

УДК 528.8

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПОЛИГОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗЕМЛЕОБЗОРА

Л.М. Атрошенко³, Н.Н. Горобец¹, А.Н. Горобец¹,
М.Г. Красногорский², А.С. Лебедев¹, В.М. Малюков²

¹Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 4, пл. Свободы, Харьков, 61022,

²ОАО Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения»;

³Научно - производственное предприятие ООО «Лес - Информ»;

Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua

Поступила в редакцию 12 июля 2013 г.

Изложены требования, предъявляемые к подспутниковым полигонам различного иерархического уровня, их применимость, требования к составу, особенности создания и описания, состояние и перспективы развития системы полигонов для наземного обеспечения продуктивности работы космических систем ДЗЗ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистанционное зондирование Земли из космоса, радиолокатор с синтезированной апертурой, внешняя калибровка, подспутниковый полигон.

Викладено вимоги, що їм повинні відповідати підспутникові полігони різного ієрархічного рівня, їх застосовність, вимоги до складу, особливості створення та опису, стан та перспективи розвитку системи полігонів для наземного забезпечення продуктивності роботи космічних систем ДЗЗ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дистанційне зондування Землі з космосу, радіолокатор із синтезованою апертурою, зовнішнє калібрування, підспутниковий полігон.

Sets out requirements for the sub-satellite polygons different hierarchical level, their applicability for a composition, especially in creating and describing the condition and prospects of development of sites for ground support productivity remote sensing systems.

KEY WORDS: ears observation, synthetic aperture radar, external calibration, sub-satellite ground.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей составляющей наземной инфраструктуры космических систем радиолокационного землеобзора, с неизбежностью используемой на всех без исключения этапах работы КС – от летно – конструкторских испытаний (ЛКИ) и летных испытаний (ЛИ) до создания специальных технологий решения тематических задач и их практического применения – является сегмент подспутниковых полигонов.

Так, для калибровки и валидации получаемой радиолокационной информации в мировой практике, в частности, с участием рабочей группы по калибровке и валидации (Cal/Val) CEOS, проводятся работы по систематизации данных по уже существующим измерительным полигонам, дополненным контрольными участками в типичных районах земного шара, составления их описаний, и т.п.

Осуществляется и противоположный подход: так, например, уже с начала становления методов космической радиолокации в СССР технические задания на подспутниковые полигоны разрабатывались еще в период создания радиолокаторов космического базирования. Уже в 80-х годах XX столетия были развернуты работы по созданию системы подспутниковых полигонов различного иерархического уровня, используемых, в частности, для обеспечения продуктивного использования материалов радиолокационной съемки РСА «Меч-К» и «Меч-КУ». В последующем по известным причинам на достаточно продолжительный период эта работа была приостановлена, чтобы возобновиться лишь в 2000-х годах в ходе разработки РСА малых космических аппаратов (МКА) серии «Кондор».

Этапы разработки полигонов включали: выбор и описание территории, теоретические разработки и обоснование состава, схем размещения и технических характеристик метрологических средств; разработка документации и изготовление пассивных радиолокационных отражателей и комплектация оценочных мир; сертификация метрологических средств, создание инфраструктуры полигонов, обучение персонала; проведение летных испытаний, аттестация и паспортизация полигона и сдача в эксплуатацию.

Целью настоящей статьи является обобщение опыта создания и эксплуатации спутниковых полигонов для калибровки и валидации сенсоров землеобзора космического базирования и решения тематических задач природопользования и других отраслей.

РЕПЕРНЫЕ ПОЛИГОНЫ

На этапе ЛКИ, когда производится настройка систем управления КА, а также в период эксплуатации КА для контроля параметров его орбиты и получения материалов для решения координатных задач, используются **реперные** полигоны как наименее затратные в эксплуатации. Требования, предъявляемые к этим, низшим в иерархической структуре полигонам (подспутниковые полигоны (ПП) первого класса), не сложны:

- наличие легко распознаваемых по их конфигурации природных объектов (чаще всего меандр речного русла с характерными абрисами);
- наличие антропогенных объектов - ориентиров, координаты которых (и/или фрагментов которых) известны с высокой точностью;
- в случае отсутствия объектов - ориентиров наличие искусственных ориентиров (маркеров);
- доступность срочных метеорологических и синхронных ионосферных данных на территорию полигона;
- наличие описания границ между участками подстилающей поверхности с заведомо различающимися в любое время года удельными эффективными площадями рассеяния.

