонтальная); встроенный прибор для измерения параметров водяного пара (IWV); снежный покров; состояние снега (влажное / сухое)); VIRR (FY-3) (Visible and Infra-Red Radiometer) видимый и инфракрасный радиометр, пассивный оптический радиометр среднего разрешения (10 каналов в диапазонах VIS / NIR / SWIR / MWIR / TIR); цели миссии: морской ледяной покров; температура поверхности моря; индекс площади листа (LAI); IRAS – Infra Red Atmospheric Sounder (инфракрасный зондировщик атмосферы); который на КА FY-3D заменён на гиперспектрометр HIRAS (цели миссии: температура атмосферы; температура поверхности моря; температура верхней границы облачности; температура поверхности земли; высота верхней границы облачности (PBL); высота тропопазузы; встроенный прибор для измерения параметров водяного пара (IWV); удельная влажность; восходящее длинноволновое излучение в TOA).

Два КА с радиолокаторами с синтезированной апертурой HJ-1C (PCA *S*-диапазона) и GF-3 (PCA *S*-диапазона) позволяют в любую погоду отслеживать ледовое покрытие и нефтяные пятна на поверхности океана.

В 2018 г. будут запущены на ССО (798 км) 2 КА HY-1C и HY-1D со сканерами цветности и температуры поверхности океана COCTS, сканерами бе-

реговой зоны CZI. Эта серия КА получит продолжение до КА HY-1F (2023 г. запуска).

В конце 2018 г. планируется к запуску на ССО (973 км) КА HY-2B со скаттерометром SCAT (HY-2A [10]) *Ku*-диапазона (13,25 ГГц); СВЧ пассивным радиометром MWI (HY-2A) для всепогодного определения температуры поверхности океана, скорости ветра, ледового покрытия морской поверхности и комплексом ЦА: ALT (HY-2A) – радиолокационного альтиметра, позволяющего изучать: динамическую топографию океана, высоты волн, изменения уровня приливов; скорости ветра над поверхностью моря; геоид и комплексом ЦА точного позиционирования таким же, как на КА JASON-2, JASON-3 – DORIS (доплеровская орбитография и радиоопределение) и LRA (NASA) лазерный ретрофлекторный массив (космическая геодезия). Продолжение этой серии КА планируется до 2023 г. (запуск КА HY-2H).

Необходимо отметить будущее развитие океанографической ОГ КА ДЗЗ Китая оснащённых радиолокаторами с синтезированной апертурой W-SAR (*X*-диапазон) размещаемыми на КА HY-3A – HY-3D на геостационарной орбитах (запуски в 2019 – 2024 гг.) для всепогодного наблюдения поверхности Земли и океана.

В Индийской океанографической группировке 4 КА оснащены следующей ЦА:

- на 2 КА ScatSat-1 и КА OceanSat-2 установлены скаттерометры: OSCAT (OceanSat Scatterometer) – *Ku*-диапазона (13,515 ГГц); причем на OceanSat-2 установлены ещё и OCM (OceanSat-2) – сканер цветности океана и ROSA (OceanSat) – зондировщик атмосферы с помощью радиопросвечивания;

- на совместном с Францией КА SARAL (рассматривался выше) установлен высотометр AltiKa (*Ka*-диапазон 35,75 ГГц);

- на КА RiSat-2 [11] установлен радиолокатор с синтезированной апертурой *X*-диапазона (9,59 ГГц) с разрешением от 1 до 8 м, в зависимости от режима работы, другой ЦА нет.

Японская ОГ океанографии состоит из 4-х КА:

- КА GCOM-W [12] несёт на себе только конический сканирующий микроволновый радиометр – AMSR-2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer), (цели миссии: морской ледяной покров; интенсивность осадков на поверхности; температура поверхности моря; скорость ветра над поверхностью; определение биомассы растительности).

