КОСМИЧЕСКИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

Е.Н. Нафиева, А.В. Гречищев

Московский Государственный Университет Геодезии и Картографии (МИИГАиК)

elena_nafieva@mail.ru, agre4@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен краткий обзор современных радиолокационных систем для съёмки и мониторинга Земли из космоса, рассмотрены принципы их работы, актуальность и преимущества использования методов радиолокационного зондирования. В частности, основные спутниковые радиолокационные системы: Европейского космического агентства – ERS-1,2 и ENVISAT; канадские, компании MDA, – Radarsat-1,2; Германского аэрокосмического центра (DLR) и ведущей европейской космической компанией Airbus DS – TerraSAR-X, TanDEM-X; испанский PAZ; японские – ALOS и ALOS-2; итальянское созвездие спутников Cosmo-SkyMed; индийский – RISAT-1; английский – NovaSAR-1; финские – ICEYE; корейский – KOMPSAT-5, китайский – Huan Jing 1C, европейские – Sentinel-1 (A, B) и российские спутники «Кондор». Также в статье представлены космические аппараты для радиолокационной съёмки, планируемые к запуску, а именно: второе поколение итальянских спутников COSMO-SkyMed – CSG-2; 2 космических аппарата ICEYE (Финляндия); 4 радарных спутника X диапазона группировки SuperView и 2 радарных спутника Zhuhai (Китай); ALOS-4 JAXA (Япония); KOMPSAT-6 (Корея), 3 радарных КА группировки IRS (Индия), SAOCOM (Аргентина), спутники российской разработки Обзор-Р1 и Кондор-ФКА, а также, планируемый РОСКОСМОСом космический комплекс, включающий орбитальную группировку из 6 малоразмерных космических аппаратов радиолокационного наблюдения.

Ключевые слова: ДДЗ, дистанционное зондирование Земли, радиолокационная съёмка, SAR, пространственное разрешение, мониторинг земной поверхности и океанов, ERS-1,2, ENVISAT, Airbus DS, ALOS, PAZ, Cosmo-SkyMed, ICEYE, KOMPSAT-5, Обзор-Р, Кондор-ФКА, группировка радарных спутников.

В настоящее время основными методами дистанционного зондирования Земли являются: съёмка в оптическом диапазоне с использованием солнечного света (пассивные системы) и радарная съёмка с применением собственного источника излучения (активные системы).

Так спутниковое радиолокационное дистанционное зондирование проводится в радиодиапазоне: длины волн от 1 мм до 1 метра, частоты, соответственно, от 300 до 0.3 ГГц. Принцип работы заключается в том, что сенсор направляет луч энергетических импульсов на объект (около 1500 импульсов в секунду). Часть импульсов отражается обратно от объекта, и система измеряет как обратный сигнал, так и расстояние до цели в зависимости от времени прохождения сигнала до цели и обратно.

Радиолокационная съёмка (РЛС) является одним из наиболее перспективных способов получения геопространственной информации системами дистанционного зондирования. Это обусловлено ростом уровня и возможностей современных технических и программных средств получения (в том числе, из космоса) и компьютерной обработки больших массивов данных.

По сравнению с оптическими и инфракрасными средствами наблюдения радиолокационные системы имеют следующие преимущества:

- независимость получения снимков от погодных условий и времени суток;

- возможность широкого обзора на больших расстояниях при высокой разрешающей способности;
- гибкость управления и изменения параметров радиолокатора, позволяющая варьировать положение и размеры зоны обзора, разрешающую способность и формы представления информации.

Далее рассмотрим основные радиолокационные спутниковые системы, используемые ранее и в настоящее время.

Но необходимо отметить, что первый космический комплекс радиолокационного дистанционного зондирования Земли с использованием первой в СССР орбитальной станции с бортовым локатором с синтезированной апертурой высокого разрешения разработан в Советском Союзе по программе «Алмаз-Т» (Ресурс-Р) и был предназначен для проведения комплексных (в различных диапазонах волн) съёмок поверхности Земли и Мирового океана с целью выполнения программ научного и экономического назначения, международного сотрудничества, а также в интересах Министерства обороны. Комплекс создан НПО Машиностроения. В рамках программы было создано 3 космических аппарата: «Космос-1870», «Алмаз-1А», «Алмаз-1В».