Организация такого полигона заключается в выборе участка земной поверхности, соответствующей первым двум условиям, проведение его описания путем составления картосхемы радиолокационных контрастов и обеспечение возможности получения данных метеорологических наблюдений для оценки условий распространения радиоволн (РРВ) в любой интересующий момент времени (например, как минимум, использования сайта ближайшей метеорологической станции, или сделанную оплату труда наблюдателя непосредственно на интересующей территории - в таком случае ему формируется специальная программа наблюдений, включающая дополнительные характеристики условий РРВ).

Оптические космические снимки двух реперных полигонов, описанных в период 1980 - 1990 г.г. и функционирующих до настоящего времени, приведены на рисунке 1.

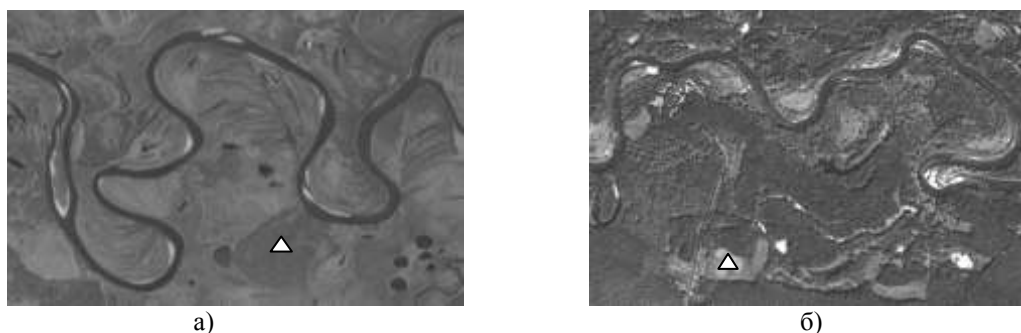


Рис. 1. Имидж фрагментов реперных полигонов: а) ПП "Певцы", б) ПП "Лангепас". Значками Δ отмечены места установки постоянных реперов (всенаправленные радиолокационные отражатели с высокими значениями ЭПР).

КАЛИБРОВОЧНЫЕ ПОЛИГОНЫ

Достижение высокой точности результатов радиолокационного землеобзора обеспечивается в первую очередь проверкой основных характеристик РСА - разрешающей способности, радиометрических и поляризационных характеристик - в период летных испытаний КС (оценка степени их изменений в ходе выведения КА на орбиту). В период штатной эксплуатации РСА эти характеристики периодически контролируются - для оценки их временного дрейфа. В процессе выполнения заказных съемок основные характеристики радиолокационных изображений, полученные на полигонах до и после съемки заказанного участка, служат основой для аттестации получаемого информпродукта. Для наземного обеспечения этих видов работ КС организуются **калибровочные** полигоны - подспутниковые полигоны второго класса (которые в составе полигонов более высоких классов носят название контрольно - калибровочных комплексов (ККК) [1]), отвечающие одновременно всем требованиям ПП первого класса.

В состав ККК входят:

- краевые маркеры;

- пространственная мира для оценки разрешающей способности РСА и пространственного разрешения на местности;
- потенциальная мира для оценки радиометрических характеристик РСА и точности передачи их в выходной информации КС;
- поляризационная мира для оценки поляризационных характеристик РСА и характеристик радиоголограмм;

ККК является по существу мишенным комплексом, предназначенным для внешней калибровки РСА и его информпродукта по точечным и сосредоточенным целям.

Как правило, для его организации применяются пассивные радиолокационные отражатели (РЛО); чаще всего, в силу специфики их диаграммы обратного рассеяния – трехгранные уголкового отражатели с треугольными гранями. Все метрологические средства полигонов проходят метрологическую аттестацию, снабжаются метрологическими паспортами и сертификатами международного образца.