- На КА ALOS-2 с радиолокатором бокового обзора PALSAR-2 с синтезированной апертурой *L*-диапазона (частота 1,27 ГГц) имеется также компактная инфракрасная камера CIRC (Compact Infrared

Camera) весом в 2,6 кг. Разрешение PALSAR-2 составляет от 1 до 100 м, (цели миссии: морской ледяной покров; ледяной покров суши; доля пахотных земель и растительного покрова; рельеф поверхности Земли; топография ледника; пятна разлива нефти; доминирующее направление морской волны).

КА GCOM-C [12] оснащён прибором SGLI – 19-канальным сканером цветности океана среднего разрешения.

КА ASNARO-2 [13] оснащён только PCA X-диапазона XSAR (частота 9,3 ГГц) с разрешением 1 – 16 м при ширине захвата 10 – 50 км.

Корейская океанографическая группировка состоит из трёх КА:

КА COMS-1 является единственным аппаратом в мировой океанографической группировке, расположенным на ГСО, несущем на себе сканер цветности океана GOCI (Geostationary Ocean Color Imager) и оптический радиометр среднего разрешения MI (Meteorological Imager).

На втором KOMPSAT-3A установлены приборы AEISS-A (Advanced Electronic Image Scanning System – A) – многозональный сканер высокого разрешения (разрешение – 0,5 м PAN; 2 м MS) и ИП (Infrared Imaging Payload) (разрешение – 5,5 м). Эти приборы позволяют получать информацию о био-

массе, ледяном покрове, доле пахотных земель, растительного покрова, индекса площади листа (LAI), топографии морского льда, топографии ледника, снежном покрове, температуре поверхности моря.

Третий КА KOMPSAT-5 несёт на себе COSI – радиолокатор бокового обзора с синтезированной апертурой SAR (X-диапазон, частота 9,66 ГГц); прибор точной орбитографии с использованием радиопросвечивания AOPOD (5 кг) и лазерный ретроотражатель – LRR (DLR) тоже небольшой массы.

На Канадском спутнике RadarSat-2 стоит радиолокатор бокового обзора синтезированной апертуры C-диапазона разрешением от 3 до 100 м (цели миссии: морской ледяной покров, ледяной покров, движение ледника, топография ледника, топография морского льда, доминирующее направление морской волны).

В результате, подводя итоги можно отметить следующее: в зарубежных океанографических ОГ на спутниках, несущих на себе радиолокаторы бокового обзора с синтезированной апертурой X-, S-, L-, C-диапазонов, другая целевая аппаратура, как правило, не устанавливается.

Выбор рабочего диапазона радиолокатора бокового обзора на российском океанографический КА необходимо проводить с учётом решения поставленных задач и ранее сделанных заделов (табл. 2).

Таблица 2

Состав и рабочие диапазоны зарубежных океанографических КА с радиолокаторами с синтезированной апертурой (PCA) на борту, работающих на солнечно-синхронных орбитах и планируемых к запуску в 2018 году

КА с PCA, дающий информацию океанографического назначения (страна)	Рабочий диапазон радиолокатора с синтезированной апертурой				
	C	X	S	L	Примечание
KOMPSAT-5 (Корея)		COSI			PCA + AOPOD+LRR
ALOS-2 (Япония)				PALSAR-2	PCA + CIRC
ASNARO-2 (Япония)		XSAR			Только PCA
RadarSat-2 (Канада)	SAR				Только PCA
RCM-1 (Канада)	SAR RCM				Только PCA
RCM-2 (Канада)	SAR RCM				Только PCA
RCM-3 (Канада)	SAR RCM				Только PCA
CSG-1 (Италия)		SAR-2000 S.G.			Только PCA
RiSat-2 (Индия)		SAR-X			Только PCA
TerraSAR-X (Германия)		SAR-X			PCA + IGOR
TanDEM-X (Германия)		SAR-X			PCA + IGOR
TSX-NG (Германия)		SAR-X			PCA + IGOR
SEOSAR/Paz (Испания)		SAR-X			PCA + ROHPP + LRR
Sentinel-1A (ЕКА)	SAR-C				Только PCA
Sentinel-1B (ЕКА)	SAR-C				Только PCA
HJ-1C (Китай)			SAR-S		Только PCA
GF-3 (Китай)	SAR-C				Только PCA
SAOCOM-1A (Аргентина)				SAR-L	Только PCA
SAOCOM-1B (Аргентина)				SAR-L	Только PCA