Запуск КА «Космос-1870» состоялся 25 июля 1987 года. Полученные высококачественные радиолокационные изображения земной поверхности были использованы в интересах обороны и эконо-

мики СССР. 31 марта 1991 года модифицированный автоматический вариант орбитальной станции со значительно улучшенными характеристиками бортовой аппаратуры был выведен на орбиту под названием «Алмаз-1А». «Алмаз-1В» с дальнейшей модификацией бортовой аппаратуры не был выведен на орбиту ввиду тяжёлого состояния экономики после распада СССР и остановки работ (находится в музее НПО Машиностроения).

В ходе эксплуатации КА «Алмаз-1А» был накоплен обширный материал по радиолокационному зондированию Земли в S-диапазоне. Было проведено большое число уникальных экспериментов по зондированию морской поверхности, наблюдению течений, поверхностных проявлений внутренних волн, совместные многочастотные эксперименты с РСА иностранных КА. Широко использовалось зондирование под крутыми углами на малых дальностях, где потенциал РСА выше. В частности, с КА «Алмаз-1А» была успешно произведена разведка ледовой обстановки вокруг теплохода «Сомов», зажатого льдами в Антарктиде в период полярной ночи, и выданы рекомендации по выводу его из ледового плена.

Радиолокатор с синтезированной апертурой антенны РСА «Меч-КУ», разработки НПО «Вега», выполнял радиолокационную съёмку на рабочей частоте 3 ГГц с пространственным разрешением 15 м и линейной горизонтальной поляризацией сигналов в полосе захвата шириной 350 км с шириной луча на местности – 30 км. Протяжённость записи РЛ-изображения вдоль трассы – 20–240 км [1].

Информация с борта КА передавалась на Землю с помощью спутника-ретранслятора «Луч» в цифровом виде. Ежедневно обеспечивалась обработка до 100 снимков. Дополнительно на «Алмаз-1А» был

установлен радиометр с рабочими длинами волн 8 и 5 см (пассивная съёмка), обеспечивающий съёмку в полосе шириной 600 км с пространственным разрешением 10–30 км и радиометрической точностью 0,3°. Расчётный срок существования КА был 30 месяцев. Однако повышенная солнечная активность в период полёта привела к необходимости в среднем каждые 24 суток проводить коррекцию орбиты, в результате чего запас топлива был израсходован ранее прогнозированного. Управляемый свод КА с орбиты был проведён 17 октября 1992 года.

ERS-1/2. Первый европейский SAR спутник был запущен в космос ракетой Ariane-4 в июле 1991. Спутник имел разрешение 20 м, по данным его съёмки успешно построены цифровые модели рельефа благодаря результатам интерферометрической обработки пар радарных снимков, выполненных с временным интервалом, равным кратному числу полных циклов повторения орбиты.

За ним последовал второй спутник ERS-2, запущенный в 1995 году. В то время два спутника ERS были самым сложным космическим комплексом наблюдения Земли, когда-либо разработанным и запущенным в Европе (рис.1). ERS-1 завершил свою работу в 1999 году, однако с 1995 г он составлял пару со спутником ERS-2, способную выполнять тандемную интерферометрическую съёмку одной и той же территории с временным интервалом в 1 сутки. Благодаря чему спутники ESA (Европейское космическое агентство) собрали множество ценных данных о земной поверхности Земли, океанах и полярных регионах. [2]

В 2002 году Европейским космическим агентством был запущен спутник **ENVISAT**, с радиолокатором ASAR на борту, который представлял собой следующее поколение спутников ERS-1 и 2.

Рис.1. ERS-1,ERS-2/ATSR-2 (ESA)

Этот спутник характеризуется большим количеством углов и режимов съемки, возможностью съемки в разных поляризациях (в том числе, в двух одновременно) и в широкополосном режиме. При этом снимки, сделанные в режиме Image Mode в полосе съемки IS2 и с поляризацией VV интерферометрически совместимы со снимками ERS-1 и ERS-2. Эта особенность позволила в течение нескольких временных периодов организовать тандемную съемку ERS-2 – ENVISAT с временным интервалом в 30 минут на больших базовых линиях. Съемка в таком режиме характеризуется крайне высоким фазовым разрешением интерферограмм по высоте и при этом довольно высокой когерентностью фаз этих снимков, что позволяет строить ЦМР высокой точности (но среднего пространственного разрешения 20 м) [3].