В случае, когда проводится наземное обеспечение радиолокационного землеобзора с использованием радиолокаторов космического базирования со сверхвысоким разрешением, ККК дооснащаются транспондерами с антеннами, имеющими линейные размеры значительно меньше значений пространственного разрешения на местности.

Создание калибровочных полигонов требует гораздо большего времени, финансовых затрат и организационных усилий, нежели создание реперного полигона. В первую очередь к таковым относится приобретение или аренда земельного участка, а) отвечающего требованиям, предъявляемым к реперным полигонам; б) имеющего достаточную площадь и сnivelированную поверхность (перепад высот не должен превышать 0,5м на 100м); в) имеющего почвенный покров, допускающий обработку территории ККК до достижения наличия только зеркальной составляющей отраженного от подстилающей поверхности сигнала (в момент работы ККК линейные размеры h шероховатостей его подстилающей поверхности не должны превышать 0,1 длины волны РСА, т.е. $h \ll \lambda$) – обычно это песчаные почвы.

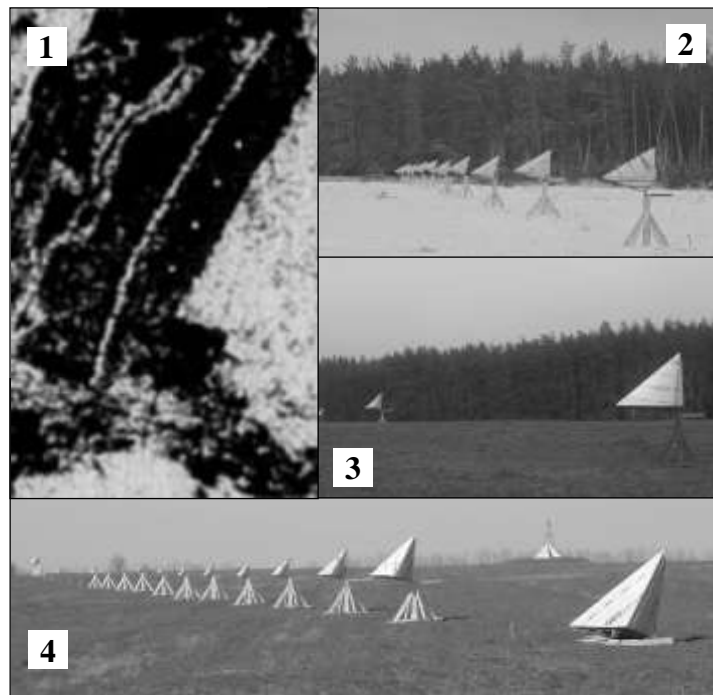


Рис. 2. Калибровочные полигоны.

1. РЛИ ККК ПП "Скрипачи", 1993г.;
2. ККК ПП "Скрипачи", зима 2012г.;
3. ККК ПП "Скрипачи", лето 2013г.;
4. ККК ПП "Широков", весна 2013г.

Необходимо также создание соответствующей инфраструктуры: складских помещений для хранения разработанных и созданных метрологических средств, места базирования рабочей группы. Требуется оснащение полигона средствами измерительной техники (СИТ), средствами связи, персональными компьютерами (необходимо также создание ПО, обеспечивающего оперативный отклик ККК на получаемые исходные данные предстоящей съемки), транспортом, средствами, обеспечивающими быт персонала непосредственно на полигоне в период проведения съемок, например, специально оборудованными КУНГ'ами, автономными источниками электроэнергии, инвентарем. Обязательными являются также специальное обучение персонала и обеспечение метрологического

сопровождения работы ККК. Необходимость работы ККК в круглогодичном режиме в любое время суток и в любую погоду делает требования, предъявляемые к инфраструктуре полигона, особенно жесткими.

