

Стандартизация радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли как процедура описания показателей их информативности

А.М. Полетаев

*ЗАО «Институт телекоммуникаций»
194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, 5
E-mail: poletam@mail.ru*

Рассматривается современное состояние средств радиолокационного наблюдения поверхности Земли. В целях обеспечения широкого доступа потребителей к данным обосновывается необходимость подробного описания параметров условий и режимов радиолокационного наблюдения в форме стандартов. Описаны уровни обработки радиолокационных данных на основе рекомендаций международных организаций в области дистанционного зондирования Земли.

Россия входит в число шести держав, имеющих как собственные средства выведения на орбиту, так и крупную орбитальную группировку (ОГ) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), и потенциально является крупным участником мирового экономического пространства в этой отрасли [1-4]. Данные ДЗЗ, получаемые с орбитальных и воздушных носителей, занимают среди источников актуальных пространственных данных одно из ведущих мест. В июне 2006 г. утверждена Федеральная космическая программа (ФКП) на 2006-2015 гг., предполагающая создание ряда космических комплексов ДЗЗ и соответствующих наземных средств, и позже - в июле 2006 года в Федеральном космическом агентстве (Роскосмос) принята «Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года» (Концепция ДЗЗ). Одними из основных задач ФКП и Концепции ДЗЗ является развитие ОГ КА ДЗЗ и создание инфраструктуры для доступа пользователей ДЗЗ. Основными пользователями данных ДЗЗ обозначены МЧС РФ, Роскосмос, Минсельхоз РФ, Минтранс РФ, Росгидромет, Минприроды РФ, РАН, а также коммерческие потребители. Кроме этих документов, утверждены и исполняются ряд федеральных целевых программ (ФЦП) и проектов, предусматривающих использование данных ДЗЗ в качестве актуальных пространственных данных – «Электронная Россия», «Экология и природные ресурсы России», «Предупреждение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций»; также правительством принята «Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных РФ», предусматривающая разработку ФЦП по этой тематике. Следует отметить активное взаимодействие Роскосмоса с субъектами РФ в форме заключения соглашений по использованию результатов космической деятельности в интересах социально-экономического развития РФ, что является подготовкой к принятию соответствующей ФЦП. Таким образом, область ДЗЗ активно развивается и требует приоритетного внимания – включения в соответствующие планы и программы национальной стандартизации. Исходя из тенденций и количественных характеристик развития отечественных средств ДЗЗ (п.6.2, 7.1 «Концепции ДЗЗ») необходимо проведение единой технической политики в области получения и использования данных ДЗЗ с целью ее сертификации и дальнейшего продвижения на внутренний рынок и за рубеж.

Для России с разнообразными климатическими факторами и частью территории за полярным кругом, т.е. с неблагоприятными условиями освещенности и, следовательно, затрудненностью применения оптико-электронных (ОЭ) и фотографических средств, применение радиолокационных (РЛ) средств (РЛС) наблюдения поверхности Земли (ПЗ) является насущным и необходимым. Исторический путь разработки и применения орбитальных РЛС в России имеет существенные отличия от зарубежного.

1. Успешное решение проблемы достаточного электроснабжения активных РЛС путем разработки бортовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ) в НПО «Красная звезда» и КБ «Арсе-

нал», что позволило при относительно легком весе КА «УС-А» использовать наклонные орбиты ($64\div 82^\circ$) – неоптимальные с точки зрения освещенности Солнцем, но достаточные для обзора приполярных областей. Закрытая в 90-х программа ЯЭУ, частично из-за международного давления (после аварии КА «Космос-952» над Канадой), в настоящее время активно востребуется для разработки проектов межпланетных полетов [5].