Компания MDA (Канада) в 1995 году запустила радиолокационный спутник **Radarsat-1**. Спутник мог вести съемку с пространственным разрешением от 1 до 100 м, под многими углами съемки и с разными площадями кадра. RADARSAT-1 предоставил Канаде и всему миру действующую коммерчески ориентированную радиолокационную спутниковую систему, способную своевременно доставлять большие объемы данных. Оснащенный мощным радаром с синтезированной апертурой (SAR), он получал изображения Земли днем или ночью, в любую погоду и через облачный покров. Логическим продолжением спутника Radarsat-1 стал запущенный в 2007 году спутник **Radarsat-2**.

Спутник снимает Землю с пространственным разрешением от 1 до 100 метров, обеспечивая покрытие от 144 до 250 000 км² на одной сцене. Съемка поддерживает одиночный, двойной и 4-поляризационный режим. Благодаря 20 режимам визуализации спутник обеспечивает максимальную гибкость и коммерческую емкость для любой миссии SAR, позволяя клиентам выбирать правильную комбинацию разрешения, поляризации и ширины полосы в соответствии с их требованиями к формированию изображения [4].

В 2019 г. осуществлен запуск 3 аппаратов серии Radarsat Constellation

TerraSAR-X – коммерческий немецкий спутник наблюдения Земли с синтезированной апертурой, запущенный в июне 2007 года. Миссия TerraSAR-X – это государственно-частное партнерство между Германским аэрокосмическим центром (DLR) и ведущей европейской космической компанией, Airbus DS. TerraSAR-X имеет управляемый радар SAR в X-диапазоне с вариантами одинарной и двойной поляризации. Существует дополнительная опция 4-поляризационной съемки. Спутник снимает в 5

режимах в диапазоне от 1 м (High Resolution Spotlight Mode) до 18,5 м (ScanSAR). Время повтора съемки TerraSAR-X варьируется от 2,5 до 11 дней в зависимости от режима съемки.

В 2010 году был запущен TanDEM-X (дополнение TerraSAR-X для цифровых измерений высоты). Спутник TanDEM-X практически идентичен спутнику TerraSAR-X. Оба спутника летали в тесной формации с разнесением всего в несколько сотен метров. Вместе они образуют первый настраиваемый радиолокационный интерферометр с синтезированной апертурой в космосе.

Миссия **TerraSAR-X/TanDEM-X** занималась синхронным сбором данных, и охват всего земного массива Земли был получен в течение 3 лет. Это привело к созданию набора высотных данных для всей суши Земли: WorldDEM, включающего 12-метровую модель рельефа с точностью по высоте равной 10 м [3].

PAZ (SEOSAR – Satélite Español de Observación SAR) – первый испанский радарный спутник двойного назначения компании Hisdesat – данные могут использоваться в связке с TerraSAR-X/TanDEM-X. Был введен в эксплуатацию 6 сентября 2018 года. Спутник способен проводить съемку в любых погодных условиях, днем и ночью, и, в первую очередь, будут выполняться заказы испанского правительства, связанные с вопросами безопасности и обороны. КА PAZ снабжен радаром с синтезированной апертурой, разработанным компанией Astrium GmbH на платформе радара спутника TerraSAR-X. [3]

ALOS PALSAR – это активный микроволновой датчик, использующий частоту L-диапазона для наблюдения за землей (рис.2). Точное разрешение до 10 м достигается в режиме Fine mode, также имеется режим ScanSAR, который позволяет получать изображения шириной от 250 до 350 км (в зависимости от количества сканирований) и разрешением до 100 метров. Разработка PALSAR является совместным проектом JAXA и Японской организации системы наблюдения за ресурсами (JAROS).

Запуск радарного спутника дистанционного зондирования Земли **ALOS-2** был осуществлен 24 мая 2014 г. Спутник призван ликвидировать тот пробел в радиолокационных данных, который получился после выхода из строя в 2011 году спутника ALOS. Аппарат был разработан компанией “Mitsubishi Electric Corporation” на заказ Японского космического агентства “JAXA”. Специалисты JAXA отказались от совмещения на одной платформе оптической и радарной систем, что было реализовано на выведенном из эксплуатации спутнике ALOS. Поэтому на смену ему пришлось сразу два космических аппа-

рата – один оптико-электронный (ALOS-3), второй радарный (ALOS-2). В качестве основной аппаратуры на борту спутника ALOS-2 установлена радиолокационная система с синтезированной апертурой L-диапазона PALSAR-2, небольшая инфракрасная камера, и аппаратура автоматической иденти-

кации судов AIS (Automatic Identification System). Аппаратура AIS используется для автоматического отслеживания кораблей, судов около прибрежных районов Японии, а также во всем мировом океане [5]. В ближайших планах запуск радарного спутника ALOS-4 с разрешением от 1 м.