При достаточной площади ККК и выработке рациональной схемы расстановки мир полигоны второго класса подключаются к решению хоть и ограниченного, но важного круга тематических задач, таких, например, как вопросы радиолокационной интерферометрии, космического подповерхностного зондирования, задач оценки направления и скорости движущихся объектов по эффекту Доплера и пр. Оснащение ККК такими активными средствами как шумовые генераторы и др. позволяет значительно расширить по сравнению с минимальной программой работ по внешней калибровке РСА.

К настоящему времени для обеспечения работы МКА серии «Кондор» по заказу ОАО «ВПК «НПО машиностроения» создано и используется по назначению два калибровочных полигона (см. рис. 2), один из которых (ПП «Скрипачи») функционирует с 1987г. Калибровочные полигоны сертифицируются как измерительные лаборатории.

ЭТАЛОННЫЕ ПОЛИГОНЫ

Большая часть земных покровов представляет собой пространственно – распределенные (поля, леса, водоемы и т.п.) или протяженные (автомобильные и железные дороги, продуктопроводы, лесополосы и т.п.) объекты. Проведенная на калибровочных полигонах оценка точности отображения на РЛИ ЭПР точечных и сосредоточенных целей отнюдь не гарантирует точности отображения в информпродукте УЭПР распределенных и протяженных объектов и радиолокационных контрастов между ними в данных радиолокационной яркости РЛИ. С целью обеспечения оценки этих параметров организуются подспутниковые полигоны третьего класса – **эталонные полигоны**, которые в составе полигонов более высокого класса носят название полигонно – калибровочных комплексов (ПКК) [2]. Для реализации целевых задач ПКК имеет большую площадь. Земли полигона принадлежат различным субъектам хозяйствования; владельцу полигона принадлежит лишь их описание по разработанным методикам и право (полученное в соответствии с договорами с упомянутыми субъектами хозяйствования) на проведение такого описания и неповреждающее территорию использование ее для размещения метрологических средств и средств наблюдения.

Эталонный полигон, как правило, имеет форму квадрата, сторона которого определяется полосой захвата средства зондирования (равна или меньше ее), но не менее 10км × 10км. Прежде всего, это – грамматрический полигон: на нем организуется большое количество опорных точек, на которых могут выставляться метрологические средства для решения задач калибровки и валидации, требующих задействования больших площадей, как то: калибровка диаграммы направленности антенны [3], получение матриц геометрической и радиометрической коррекции, совмещения РЛИ для получения разностной информации и т.п.. Координаты опорных точек измерены с высокой точностью.

На полигонах выделяются эталонные участки природного происхождения площадью не менее 625 (25×25) пикселей (данные каждого из которых могут подвергаться индивидуальной обработке) и тестовые объекты антропогенного происхождения площадью не менее 36 (6×6) пикселей (для совместной обработки объединяемые в группы из n объектов с идентичными в условиях конкретной съемки УЭПР, $10 \leq n \leq 20$) с известными при любых условиях радиолокационной съемки УЭПР.

При организации полигона выделение эталонных участков производится наземным способом (по идентичности параметров инфраструктуры подстилающей поверхности, см. [4]). Затем проводится проверка соответствия выделенных участков требованиям эталонных (идентичность на всем участке текстурных признаков и поляризационных характеристик результатов зондирования в различные сезоны и при разных погодных условиях) с борта самолета – лаборатории и/или в ходе ЛЭИ полигона. Затем с вышки и/или вертолета проводятся измерения уровня собственного излучения и обратного рассеяния исследуемого участка в радиодиапазоне с целью выявления наличия/отсутствия на его территории неоднородностей радиометрических характеристик. Для последующего контроля состояния эталонных участков ежегодно проводится сверка его текущих картосхем с базовыми, полученными при закладке эталонных участков.