2. Отработка в 70-80-х гг. всех сложных с технической точки зрения и необходимых в настоящее время вопросов сбора и передачи РЛ данных ДЗЗ, включая:

- реализацию одновременного двухстороннего РЛ обзора (КА «Алмаз-1», «Океан-О», «УС-А») с одной стороны, для наблюдения значительной арктической зоны РФ (ледовой разведки и долговременного мониторинга снежных и ледяных покровов морей и суши) и с другой – для повышения оперативности получения информации о районах интенсивного судоходства [2, 6];

- реализацию предварительной обработки на борту формируемых РЛ изображений (РЛИ) в полосе обзора до 200-500 км – амплитудной и геометрической коррекции с вычислением координат объектов;

- реализацию распределенного доступа к РЛ данным ДЗЗ при их передаче в зонах радиовидимости (ЗРВ) потребителей (наземные и корабельные пункты Росгидромета и ВМФ), как ранее записанных в бортовое запоминающее устройство (БЗУ) через КА-ретранслятор (КА-Р), так и в реальном масштабе времени (РМВ);

- реализацию комплексирования активных и пассивных средств ДЗЗ (СВЧ-радиометры, ОЭ сканеры типа МСУ-М) с близким разрешением и совмещением по полосе обзора, что в последующем послужило научно-методической основой для разработки океанографических европейских КА ERS-1, ERS-2, Envisat и японских КА ADEOS-1, MOS-1.

3. Массовое производство однотипных КА с последовательной отработкой технических решений в РЛ и других бортовых системах, но с коротким временем активного существования, что при новой экономической ситуации в оборонно-промышленном комплексе РФ привело к значительному перерыву в разработках современных КРСА. Попытка реализации подобного подхода в настоящее время (серийное производство и запуск малых КА) применительно к радиолокаторам с синтезированной апертурой антенны (РСА) натолкнулась на серьезные трудности создания легких антенных систем с требуемыми техническими характеристиками. Планируемые к размещению на данных КА самораскрывающиеся антенны типа ТКСА-6 (РСА «Траверс» модуль «Природа» орбитальной станции «Мир») пока не имеют успешного опыта эксплуатации в космосе, кроме того, их значительные размеры по сравнению с размерами самих КА могут привести к сложностям в их ориентации и стабилизации при механическом управлении диаграммой направленности антенны (ДНА) [6-8].

В настоящее время на российских предприятиях ведутся разработки нескольких космических РСА (КРСА): «Аркон» - 2 КА (НПО им.С.А.Лавочкина), «Ресурс-ДКР» - 1 КА (ЦСКБ «Прогресс» и НИИ ТП), «Кондор» - 1-2 КА (НПО Машиностроения), «Монитор» - 2 КА (ГКНПЦ им.М.В.Хруничева), «Смотр» - 1-4 КА (РКК «Энергия» и ОАО «Газком»), «Север» - 1-2 КА (КБ «Арсенал») [9].

Осознание государствами, в первую очередь имеющими сходные природные условия, перспективности РЛС для решения задач тематического картографирования и оперативного наблюдения [10, 11], привело к высоким темпам разработки космических РЛ систем (КРЛС) на основе КРСА (табл.1). В 2005 году на орбите находилось 3 КРСА Канады и Европы научного, коммерческого и двойного назначения (ERS-2, Envisat, Radarsat-1) и 4 КРСА военного назначения (США - Lacrosse-2, -3, -4, -5; Японии - IGS-R1), запущенных в предыдущие 10 лет (к ним следует добавить неудачные запуски в 2004 году радиолокаторов на КА «Сич-1» и «Cryosat»). В течение всего двух лет 2006-2007 гг. осуществлен запуск 13 КРСА: Канады (Radarsat-2), Японии (ALOS, IGS-1R, -2R), Германии (SAR-Lupe-1, -2, -3; TerraSAR-X), Италии (CosmoSkyMed-1, -2) и Китая (RSS/JB-1, -2, -3). Среди воздушных РСА в России следует отметить «Имарк» и «Компакт» (производители соответственно НПО «Вега» и НИИ ТП), а за рубежом РСА устанавливаются в массовом порядке на беспилотные летательные аппараты и самолеты. Среди средств воздушного базирования сле-