Таблица 3

**Настоящие и перспективные проекты КА ведущих стран мира и России,
обеспечивающие океанографической информацией**

Год запуска	США	ЕКА + страны Европы	Япония	Китай	Индия	Россия
2007		TerraSAR-X				
2008	JASON-2	JASON-2				
2009	NOAA-19	SMOS			RiSat-2 Oceansat-2	
2010		CryoSat-2 TanDEM-X		FY-3B		
2011	SNPP					
2012		Metop-B	GCOM-W	HJ-1C		
2013		SARAL		FY-3C	SARAL	
2014		Sentinel-1A	ALOS-2			
2015	SMAP					
2016	JASON-3 CYGNSS (8 КА)	JASON-3 Sentinel-1B Sentinel-3A		GF-3	ScatSat-1	
2017	NOAA-20		GCOM-C	FY-3D		
2018	ICESat-2	Sentinel-3B SEOSAR/Paz TSX-NG CFOSAT CSG-1 Metop-C	ASNARO-2	HY-2B HY-1C HY-1D CFOSAT		
2019		CSG-2	COMPIRA	FY-3E HY-2C HY-3A	OceanSat-3 Oceansat-3A RiSat-1A	
2020	ACE JASON-CS-A	JASON-CS-A	ALOS-4	FY-3RM HY-2D HY-2E HY-3B		
2021	JPSS-2 SWOT	Metop-SG-A1 SWOT		FY-3F		Обзор-Р
2022	NI-SAR JPSS-2 PACE	Sentinel-1C HRWS-SAR PACE FLEX Metop-SG-B1 CFOSAT follow-on		FY-3G HY-1E HY-2F HY-2G CFOSAT follow-on	NI-SAR	
2023		Sentinel-1D Sentinel-3C		HY-1F HY-2H HY-3C		
2024		Sentinel-3D		FY-3H HY-3D		
2025	JASON-CS-B	JASON-CS-B				
2026	JPSS-3					
2027						Океан-1
2028		Metop-SG-A2				

Настоящие и будущие проекты космических аппаратов на солнечно-синхронных орбитах зарубежных государств и России, позволяющих получать космическую информацию океанографического назначения, приведены в табл. 3.

Космическая информация, получаемая от отечественных океанографических КА серии «Океан», будет обеспечивать подразделения Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также других ведомств оперативной океанографической и гидрометеорологической информацией для решения следующих основных задач:

- анализа и прогноза погоды;
- анализа и прогноза состояния акватории морей и океанов;
- анализа и прогноза состояния ледяного покрова в Арктике, Антарктике, замерзающих морях, крупных озёрах и реках;
- контроля чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- всепогодного мониторинга полей приводного ветра над морскими акваториями и влажности почв суши (мониторинг волнений, спектра волн, интенсивности и направления приводного ветра, штормовых зон);
- мониторинга климата и глобальных изменений;
- экологического контроля окружающей среды;
- сбора данных с морских буев;
- мониторинга топографии поверхности океана;
- мониторинга биопродуктивности и физико-химических характеристик морской воды, включая:
 - выявление зон интенсивной морской биопродуктивности;
 - мониторинг температуры и солёности поверхности Мирового океана;
 - мониторинг температуры ледового покрова [14].

Прототипом отечественного КА «Океан» может быть принят КА «Метеор-М» № 3 [15] или КА «Метеор-МП», планируемый состав целевой аппаратуры которых не хуже зарубежных аналогов. Образцы целевой аппаратуры для решения океанографических задач были проработаны до уровня эскизного проектирования.