На эталонном полигоне ПП «Скрипачи» последовательно было выделено и исследовано более 80 эталонных участков, представляющих собой части монопородных (дубовых и сосновых) одновозрастных лесонасаждений. Показано, что как собственное излучение в радиодиапазоне, так и отражающие характеристики дубрав (включая текстурные, поляризационные характеристики и фазовую окраску) достоверно изменяются в зависимости от времени года (наличие листвы), от уровня ветровых нагрузок и погодных условий [5]. В то же время, однородные участки средневозрастных и припевающих сосновых лесонасаждений (за исключением кратковременных периодов наличия снежных шапок на кронах)

обладают практически неизменными радиолокационными характеристиками, колеблющимися в пределах ошибки эксперимента (например, $\Delta \text{УЭПР} \leq 0,2 \text{ дБ}$). Наряду с наличием на полигоне всесезонного водного репера (незамораживаемого участка реки, на котором вода подогревается расположенной выше по течению ГЭС) использование таких участков дает возможность оценивать стабильность работы РСА и начальной калибровки радиолокационной яркости РЛИ.

Для оценки динамического диапазона и радиометрического разрешения на РЛИ используются тестовые участки.

Анализ материаловедческой литературы и литературы по пассивным отражателям не оставлял практической возможности организации тестовых объектов, УЭПР которых перекрывал бы весь динамический диапазон РСА. Материал для них найден был чисто эмпирически – по данным первого РЛИ РСА «Меч-КУ» (см. рис.3): в силу наличия Брегговского рассеяния шифер на крышах попавших на РЛИ некоторых строений обеспечивал высокие значения их радиолокационной яркости – вплоть до насыщения.

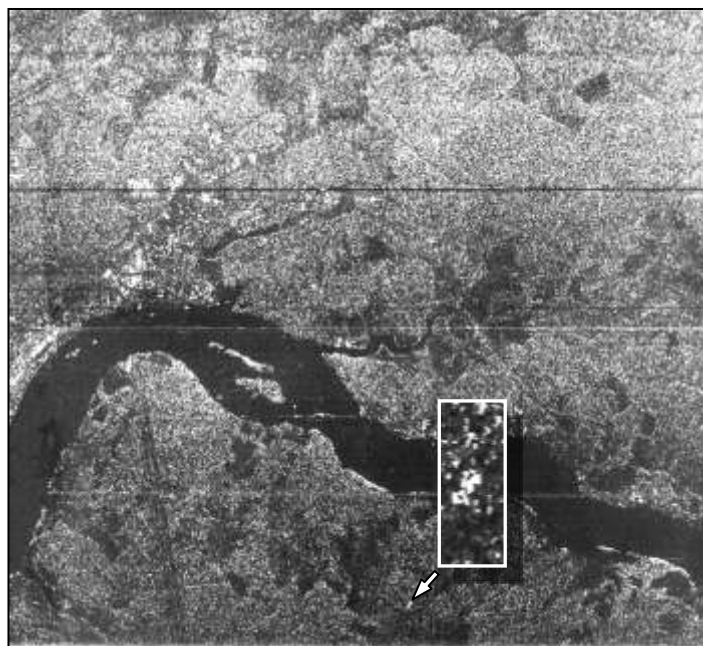


Рис. 3. Фрагмент РЛИ РСА "Меч-КУ"; во врезке выделено РЛИ крыш, крытых шифером.

Была проведена серия экспериментов, были даже изготовлены тестовые площадки площадью 25 кв.м. с возможностью изменения в широких пределах их ориентации. Однако, из-за высокой парусности такие площадки оказались непригодными для использования по назначению. Как следствие, в настоящий момент в качестве тестовых площадок используются крытые шифером крыши близлежащих населенных пунктов (рис. 4).

Организация таких площадок предельно проста: она заключается всего лишь в точном определении географических координат, азимутов образующих (волн шифера), углов наклона крыш и решения простейшей геометрической задачи. Эксперименты на местности, равно как и данные последующего ЛЭИ подтвердили полную пригодность таких тестовых участков для калибровки радиолокационной яркости: за исключением кратковременных периодов во время дождя и наличия снежных наносов на крышах (которые накануне зачетных сеансов легко ликвидируются) отражающие характеристики более чем 250 шиферных крыш остаются неизменными в пределах ошибки эксперимента. Крыши с одинаковыми угловыми характеристиками составляют группы тестовых объектов, подлежащих совместному анализу. Сами же объекты инвентаризованы и выбираются для использования непосредственно перед зачетным сеансом радиолокационной съемки на основе полученных исходных данных.