дует отметить в США РСА на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) «AN/APY-8 Lynx™ SAR/GMTI», «EL/M-2055 SAR/MTI», «AN/ZPQ-1 TESAR», РСА на самолетах «AN/APS-137B(V)5 Maritime Surveillance Radar», «ASARS-II A/ZJ690», «HISAR», «AIRSAR/TOPSAR»; в Германии «E-SAR»; в Израиле РСА на БПЛА «EL/M-2055 SAR/MTI», «EL/M-2022 U/H/A», РСА на самолетах «EL/M-2060P SAR» [12]. Таким образом, осознание преимуществ и специфики РЛИ и увеличение количества РСА орбитального и воздушного базирования привело к росту спроса на РЛ данные ДЗЗ (ДДЗЗ) и, следовательно, увеличению объема рынка.

Таблица 1. Динамика увеличения орбитальной группировки КРЛС зарубежных государств в 2000-2007 гг.

Страна	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Военное назначение</i>								
США	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2	Lacrosse-2
	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3	Lacrosse-3
	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4	Lacrosse-4
						Lacrosse-5	Lacrosse-5	Lacrosse-5
Япония			IGS-R1	IGS-R1	IGS-R1	IGS-R1	IGS-R1	IGS-R1 IGS-3B
Китай							Yaogan-1	Yaogan-1 Yaogan-2 Yaogan-3
Германия							SAR-Lupe-	SAR-Lupe-1 SAR-Lupe-2 SAR-Lupe-3
Италия								COSMO-SkyMed-1 COSMO-SkyMed-2
Израиль								TechSAR (21.01.2008)
<i>Всего</i>	3	3	4	4	4	5	7	14
<i>Научное и коммерческое назначение</i>								
Канада	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1	Radarsat-1 Radarsat-2
Европа	ERS-2	ERS-2	ERS-2 Envisat	ERS-2 Envisat	ERS-2 Envisat	ERS-2 Envisat	ERS-2 Envisat	ERS-2 Envisat
Япония							ALOS	ALOS
Германия								TerraSAR-X
<i>Всего</i>	2	2	3	3	3	3	4	6

РСА относятся к высокопроизводительным средствам наблюдения и построения РЛИ ПЗ с темпом поступления данных, превышающим аналогичные показатели ОЭ средств наблюдения ПЗ. Это вызывается спецификой когерентной обработки и многопараметричностью отраженных радиосигналов [2, 8, 9].

Во-первых, восстановление фазовой структуры отраженного сигнала требует фиксации отсчетов синфазной и квадратурной составляющих видеосигнала на выходе фазового детектора (радиоголограммы (РГГ)), т.е. двух отсчетов для фиксированного момента времени, а не одного, как в некогерентных радиолокаторах. Отсчеты поступают с частотой дискретизации, определяемой шириной полосы частот радиосигнала (разрешающей способностью по дальности), и динамическим диапазоном (числом бит на отсчет – как правило, от 3 до 8), определяемым типом наблюдаемой ПЗ и техническими характеристиками КРСА. В общем случае требования потребителей по повышению пространственной и радиометрической разрешающей способности РЛИ увеличивают скорость поступления данных. На первом этапе РЛ наблюдения ПЗ на борту РСА формируется РГГ, объем которой зависит от длительности и режима РЛ наблюдения и ограничен емкостью бортового запоминающего устройства (БЗУ). После предварительной буферизации (в оставшееся время пе-

риода повторения импульсов от приема строга отраженных сигналов, соответствующей полосе наблюдения (захвата)) мгновенная скорость данных может быть снижена, при этом средняя скорость остается на уровне 100-400 Мбит/с. На втором этапе РГГ необходимо передать на наземный приемный пункт (НПП) для формирования собственно РЛИ ПЗ - специальной процедуры синтеза - с учетом опорной функции, рассчитываемой на основе уточненных параметров относительного перемещения КРСА и участка ПЗ, и последующей геометрической и радиометрической коррекции и дешифрирования РЛИ (вторичной обработки), требующего в большинстве случаев мощного программно-аппаратного обеспечения и участия оператора (табл. 2).