Рис. 2- ALOS (PRISM, AVNIR-2, PALSAR)

Одной из наиболее multifunctional и интересных на сегодняшний день, группировкой радарных спутников является группировка **COSMO-SkyMed 1–4** (E-GEOS, Италия). Дата запуска первого спутника 8 июня 2007 г., четвертого – 6 ноября 2010 г.

Группировка состоит из 4 спутников среднего размера, каждый из которых оснащен микроволновым радаром высокого разрешения с синтезированной апертурой, работающим в X диапазоне. Высота 620 км над поверхностью Земли, с возможностью изменения положения для получения изображений как с правой, так и с левой стороны от траектории полета спутника. Основная особенность – частота интерферометрических съемок до 8 раз в месяц, наличие различных поляризационных режимов, пространственное разрешение до 1 м.

RISAT-1 – радиолокационный спутник разработанный и эксплуатируемый Индийской организацией космических исследований с multifunctional радиолокатором C-диапазона частот (5,35 ГГц), запущен 26 апреля 2012. Съемка земной поверхности проводится с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV). RISAT-1 состоит из приблизительно 1400 подсистем (включая 300 процессоров). Спутник предназначен для круглосуточной и всепогодной съемки Земли в 5 различных режимах: HRS (разрешение 1 м x 0,67 м), FRS-1 (3 м x 2 м), FRS-2 (3 м x 4 м), MRS (21–23 м x 8 м), CRS (41–55 м x 8). Общая цель миссии RISAT заключается в мониторинге сельского, лесного хозяйства, влажности почв, геологии, водных ресурсов, гля-

циологии, идентификации объектов и мониторинге наводнений [3].

NovaSAR-1 (Великобритания) запущен 16 сентября 2018 года. Разработан и изготовлен компанией SSTL с использованием радиолокатора S-диапазона компании Airbus Defense and Space и автоматическим идентификационным приемником (AIS), поставляемым компанией Honeywell Aerospace. Полезная нагрузка SAR включает также специальный модуль для мониторинга акватории, спроектированный с широкой полосой охвата в 400 км. Спутник предоставляет информацию по обнаружению и идентификации судов, одновременно отслеживая их маршруты [3].

В дополнение к работе в морском режиме NovaSAR-1 имеет три дополнительных режима радарной съемки, включая режим съемки с разрешением в 6 м, подходящий для ряда приложений, таких как мониторинг наводнений, сельскохозяйственных и лесных ресурсов.

ICEYE (Финляндия) – новая действующая группировка наноспутников SAR, целью создания которой является предоставление потребителям радиолокационных данных в режимах близких к реальному времени. Основу аппаратов составит разработанная York Space Systems платформа S-Class. Радарные КА ICEYE – X1, X2, X4, X5, разрешение от 1 метра. Режимы съемки: SpotLight, StripMap, ScanSAR.

В ближайших планах запуск 2 КА с последующим увеличением группировки до 18 КА. Основная цель – обеспечить повторную съемку любой точки через 3 часа [3].

KOMPSAT-5. Спутник, разработанный Корейским институтом аэрокосмических разработок (KARI) в рамках национального плана развития с середины 2005 года, был запущен в 2014 году, проводит съемку в X-диапазоне.

Основной задачей системы KOMPSAT-5 является предоставление изображений в режиме высокого разрешения, 1 метр, в стандартном режиме, с разрешением 3 метра, и изображений с широкой полосой обзора, с разрешением 20 метров, с углом падения 45 градусов. Отличительной особенностью является наличие дополнительной полезной нагрузки – система «АОРОД» (исследование атмосферы и точное определение параметров орбиты). Спутник предназначен для осуществления круглосуточного мониторинга Корейского полуострова, получения оперативной информации о погодных условиях,

Рис. 3. SANTIHEL-1 A/B

Спутник обеспечивает повторяемость съемки 1–3 сут, вне зависимости от погодных условий. Данные доступны через час после съемки. Sentinel-1A запущен в апреле 2014 г. Аналогичный спутник Sentinel-1B запущен в 2016 г. На борту космических аппаратов устанавливается РЛ с синтезированной апертурой C-SAR (разработка компании «Airbus DS»). Области применения: мониторинг морских льдов, разливов нефти, мониторинг наводнений и другие задачи, требующие регулярности съемки и независимости от условий облачности [6].