КА «Океан» предполагается запустить на ССО высотой 650 – 900 км (в настоящее время высота орбиты ещё не определена).

Формирование состава и баллистического построения орбитальной группировки (ОГ) «Океан» исходит из технических характеристик ЦА, а также из требований по периодичности обновления информации, приведённых в табл. 4 и 5.

Орбитальная группировка из 4-х КА «Океан» обеспечит ежесуточное сплошное покрытие территории РФ (на широтах выше 35° с. ш.) при использовании БРЛК с полосой захвата 750 км.

Требуемая периодичность обновления космической информации других видов целевой аппаратуры составляет:

- для скаттерометра 2 раза в сутки;
- для сканера цветности океана 1 раз в сутки.

Следует отметить основные недостатки разработки отечественных КА океанографического назначения:

1. В комплексе целевой аппаратуры отсутствует прибор картирования тепловых признаков поверхности океана. Отсутствие такого прибора существенно обедняет состав КЦА и не позволяет решать задачи мониторинга температуры поверхности океана теплых и холодных морских течений и других тепловых признаков.

Этот недостаток может быть исправлен, если рассматривать совместное использование космической информации КС «Метеор-МП» и КС «Океан».

2. В современных оптических датчиках для измерений цвета океана используются 14-битовые аналого-цифровые преобразователи. Такая высокая разрядность применяется, чтобы обеспечить максимальную чувствительность сенсора над водой с учётом различных условий освещённости и состояния атмосферы [16]. При этом допускается достижение насыщения сигнала при измерении «светлых» целей, например, облаков. Только некоторые российские сенсоры обладают такой разрядностью АЦП (Геотон, ГСА). Разрядность изображения сенсоров КШМСА, МСС и КМСС ниже минимальных требований и составляет 12, 12 и 8 бит соответственно. Сканер цветности океана для КА «Метеор-М» № 3 / «Океан» проектировался с 10-разрядным АЦП.

С учётом того, что начало ОКР «Океан» запланировано на 2020 год, и её выполнение потребует ещё не менее 7-ми лет, следует учитывать, что разработки, которые были проведены до 2015 г. по КА «Метеор-М» № 3, не реализованы на настоящий момент и к 2027 г. устареют. Поэтому при проектировании КС «Океан» должны быть выбраны перспективные характеристики целевой аппаратуры, соответствующие самым лучшим аналогам зарубежных КА и требованиям ВМО.

3. В современных зарубежных РЛ- системах используются C , X , S и L – диапазоны для решения задач наблюдения океанов (на КА «Метеор-М» № 3 – X -диапазон). Наиболее часто за рубежом радиолокаторы размещаются на специальном космическом аппарате, не несущем иной целевой аппаратуры (табл. 2).

Таблица 4

**Сравнительные характеристики комплекса целевой аппаратуры КА «Океан»
на основе использования задела по КА «Метеор-М» №3 и КА «Метеор-МП»
(для орбиты высотой 650 км)**