Рис. 4. РЛИ эталонных (1), тестовых (2) участков и ККК (3) ПП "Скрипачи" (RadarSat-2, 14.02.2012г.).

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОЛИГОНЫ И ПОЛИГОНЫ - СТАЦИОНАРЫ

Существуют тематические полигоны двух, принципиально отличных друг от друга, типов. К первому типу относятся специально создаваемые или используемые из числа уже существующих полигонов профильных организаций: опытных и учебно – опытных хозяйств ВУЗ'ов и профильных НИИ, лесных станций, природоохранных территорий различного уровня (заказники, заповедники, природные парки) и т.п. Ситуационно, при необходимости решить какую - либо конкретную задачу, тематические полигоны создаются как временные образования на базе заинтересованных хозяйствующих субъектов: агропромышленных комплексов, нефтегазодобывающих управлений, пароходств и мн.др.

Такие полигоны представляют собой базы для отработки и реализации на уровне технологий конкретных методик, проведения геокосмических экспериментов для решения научных и практических задач определенного профиля. Они оборудованы специальными лабораториями, обеспечены персоналом, способным в любой момент организационно и технически обеспечить синхронные и сопутствующие наземные работы, необходимые для отработки технологий и проведения экспериментов. К настоящему моменту база данных задач, решение которых возможно (и зачастую уже осуществлено или осуществляется) с использованием информпродукта космического радиолокационного землеобзора, насчитывает не менее 4000 задач [6]. Так, с использованием информпродукта РСА «Меч-КУ» всего лишь одному коллективу на различных тематических полигонах удалось решить задачи для создания таких методик, как:

- непрерывной дистанционной лесотаксации и уровня техногенных загрязнений лесных массивов и влияния таковых на продуктивность лесов [7],
- оперативного создания карт землеустройства [8],
- прогноза урожая [9],
- развития оврагов и влияния зарегулированности стока рек на режим судоходства [10],
- толщины льда и нефтяной пленки на внутренних водоемах [11].

Второй тип тематических полигонов представляют собой подспутниковые **полигоны – стационары** (подспутниковые полигоны четвертого класса, включающие в себя как элементы полигоны всех трех предыдущих классов), ориентированные на получение априорной наземной информации, в том числе и в режиме мониторинга, для оперативного решения в случае возникновения потребности (заказчика) решения большого круга тематических задач. Поскольку далеко не во всех отраслях хозяйства существуют профильные НИИ, имеющие подготовленные кадры для использования космической радиолокационной информации для решения актуальных задач отрасли, такая постановка дела обеспечивает владельцу КС возможность реализации не только своего информпродукта, но и интересующих заказчика сертифицированных результатов и/или технологий.

На полигонах – стационарах проводятся также работы по математическому планированию экспериментов для достижения заданной достоверности синхронных с дистанционными наземных наблюдений на других тематических полигонах, разработка и использование новых методик описания объектов в целях наземного обеспечения ДЗЗ; разработка новых методик ДЗЗ.

В целях сопоставимости данных обеспечивается также полный набор общепринятых для объектов

ДЗЗ наблюдений (виды растительности, биомасса, профилограммы и т.п.), полный цикл метеорологических и фенологических наблюдений.

Так, на действующем полигоне – стационаре «Скрипачи» (территория полигона - 400 км² (20 км × 20 км)) установлена возможность получения наземных данных для решения как минимум 31-ой задачи (помимо полного спектра задач, касающихся дубовых и сосновых лесонасаждений, и широкого круга задач сферы агропромышленного комплекса), включая задачи контроля состояния путе- и продуктопроводов, полос отчуждения железнодорожных магистралей, линий электропередач, контроля транспортных потоков и мн.др..