Таблица 2. Режимы функционирования КРЛС

№ п/п	Режимы функционирования КРЛС с КРСА	Основные ограничения
1	Наблюдение ПЗ при записи РГГ в БЗУ	Емкость (объем) БЗУ, энергетический потенциал бортовой системы КРСА
2	Наблюдение ПЗ при передаче РГГ (без записи в БЗУ) в НПП через КА-Р	Наличие орбитальной группировки КА-Р с высокоскоростными каналами передачи данных (до 100-400 Мбит/с)
3	Наблюдение ПЗ при передаче РГГ (без записи в БЗУ) непосредственно в НПП	Наличие пространственно распределенной по ПЗ сети НПП
4	Передача РГГ в НПП с требуемой скоростью (воспроизведения с БЗУ) через КА-Р	Наличие орбитальной группировки КА-Р
5	Передача РГГ в НПП с требуемой скоростью (воспроизведения с БЗУ)	Наличие пространственно распределенной по ПЗ сети НПП

Во-вторых, РЛ наблюдение ПЗ может одновременно осуществляться на нескольких частотных каналах (длинах волн) в диапазоне 3-70 см, испытывающим наименьшее влияние тропосферы и ионосферы (например, КРСА Lacrosse, SIR-C/X-SAR), поэтому суммарная скорость данных пропорциональна количеству каналов.

В-третьих, в отличие от оптического диапазона в радиодиапазоне при активном режиме наблюдения ПЗ, т.е. априорно известных временных и пространственных параметров излучаемого электромагнитного поля (ЭМП), возможен многопозиционный прием и поляризационная обработка отраженного сигнала. При многополяризационной обработке - попеременном излучении на одной поляризации (горизонтальной (Г) или/и вертикальной (В)), прием на прямой ГГ (ВВ) и перекрестной ГВ (ВГ) (например, КРСА Envisat (ASAR)) - и интерферометрическом режиме (например, в КРСА Shuttle-SRTM осуществляется прием на две антенны) скорость поступления данных увеличивается в два раза и выше.

В-четвертых, современные антенны РСА, как правило, представляют собой активные фазированные антенные решетки (АФАР), на базе которых реализуются режимы наблюдения как с неподвижной ДНА, так и с электронным сканированием по азимуту (телескопический или прожекторный Spot) и по углу места (широкополосный ScanSAR). Изменение амплитудно-фазового распределения по раскрытию АФАР для управления ориентацией ДНА производится одновременно с управлением параметрами излучаемого сигнала и приемного устройства (табл. 3).

РЛ данные традиционно, как и другие данные ДЗЗ, различаются по уровням обработки, каждый из которых может иметь дополнительное деление (табл. 4). Вышеуказанные существенные отличительные особенности – двухэтапность формирования РЛИ, многопараметричность РЛ сигнала и многофункциональность функционирования РЛС приводит к необходимости подробного описания условий получения и параметров процесса обработки РЛ данных [13, 14]. Для РСА в связи с требованиями когерентной пространственно-временной обработки РЛ данных возникает необходимость введения дополнительного набора данных, детально описывающих параметры пространственного и углового положение носителя РСА и их производных, пространственных условий его применения, показателей основного и калибровочного РЛ сигнала, статистик вход-

ных и выходных данных для всех уровней [15]. С одной стороны, многообразие систем координат (национальных геодезических систем, референц-эллипсоидов, картографических проекций), систем отсчета времени и способов реализации поправок к ним и, с другой, «интернациональный» характер РЛ ДЗЗ (наличие потребителей в подавляющем большинстве государств) порождает необходимость учета этих особенностей в многочисленных табличных формах с программным доступом. Как правило, параметры и непосредственно сами РЛ данных группируются в специальных форматах (табл.5): файл каталога (Volume Directory File), заголовочный файл (SAR Leader File, SAR Trailer File), файл данных (Imagery Options File).