Основная аппаратура	Характеристики КЦА КА «Океан» / КА «Метеор-М» № 3	Характеристики КЦА КА «Океан» / КА «Метеор-МП»
Сканер цветности океана СЦО	13 каналов в ВД 0,4 – 0,8 мкм; 1800 км – полоса захвата; 1 км – пространственное разрешение; АЦП – 10 бит	8 каналов в ВД 0,4 – 0,8 мкм; 3000 км – полоса захвата; 1 км – пространственное разрешение
Сканер береговой зоны СБЗ	СБЗ 6 каналов в ВД 0,4 – 0,8 мкм; 80 м – пространственное разрешение; 800 км – полоса захвата	«Горизонт МП» 4 канала в ВД 0,4 – 0,78 мкм; 80 м – пространственное разрешение; 800 км – полоса захвата
Многозональное сканирующее устройство в ближнем ИК-диапазоне МСУ – ИК – МП	Нет	МСУ – ИК – МП 1 канал – 1,36 – 1,39 мкм (детектирование перистых облаков); 2 канал – 1,56 – 1,66 мкм (классификация снежного и ледового покрова); 90 км – полоса захвата; 30 м – пространственное разрешение
Скаттерометр (приводный ветер) СКАТ	СКАТ 1500 км – полоса захвата; 25 км – пространственное разрешение; Ки-диапазон	СКАТ-МП 1500 км – полоса захвата; 25 × 25 км (во всей полосе обзора) – пространственное разрешение; 14 × 14 км (в зоне вблизи надирного зондирования); С- или Ки-диапазон
БРЛК	ЭЛСАР в X-диапазоне 10, 50, 130, 600, 750 км – полоса обзора; 3 – 500 м – пространственное разрешение разрешение 500 м – в полосе обзора 750 км; разрешение 3 – 50 м в полосе обзора 470 км	БРЛК-МП в X-диапазоне 10, 30, 130, 600, 750 км – полоса обзора; 3 – 500 м – пространственное разрешение разрешение 500 м – в полосе обзора 750 км; разрешение 50 м в полосе обзора 130 км
Аппаратура радиозатменного мониторинга атмосферы	АРМА – параметры атмосферы (коэффициент преломления, плотность, давление, температура) на высоте от 0,5 до 50 км; – электронная концентрация ионосферы на высоте от 80 до 400 км (высотный профиль); – интегральная электронная концентрация на трассе НС – КА	РАДИОМЕТ – параметры атмосферы (коэффициент преломления, плотность, давление, температура) на высоте от 0,5 до 50 км; – электронная концентрация ионосферы на высоте от 80 до 400 км (высотный профиль); – интегральная электронная концентрация на трассе НС – КА

Таблица 5

Основные требования к обновлению космической информации океанографического назначения

Наименование КИ	Прибор	Требуемая периодичность
Ледовая обстановка северных широт	БРЛК	1р/3 суток
Территория РФ (высокое разрешение)		Ежесуточное беспрерывное покрытие
Приводный ветер	Скаттерометр	2р/сутки
Биопродуктивность морей	Сканер цветности	2р/сутки

4. На отечественных КА отсутствует радар-альтиметр (высотомер) для решения топографических задач наблюдения поверхностей океанов.

5. На отечественных КА отсутствует аппаратура радиопросвечивания атмосферы, а также вспомогательная аппаратура, необходимая для точного определения параметров орбиты.

Анализ построения зарубежных космических спутниковых систем, решающих задачи наблюдения океанов, позволяет сделать следующие выводы.

1. Перспективными приборами для наблюдения океанов из космоса являются: радиолокаторы с синтезированной апертурой с размещением на отдельном космическом аппарате, радары-альтиметры (высотомеры), пассивная микроволновая аппаратура, скаттерометры, сканеры оптического и ИК-диапазонов среднего разрешения, сканер оптического диапазона высокого пространственного разрешения с разнесёнными по времени сканами, аппаратура радиопросвечивания атмосферы.

2. Установка на КА только радиолокаторов бокового обзора, как единственной ЦА, связано с тем, что радиолокаторы требуют во время своей работы большого количества энергии и практически все ресурсы по хранению и передаче на Землю получаемой информации.

3. При выборе рабочего диапазона радиолокатора бокового обзора для российского океанографического КА необходимо учитывать выполненные ранее заделы. При этом нужно также учесть, что требуемое разрешение в 1 метр достигается зарубежной аппаратурой не только в X -диапазоне, но и в S -, L -, C -диапазонах.

4. Необходимый для ежедневного беспрерывного покрытия всей территории РФ состав орбитальной группировки океанографического назначения на основе КА «Океан» составляет 4 КА.

5. Необходимо изучить вопрос об оснащении отечественного океанографического КА космическим радаром-альтиметром.