«Кондор» – серия малых спутников ДЗЗ, разработанная НПО Машиностроения для российских и иностранных заказчиков. Российские аппараты обозначаются «Кондор», экспортные версии – «Кондор-Э».

КА предназначены для получения высококачественных изображений, необходимых для мониторинга земной поверхности и океанов, экологического мониторинга и эффективного управления природными ресурсами. Как у космического аппа-

катаклизмах (стихийных бедствиях, техногенных катастрофах), а также о природных ресурсах [3].

Huan Jing 1C – небольшой китайский спутник-радар для наблюдения Земли, пополнивший спутниковую группировку «Huan Jing», состоящую из двух оптических спутников «Huan Jing 1A» и «Huan Jing 1B». Это первая гражданская РСА система в Китае. HJ-1C был запущен 18 ноября 2012 года. Орбита: солнечно-синхронная круговая, высота 502 км, наклон 97,3°, период обращения 94 минуты, цикл повторения 31 день. Разрешение 20 м. Прибор SAR S-диапазона был разработан при поддержке НПО «Машиностроения» и «Вега», Россия.

Sentinel-1 (A, B) – первый источник бесплатных данных в радиолокационном (С) диапазоне, с пространственным разрешением 5 м (рис.3–4).

Рис. 4. Режимы съемки SANTIHEL-1 A/B

рата для российских заказчиков, так и созданного в интересах иностранного заказчика – достигаемое разрешение до одного метра, масса космического аппарата – до 1150 кг, срок активного существования – 5 лет.

В 2021 году планируется запуск первого радиолокационного спутника дистанционного зондирования Земли «Обзор-Р», разрабатываемого российским РКЦ «Прогресс».

Радиолокационные космические аппараты, планируемые к запуску

- CSG – 2 (Италия) планируется запуск в 2021 г. В конце 2019 г. выведен на орбиту спутник CSG – 1 (второе поколения спутников COSMO-SkyMed);
- В ближайшем будущем ожидается запуск 2 КА ICEYE (Финляндия) с последующим увеличением группировки радарных спутников до 18 КА;
- Планируется запуск 4 радарных спутников X диапазона группировки SuperView (Китай) с разрешением лучше 50 см и запуск 2 радарных КА (разрешение 0,5 м) группировки Zhuhai (Китай);

- Планируется запуск радарного спутника ALOS-4 (разрешение от 1 метра), компании JAXA (Япония);
- KOMPSAT-6 (Корея), запуск предполагается в 2020 году, разрешение от 0,5 м.
- Планируется запуск 3 радарных КА группировки IRS (Индия);
- SAOCOM (Аргентина). На орбиту будет выведен малый КА пассивного РЛН, то есть работающий только на прием сигнала – SAOCOM-CS (Companion Satellite), который будет работать в бистатическом режиме в паре с КА SAOCOM-1B. SAOCOM – 1A был выведен на орбиту двухступенчатой ракетой Falcon 9 08.10.2018, запуск SAOCOM-1B запланирован 30.06.2020.
- в 2021 и 2022 году РОСКОСМОС планирует запустить радарные спутники Обзор-Р1 и Кондор-ФКА №1/2.
- также РОСКОСМОС анонсировал создание космического комплекса, включающего орбитальную группировку из 6 малоразмерных космических аппаратов радиолокационного наблюдения (МКА РЛН). Группировка будет обеспечивать

всепогодное и круглосуточное наблюдение территории России, а также обеспечит периодичность наблюдения Арктического региона Российской Федерации в диапазоне 55-90° с.ш. от 4 до 8 раз в сутки [7].