Таблица 3. Режимы функционирования и тактико-технические характеристики КРСА

Типовые режимы функционирования КРСА (включая разновидности по числу применяемых поляризации и ширины спектра сигнала)	Наличие режимов у КРСА						Типовые значения полосы наблюдения	Типовые значения разрешающей способности по координатам и по скорости
	гражданские				военные			
	ERS-2	ENVISAT	ALOS	Radarsat-1	Radarsat-2	Lacrosse		
Когерентные								
Полосовой (Strip)	+	+	+	+	+	+	+	40-160 км 5-30 м
Широкополосный (ScanSAR)		+	+	+	+			350-500 км 60-150 м
Прожекторный (Spot)						+	+	5-10 км 0.7-2 м
Кадровый/Волновой (Wave-Imagette)		+	+	+	+			5x5-10x10 км 50-70 м
Селекция движущихся целей (GMTI)					+	+		20-100 км 1-20 м/с
Некогерентные								
Глобальный (Global)		+						500-900 км 800-1000
Скаттерометрический (Scatterometer)		+						300-500 км 2-15 м/с

Повышение уровня измерительных свойств как реализация потенциальной информативности РЛ данных происходит в процессе проведения различных калибровок, т.к. в РСА как активных системах ДЗЗ имеется достаточная априорная информация. Радиометрическая коррекция заключается в устранении яркостных искажений РЛИ, обусловленных ограниченным динамическим диапазоном аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и когерентной обработкой (устранения спекл-шума путем некогерентной обработки), искажений неодинакового усиления по диаграмме направленности антенны, наклонной дальности, типу наблюдаемой ПЗ. Различают внутреннюю и внешнюю радиометрические калибровки: в первом случае используют калибровочные сигналы и предварительно рассчитанные и/или измеряемые в процессе съемки коэффициенты усиления элементов приемопередающего тракта, во втором – искусственные и естественные объекты ПЗ с известной ЭПР и наземные передатчики калибровочного сигнала. Вследствие износа аппаратуры и воздействия агрессивной среды на КРСА вопросы радиометрической калибровки изменяющихся характеристик относятся к первоочередным. Геометрическая коррекция РЛ данных заключается в преобразовании РЛИ из наклонной дальности в горизонтальную, привязку РЛИ по навигационным параметрам съемки и/или по опорным точкам, изменению ориентации РЛИ в избранную картографическую проекцию. Одной из самых сложных операций является калибровка РЛИ с применением ЦМР, поскольку рельеф, определяющий локальные углы падения РЛ сигнала, оказывает влияние одновременно на геометрические и радиометрические свойства РЛИ. Естественно, стоимость подобных РЛ данных значительно выше остальных [16]. Развитие аппаратных средств стимулировало

разработку многочисленного программного обеспечения обработки РЛД, при этом в силу подобию пространственных задач пакеты по обработке РЛД структурно входят в различные геоинформационные и фотограмметрические системы. Среди отечественных разработок следует отметить модули PHOTOMOD Radar (ЗАО «Пакурс»), среди зарубежных - ERDAS Imagine (Leica GeoSystems (США)), ENVI (Research Systems Group Inc (США)), позволяющих проводить регулируемую геометрическую и радиометрическую коррекцию, фильтрацию и распознавание РЛИ, текстурный анализ, преобразование РЛ данных в избранные форматы графических и векторных данных.