Литература

- Сузюмов Е. М., Ципоруха М. И. Открывая тайны океана. – М. : Знание, 1991. – Онлайн библиотека PLAM.RU. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.plam.ru/biolog/otkryvaja_tainy_okeana/index.php.
- Балдина Е. А., Чалова Е. Р. Исследование Мирового океана средствами дистанционного зондирования // Материалы седьмого интернет-семинара «Космические исследования океана», подготовленного Межуниверситетским аэрокосмическим центром совместно с Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem7/sem7_1.html.

3. WMO Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (<http://www.wmo-sat.info/oscar/>).

4. Parag Vaze, Steven Neeck, Walid Bannoura, Joseph Green, Angelo Wade, Mike Mignogno, Gerard Zaouche, Veronique Couderc, Eric Thouvenot, Francois Parisot The Jasn-3 Mission: completing the transition of ocean altimetry from research to operations // Proceedings of the SPIE Remote Sensing Conference. – Toulouse, France, 2010. – V. 7826. – Sept. 20 – 23. – P. 7826-30. – Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XIV, edited by Roland Meynart, Steven P. Neeck, Haruhisa Shimoda. – doi: 10.1117/12.868543.

5. M. Aguirre, B. Berruti, J.-L. Bezy, M. Drinkwater, F. Heliere, U. Klein, C. Mavrocordatos, P. Silvestrin, B. Greco, J. Benveniste, Sentinel-3: The Ocean and Medium-Resolution Land Mission for GMES Operational Services, ESA Bulletin, No 131, Aug. 2007, Pp. 24 – 29. – URL: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin131/bul131c_aguirre.pdf.

6. Baillion Y., Juillet J. J., Paoli F., Aguirre M., Berruti B. GMES Sentinel-3: A long-term monitoring of ocean and land to support sustainable development, 58th IAC (International Astronautical Congress), International Space Expo, Hyderabad, India, Sept. 24 – 28, 2007. – IAC-07-B.1.2.04.

7. http://www.ioccg.org/sensors/Regner_Sentinel.pdf.

8. C. Donlon, B. Berruti, J. Frerick, U. Klein, C. Mavrocordatos, J. Nieke, B. Seitz, J. Stroede, H. Rebhan, P. Goryl, N. Picot, P. Femenias, R. Cullen The Sentinel-3 Mission Overview, Proceedings of the 2011 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 5 – 9 September 2011, Oslo, Norway, URL: http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2011/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p59_sl_05_donlon_v.pdf.

9. P. Delu Future-generation satellites of Chinese ocean remote sensing Proceedings of the SPIE. – V. 5570, 2004. – Pp. 228 – 232. Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VIII, Edited by Meynart, Roland; Neeck, Steven P.; Shimoda, Haruhisa, Maspalomas. – Gran Canaria, Spain, 2004. – Sept. 13. – Doi: 10.1117/12.563894.

10. Ke Xu, Jingshan Jiang, Huguang Liu HY-2A Radar Altimeter Design and in-flight preliminary results / Proceedings of IGARSS (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Melbourne, Australia, 2013. – July 21 – 26.

11. Tapan Misra, A. S. Kiran Kumar Scatterometer and RISAT-1: ISRO's contribution to radar remote sensing Proceedings of the IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium) 2015. – Milan, Italy. – July 26 – 31, 2015.

12. Marehito Kasahara, Norimasa Ito, Masaaki Mokuno, Keizo Nakagawa Development Status of GCOM Satellites Proceedings of the 28th ISTS (International Symposium on Space Technology and Science), Okinawa, Japan, June 5 – 12, 2011, paper: 2011-n-49.

13. Toshiaki Ogawa, Tetsuo Fukunaga, Shoichiro Mihara, The overview of Japanese small earth observation satellite program ASNARO (Advanced Satellite with New System Architecture for Observation), Proceedings of the 4S (Small

Satellites Systems and Services) Symposium, Portoroz, Slovenia, 2012. – June 4 – 8.

14. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / ИКИ РАН, Москва, 2011.

15. Гусев А. А., Ильина И. Ю., Саульский В. К., Чуркин А. Л. Опыт разработки космической платформы для космиче-

ских аппаратов «Метеор» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2013. – Т. 135. – № 4. – С. 3 – 12.

16. Копелевич О. В., Лаппо С. С. Использование спутниковых данных для исследования и мониторинга морей и океанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса – М. : ИКИ РАН, 2005. – Вып. 2. – Т. 1. – С. 30 – 39.

Поступила в редакцию 02.04.2018

Александр Алексеевич Асташкин, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, т. 8(495) 513-55-87.

Александр Витальевич Карелин, доктор физико-математических наук, начальник отдела, т. (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@mail.ru.

Юрий Александрович Кузьмин, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, т. 8(495)513-40-88.

Ольга Кирилловна Маргун, главный специалист, т. 8(495)513-54-90.

Татьяна Сергеевна Маркелова, ведущий специалист, т. 8(495)513-57-40.

Надежда Валентиновна Наговицына, главный специалист, т. 8(495)513-57-40.

Екатерина Михайловна Твердохлебова, кандидат технических наук, заместитель начальника центра, т. 8(495)513-59-23.

(ФГУП ЦНИИмаш).

OCEANOGRAPHIC SATELLITE CONSTELLATIONS OVERVIEW

**A. A. Astashkin, A. V. Karelin, Iu. A. Kuzmin,
O. K. Margun, T. S. Markelova,
N. V. Nagovitsyna, E. M. Tverdokhlebova**

The article contains an overview of existing and prospective orbital constellations of foreign satellites intended for ocean studies. The main tasks of ocean observation, prospective mission hardware and satellites on which this hardware will be mounted are described in the article. The oceanographic mission hardware and its distribution among the satellites are considered. The suggestions regarding the mission hardware that can be mounted on Russian oceanographic satellites and orbital arrangement of prospective Russian space system 'Okean' are presented.

Key words: ocean space monitoring, oceanographic space system, satellites, mission hardware, orbital constellation.

References

1. Suziumov E. M., Tsiporukha M. I. Discovering the secrets of the ocean. – М. : Znaniye Publishing House, 1991. – PLAM.RU online library. – [Electronic resource]. – Available at: http://www.plam.ru/biolog/otkryvaja_tainy_okeana/index.php.
2. Baldina E. A., Chalova E. R. The world ocean study by means of remote sensing // Proceedings of the seventh webinar «Space studies of the ocean» jointly prepared by the Interuniversity Aerospace Center and P. P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences – [Electronic resource]. – Available at: http://www.geogr.msu.ru/science/aero/acenter/int_sem7/sem7_1.html.
3. WMO Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (<http://www.wmo-sat.info/oscar/>).
4. Parag Vaze, Steven Neeck, Walid Bannoura, Joseph Green, Angelo Wade, Mike Mignogno, Gerard Zaouche, Veronique Couderc, Eric Thouvenot, Francois Parisot The Jasn-3 Mission: completing the transition of ocean altimetry from research to operations // Proceedings of the SPIE Remote Sensing Conference. – Toulouse, France, 2010. – V. 7826. – Sept. 20 – 23. – Pp. 7826-30. – Sensors, Systems and Next-Generation Satellites XIV, edited by Roland Meynart, Steven P. Neeck, Haruhisa Shimoda. – doi: 10.1117/12.868543.
5. M. Aguirre, B. Berruti, J.-L. Bezy, M. Drinkwater, F. Heliere, U. Klein, C. Mavrocordatos, P. Silvestrin, B. Greco, J. Benveniste Sentinel-3: The Ocean and Medium-Resolution Land Mission for GMES Operational Services, ESA Bulletin, No. 131, Aug. 2007, Pp. 24 – 29. – URL: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin131/bul131c_aguirre.pdf.
6. Baillion Y., Juillet J.J., Paoli F., Aguirre M., Berruti B. GMES Sentinel-3: A long-term monitoring of ocean and land to support sustainable development, 58th IAC (International Astronautical Congress), International Space Expo, Hyderabad, India, Sept. 24 – 28, 2007. – IAC-07-B.1.2.04.
7. http://www.ioccg.org/sensors/Regner_Sentinel.pdf.