На подспутниковом полигоне «Широков», находящемся в стадии доработки полигона третьего класса (описана территория 100км² (10км × 10км)), можно констатировать наличие возможности наземного обеспечения решения методами космического радиолокационного землеобзора не менее чем 14-ти тематических задач, крайне актуальных для региона. На оба полигона созданы ГИС. На обоих полигонах есть технические и организационные возможности для проведения многоуровневых испытаний аппаратуры с синхронными наземными наблюдениями. Так, в процессе эксплуатации полигона - стационара «Скрипачи», реперных полигонов «Певцы» и «Лангепас» проведено два пятиуровневых эксперимента (земля, вышка, вертолет, самолет, КА), что позволило, в частности, решить ряд задач, связанных с использованием каналов РСА с различными поляризационными характеристиками.

ВСЕДИАПАЗОННЫЕ ПОЛИГОНЫ - СТАЦИОНАРЫ (ОПОРНЫЕ ПОЛИГОНЫ)

Как и в описываемом случае, в сложившейся практике создания подспутниковых полигонов преобладает монодиапазонный подход - как калибровочные, так и ПП более высоких иерархических уровней описываются, разрабатываются и создаются отдельно под КС с носителями оптического, ИК или радиодиапазона на борту. Такой подход не является, понятно, ни рациональным, ни конструктивным. Поскольку комплексирование космических снимков различных диапазонов - как радиодиапазона различных длин волн, так и радиолокационных снимков со снимками ИК и оптического диапазонов - дает хорошие результаты [12], а инфраструктура полигонов уже создана, целесообразно проводить дооснащение ПП мирами и проводить их описание, актуальное для всех диапазонов, что и сделано на ПП "Скрипачи", дооснащенного к настоящему времени авторскими мирами всех диапазонов. Такие подспутниковые полигоны (**опорные** полигоны космических исследований - ПП пятого класса) способны обеспечить потребителя наземными данными для решения практически любого вида актуальных тематических задач как научного, так и прикладного значения.

Кроме обозначенного, такие полигоны созданы в Китае и в Монголии (в интересах Корейского космического агентства) [13]. Показано, что оптимальное число таких полигонов, территориально связанных с основными природными зонами Земли, равно восьми. Однако, в этом случае из рассмотрения упущена необходимость создания вседиапазонных морского и приполярного опорных полигонов. Таким образом, для создания полноценной системы подспутниковых полигонов оптимальное число ПП пятого класса - десять, число полигонов всех других уровней, сопряженных с базовым полигоном, обратнопропорционально их классу [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные работы являются начальным этапом создания глобальной сети подспутниковых полигонов всех иерархических уровней, соответствующих всем циклам космического землеобзора - от ЛКИ до создания технологий решения тематических задач. Количественный состав ПП разных уровней определяется как географическими принципами [15], так и требованиями, обоснованными теорией и практикой ДЗЗ [16,17].

Поступательное расширение сети полигонов – стационаров до уровня наличия таковых во всех (или, по крайней мере, в большинстве) природных зонах, приведет к возможности наземного обеспечения не только калибровки и валидации любых сенсоров космического базирования, но и получения наземных материалов для решения практически всего набора актуальных тематических задач ДЗЗ.

Следующим шагом при решении вопросов наземного обеспечения дистанционного зондирования из космоса является объединение информационных потоков, поступающих с каждого полигона в единую компьютерную сеть на базе Internet и GRID - системы с центром архивирования, переработки, использования информации и системного администрирования.