Таблица 4. Типы и уровни обработки радиолокационных данных

Тип	Уровень	Описание процедур обработки	Типовое обозначение РЛ данных
Необработанные (сигнальные) данные		РГГ, преобразованная для передачи по радиоканалу	RAW: Raw (Single) Data
Предварительная	0	Фильтрация помех на РЛИ максимального разрешения, коррекция сбойных участков, исключение служебной информации (сигналов синхронизации, параметров сжатия, телеметрии), хронологическое упорядочение данных	SLC: Single Look Complex SSC: Single-Look Slant Range Complex Image
	1	Радиометрическая и геометрическая коррекция РЛИ максимального или неполного разрешения, добавление вспомогательной информации для последующей обработки	SGF: SAR Georeferenced Fine Resolution (Path Image) SGX: SAR Georeferenced Extra Fine Resolution (Path Image Plus) SCN: ScanSAR Narrow beam SCW: ScanSAR Wide beam ORI: Ortho Image GEC: Ellipsoid Geocoded Image (Geocoded Ellipsoid Corrected) GTC: Terrian Geocoded Image (Geocoded Terrain Corrected) GIM: Geocoded Incidence Angle Mask GMQ: Geocoded Map Quadrant MGD: Multi-Look Ground Range Detected Image SDP: Selective Dual Polarization SSP: Selective Single Polarization
Вторичная	2	Восстановление признаков объектов ПЗ на основе градуировочных и калибровочных характеристик РСА, приведение РЛ данных к избранной картографической проекции	SSG: SAR Systematically Geocoded (Map Image) SPG: SAR Precision Geocoded (Precision Map Image)
	3	Пространственное (усреднение по участку заданных размеров) и/или временное (среднесуточные, среднегодовые и т.п.) преобразование восстановленных признаков объектов ПЗ, дополнительная коррекция	
Комплексная	4	Формирование специализированных информационных продуктов для потребителей (составные РЛИ, цифровые матрицы рельефа и т.п.)	

Определение состава и формата представления основных и вспомогательных данных при описании РЛ данных требует учета многих разнородных факторов процесса функционирования РСА и его носителя. В качестве исходных положений адекватного описания РЛ данных целесообразно воспользоваться рекомендациями:

- международной организации по стандартизации ISO [17-27];
- международного комитета по дистанционному зондированию CEOS (термины и определе-

ния типов и характеристик данных ДЗЗ) [28, 29];

- Открытого консорциума по геоинформационным технологиям (Open GIS Consortium Inc.): описание на языке SensorML (Sensor Model Language) измеряемых физических величин и их свойств, геометрических и временных характеристик съемки различными приборами и наборов данных о параметрах полей различной физической природы [30-33];

- федерального комитета США по географическим данным [34-36];

- национального космического агентства США [37].

Таблица 5. Форматы радиолокационных данных (в соответствии с рекомендациями CEOS)

<i>Тип файла</i>	<i>Содержание данных</i>	<i>Особенности описания</i>
файл каталога тома (Volume Directory File)	- метки и объемы логических и физических томов, - перечень форматов данных, - дата и время создания томов, число томов в ряду, - производитель (государство, агентство, центр обработки)	в специально выделенных позициях: Volume Descriptor Record, File Pointer Record -SAR Leader File, File Pointer Record - Imagery Options, Text Record
заголовочный файл РЛД (SAR Leader File)	- параметры сцены, - свойства данных	
файл описания форматов РЛИ (Imagery Options File)	организация данных	"Band Sequential" (BSQ) – данные только одного PCA (канала) "Band Interleaved by Line" (BIL) Band Interleaved by Pixel (BIP) – данные многих PCA (каналов)
файл каталога нулевого тома (Null Volume Directory File)	- описание типа, класса и формата данных - длина записей (идентификаторы, метки, объемы и время создания томов)	

Литература

1. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во А и Б, 1997. 342 с.
2. *Полетаев А.М. и др.* Особенности сбора, формирования и описания радиолокационных данных и направления их стандартизации // *Информация и космос*, 2006. №3. С.37-46.
3. *Полетаев А.М. и др.* Тенденции в дистанционном зондировании Земли и проблемы стандартизации данных // *Информация и космос*, 2005. №1 С.9-23 (ч.1), №2. С.66-75 (ч.2).
4. *Спутники радиолокационного зондирования. Приложение №1 к Ежегоднику «Спутниковые системы связи и вещания».* М.: Издательское предприятие редакции журнала «Радиотехника», 2000. 86 с.
5. *Железняков А.А.* Ядерное созвездие: История создания и эксплуатации отечественных космических аппаратов с ядерными энергетическими установками // *Атомная стратегия*, 2004, № 13 (сентябрь)
6. *Радиолокация поверхности Земли из космоса.* Под ред. Л.М. Митника, С.В.Викторова. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 244 с.
7. *Радиолокационные станции обзора Земли.* Под ред. Г.С. Кондратенкова. М.: Радио и связь, 1983. 284 с.
8. *Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны.* Под ред. В.Т. Горяинова. М.: Радио и связь, 1988. 290 с.
9. *Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.* Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.: ил.
10. *Аэрокосмический радиолокационный мониторинг Земли.* Коллективная монография под ред. А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2006. 240 с.: ил.