8. C. Donlon, B. Berruti, J. Frerick, U. Klein, C. Mavrocordatos, J. Nieke, B. Seitz, J. Stroede, H. Rebhan, P. Goryl, N. Picot, P. Femenias, R. Cullen The Sentinel-3 Mission Overview, Proceedings of the 2011 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 5 – 9 September 2011, Oslo, Norway, URL: http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2011/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p59_s1_05_donlon_v.pdf.
9. P. Delu Future-generation satellites of Chinese ocean remote sensing. Proceedings of the SPIE. – V. 5570, 2004. – Pp. 228 – 232. Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VIII, Edited by Meynart, Roland; Neeck, Steven P.; Shimoda, Haruhisa, Maspalomas. – Gran Canaria, Spain, 2004. – Sept. 13. – Doi: 10.1117/12.563894.
10. Ke Xu, Jingshan Jiang, Huguang Liu HY-2A Radar Altimeter Design and in-flight preliminary results / Proceedings of IGARSS (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Melbourne, Australia, 2013. – July 21 – 26.
11. Tapan Misra, A. S. Kiran Kumar Scatterometer and RISAT-1: ISRO's contribution to radar remote sensing Proceedings of the IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium) 2015. – Milan, Italy. – July 26 – 31, 2015.
12. Marehito Kasahara, Norimasa Ito, Masaaki Mokuno, Keizo Nakagawa Development Status of GCOM Satellites Proceedings of the 28th ISTS (International Symposium on Space Technology and Science), Okinawa, Japan, June 5 – 12, 2011, paper: 2011-n-49.
13. Toshiaki Ogawa, Tetsuo Fukunaga, Shoichiro Mihara, The overview of Japanese small earth observation satellite program ASNARO (Advanced Satellite with New System Architecture for Observation), Proceedings of the 4S (Small Satellites Systems and Services) Symposium, Portoroz, Slovenia, 2012. – June 4 – 8.
14. Lavrova O. Iu., Kostianoi A. G., Lebedev S. A., Mitiagina M. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A. Integrated satellite monitoring of Russian seas / Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 2011.
15. Gusev A. A., Ilina I. Iu., Saulskii V. K., Churkin A. L. Experience of development of space platform for Meteor spacecraft // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – M. : FGUE 'NPP VNIEM', 2013. – V. 135. – No. 4. – Pp. 3 – 12.
16. Kopelevich O. V., Lappo S. S. Use of satellite data for studies and monitoring of seas and oceans // Current problems of Earth remote sensing from space. – M. : Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 2005. – Issue 2. – V. 1. – Pp. 30 – 39.

Aleksandr Alekseevich Astashkin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Leading Researcher, tel.: +7 (495) 513-55-87.

Aleksandr Vitalevich Karelin, Doctor of Physics and Mathematics (D.Sc.), Head of Department, tel.: +7 (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@mail.ru.

Iurii Aleksandrovich Kuzmin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Leading Researcher, tel.: +7 (495) 513-40-88.

Olga Kirillovna Margun, Chief Specialist, tel.: +7 (495) 513-54-90.

Tatiana Sergeevna Markelova, Leading Specialist, tel.: +7 (495) 513-57-40.

Nadezhda Valentinovna Nagovitsyna, Chief Specialist, tel.: +7 (495) 513-57-40.

Ekaterina Mikhailovna Tverdokhlebova, Candidate of Technical Sciences (Ph.D),

Deputy Head of Center, tel.: +7 (495) 513-59-23.

(FSUE TSNIIMash).