В заключение отметим, что группировка радиолокационных спутников активно развивается, в ближайшие годы ожидается пополнение не только зарубежных спутников, но и РЛС российской разработки. Для обширной территории Российской Федерации радиолокационная съёмка имеет огромное значение, учитывая то, что страна располагается в северных широтах, где не всегда достаточное освещение для космической аппаратуры ДЗ оптического диапазона и то, что большинство регионов часто закрыто облачностью. Важно ещё и то, что разрабатываются системы для выполнения съёмки на различных частотах, с различными режимами поляризации – это позволит значительно повысить информативность данных ДЗ, особенно при их комплексировании и привлечении данных оптического диапазона для совместной обработки.

Список литературы

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
2. Журнал «Геоматика» 2011, №3. 116 с.
3. Портал Европейского космического агентства EoPortal. URL: <https://eoportal.org> (дата обращения 25.05.2020).
4. Официальный портал группы компаний MDA. URL: <https://mdacorporation.com/corporate/> (дата обращения 25.05.2020).
5. Кантемиров Ю.И. Обзор современных радарных данных ДЗ3// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2013. №2. С. 69–72.
6. Официальный портал NASA. URL: <https://www.nasa.gov/> (дата обращения 25.05.2020).
7. Костюк Е.А., Денисов П.В., Трошко К.А., Мартынов А.С. Анализ тенденций развития радиолокационных средств ДЗ3. // ДЗ3 в России. 2018. №1. С.52–59.

SPACE RADAR SYSTEMS OF EARTH MONITORING

E.N. Nafieva, A.V. Grechishchev

Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)

elena_nafieva@mail.ru, agre4@yandex.ru

Abstract. This article explores the relevance of radar sensing methods. The principles of its operation and the advantages of use are considered: the independence of obtaining images from weather conditions and the time of day, the possibility of wide viewing at long ranges with high resolution and the flexibility of controlling and changing radar parameters, which allows you to vary the position and size of the viewing area, resolution and forms of information. In addition, the main satellite radar systems were considered: satellites of the European Space Agency ERS-1,2 and ENVISAT; Canadian satellites of MDA Radarsat-1,2; satellites launched by the German Aerospace Center (DLR) and the leading European space company Airbus DS-TerraSAR-X, TanDEM-X; Spanish satellite PAZ; Japanese satellites ALOS and ALOS-2; Italian constellation of Cosmo-SkyMed satellites; Indian satellite RISAT-1; English satellite NovaSAR-1; Finnish ICEYE satellites; Korean satellite KOMPSAT-5, Chinese satellite Huan Jing 1C, European satellites Sentinel-1 (A, B) and Russian satellites Kondor.

Also in this article are considered radar spacecraft planned to launch, namely: the second generation of Italian satellites COSMO-SkyMed – CSG – 2; 2 spacecraft ICEYE (Finland); 4 X-band radar satellites SuperView (China); 2 radar satellites Zhuhai (China); ALOS-4 JAXA (Japan); KOMPSAT-6 (Korea), 3 radar spacecraft of the IRS constellation (India), SAOCOM (Argentina), Russian-made satellites Obzor-P1 and Kondor-FKA, in addition, ROSKOSMOS plans to create a space complex that includes an orbital constellation of 6 small-sized spacecraft for radar observation.

Keywords: Remote sensing, radar, ERS-1,2, ENVISAT, Airbus DS, ALOS, PAZ, Cosmo-SkyMed, ICEYE, KOMPSAT-5.

References

1. Verba V.S., Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk V.E. Radiolokatsionnye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya [Radar systems of space-based land survey]/edited by V.S. Verba. M.: "Radiotekhnika" Publisher, 2010. 680 p.
2. Geomatics Magazine 2011, No. 3. 116 p. (In Russian)
3. Portal of the European Space Agency EoPortal. URL: <https://eoportal.org> (case date 25.05.2020).
4. The official portal of the MDA group of companies. URL: <https://mdacorporation.com/corporate/> (case date 25.05.2020).
5. Kantemirov Y.I. Obzor sovremennykh radarnykh dannykh DZZ [Review of modern radar data of remote sensing of the Earth]// Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka. 2013. №2. Page 69–72. (In Russian)
6. NASA Official Portal. URL: <https://www.nasa.gov/> (case date 25.05.2020).
7. Kostyuk E.A., Denisov P.V., Troshko K.A., Martyanov A.S. Analiz tendentsiy razvitiya radiolokatsionnykh sredstv DZZ [Analysis of trends in the development of radar remote sensing devices]// DZZ v Rossii. 2018. №1. Page 52–59. (In Russian)