11. Классификатор тематических задач. Оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 6. МПР РФ, Восточно-Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Инженерно-технический центр СканЭкс.– Иркутск, Москва 2002. – 52 с.:ил.
12. *Полетаев А.М. и др.* Применение беспилотных летательных аппаратов в дистанционном зондировании Земли // *Информация и космос*, 2007. №2. С.51-66.
13. Окончательная редакция проекта национального стандарта ГОСТ Р «Геоинформационное картографирование. Дистанционное зондирование Земли. Термины и определения». ЗАО «Институт телекоммуникаций», 2007.
14. *Полетаев А.М. и др.* Проблемы стандартизации в области дистанционного зондирования Земли // *Сборник научных статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов»*. Вып.4. Т.1. // М.: ООО «Азбука-2000», 2007. С.133-137.
15. *Полетаев А.М. и др.* Данные дистанционного зондирования Земли как объект стандартизации // *Информация и космос*, 2007, №2. С.117-124.
16. *Полетаев А.М. и др.* Техничко-экономические аспекты разработки и эксплуатации космических систем ДЗЗ // *Полет*, 2007, №10, С.28-31.
17. ISO/TS 19101-2 - Reference model - Part 2: Imagery
18. ISO/DIS 19107 Spatial Schema V. 5
19. ISO 19111 Spatial referencing by coordinates
20. ISO/DIS 19115 – Metadata
21. ISO 19115-2 - Metadata - Part 2: Extensions for imagery and gridded data
22. ISO 19121 - Imagery and gridded data
23. ISO/CD19123 - Schema for coverage geometry and functions
24. ISO 19124 - Imagery and gridded data components
25. ISO/TS 19129 - Imagery, gridded and coverage data framework
26. ISO 19130 CD-1 - Sensor and data models for imagery and gridded data
27. ISO 19138 - Data quality measures
28. CEOS ICF - Baseband Data Archive Interchange Format Description issue 1 revision 0 2002/08/11 (CEOS-WGISS-ICF-FS-01) // Committee on Earth Observation Satellite (CEOS) Data Subgroup, 2002
29. CEOS WGD on Synthetic Aperture Radar Data Product Format Standards issue 2 revision 1989/02/10 (CEOS-SAR-CCT) // Committee on Earth Observation Satellite (CEOS) Data Subgroup, 1989
30. OpenGIS Abstract Specification, Topic 7: The Earth Imagery Case (99-107), v.4
31. Open GIS Interoperability Program Report OGC 02-026r4 Sensor Model Language (SensorML) for In-situ and Remote Sensors // OpenGIS Consortium, 2002
32. OpenGIS Implementation Specification OGC 04-019r2 Sensor Model Language (SensorML) for In-situ and Remote Sensors // OpenGIS Consortium, 2004
33. OpenGIS Discussion Paper OGC 03-073r1 Spatial referencing by coordinates // OpenGIS Consortium, 2003
34. FGDC-STD-001-1998 Content Standard for Digital Geospatial Metadata // Federal Geographic Data Committee, 1998
35. FGDC Content Standard for Remote Sensing Swath Data // Federal Geographic Data Committee, 1999
36. FGDC-STD-012-2002 Content Standard for Digital Geospatial Metadata: Extensions for Remote Sensing Metadata // Federal Geographic Data Committee, 2002
37. HDF-EOS (Hierarchical Data Format - Earth Observing System) Version 5.1.7. // NCSA (National Center for Supercomputer Applications)/ NASA, 2004