Для этой цели полигоны должны быть оснащены автоматизированной системой сбора информации, позволяющей в выбранном режиме проводить опрос датчиков и передавать полученную информацию по каналам сети в единый центр обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Горобец А.Н., Красногорский М.Г., Костриков А.Л., Купко В.С., Лебедев А.С., Малюков В.М., Ратушная Е.С. Мобильный контрольно – калибровочный комплекс для РСА космического базирования. «Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина». Серия «Радиофизика и электроника», Выпуск 20, № 1010, 2012. – С. 3-9.
2. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Горобец А.Н., Костяшкин С.И., Красногорский М.Г., Малюков В.М., Мель И.А., Ратушная Е.С. Полигонно-калибровочный комплекс для наземного обеспечения радиолокационного космического землеобзора. «Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина». Серия «Радиофизика и электроника», Выпуск 20, № 1010, 2012. – С. 10-18.
3. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. - Радиолокационные системы землеобзора космического базирования –М.: Радиотехника, 2010. - 680 С.
4. Атрошенко Л.М., Горобец В.Н., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Сафронова Л.П. Методики описания лесных территорий в целях обеспечения эффективного дешифрирования спутниковой информации РСА. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Сборник научных статей. Институт космических исследований РАН. Выпуск 5. Москва 2008, Т. II, – С. 257-264.
5. Gaikovich K.P., Atroshenko L.M., Troitsky A.V. Measurements of the forest radio emission dynamics during the rain. 25-th General Assambly of U.R.S.I., Lille, France, 1996, – P. 287.
6. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Сафронова Л.П., Смирнов С.А. Структура и содержание гипертекстовой базы данных задач дистанционного зондирования Земли из космоса. // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, №834, Радіофізика та електроніка, 2008, Вип.13, –С.42-51.
7. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н. Перспективы изучения методами радиолокации таксационных характеристик и степени техногенной загрязненности лесов. Вісник Харьк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка.–1’2004, № 622, –С.132-136.
8. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Сафронова Л.П. Использование данных радиолокатора с синтезированной апертурой для решения задач инвентаризации земель и диагностики состояния посевов. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва, 2004, № 6, -С.188-194.
9. Атрошенко Л.М., Атрошенко М.Д., Горобец Н.Н., Сафронова Л.П. Повышение надежности прогнозирования урожая сельскохозяйств по радиолокационным космическим снимкам высокого разрешения. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Сборник научных статей. Институт космических исследований РАН. Выпуск 6. Москва 2008, Т. II, – С. 2454-250.
10. Atroshenko L.M., Gorobets N.N., Safronova L.P. Application of Synthetic-Aperture Radar (SAR) Data in Tackling the Problems of Land Inventory, Diagnosis of Crops Condition, Gullyng Processes and Hydrology. Telecommunications and Radio Engineering – 2006, Vol. 65, N 18, – P.1729-1737.
11. Gaikovich K.P., Atroshenko L.M., Troitsky A.V. Lake ice helicopter radiometry. 24-th General Assambly of U.R.S.I., Kioto, Japan, 1993, – P. 225.
12. Атрошенко Л.М., Богомолов В.В., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Полупан А.В. Повышение эффективности использования ДЗЗ для ведения лесного хозяйства путем комплексирования данных средств различных диапазонов. // Аерокосмічне спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки GEO-UA 2008. Перша Всеукраїнська конференція з запрошенням закордонних учасників. Матеріали доповідей. м. Київ, 3-5 червня, 2008, – С. 134-135.
13. http://translate.google.com.ua/translate?hl=ru&sl=en&u=http://lpvs.gsfc.nasa.gov/&prev=/search%3Fq%3DWGC%26rlz%3D1C1ASUM_enUA555UA555%26espv%3D2%26biw%3D1920%26bih%3D979
14. Atroshenko L.M., Gorobets N.N., Kostyashkin S.I., Lysak K.I., Safronova L.P. Metrological support of Earth Observation from Space. // 10th Ukrainian conference on space research. Kyiv 2010. Yevpatoria, Crimea, Ukraine August 30-September 5, 2010. p.51.
15. Черкашин А.К., Горобец Н.Н., Смирнов С.И., Атрошенко Л.М., Попов М.А., Лялько В.И., Сафронова Л.П., Костяшкин С.И. Принципы организации и обслуживания международной системы подспутниковых полигонов. // Материалы четвертого белорусского космического конгресса, 27 - 29 октября 2009, Минск. Т.2. – С. 12 -19.
16. Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И. Система лесных полигонов как составляющая наземной инфраструктуры космического мониторинга лесов.-Режим доступа http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?table=Menu&id=17
17. Атрошенко Л.М., Богомолов В.В., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Сафронова Л.П. Лесные полигоны - стационары как составляющая наземной инфраструктуры международных космических программ // Аерокосмічне спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки GEO-UA 2008. Перша Всеукраїнська конференція з запрошенням закордонних учасників. Матеріали доповідей. м. Київ, 3-5 червня, 2008, – С. 76-77.