

Подспутниковые полигоны Украины

Л.М. Атрошенко², Н.Н. Горобец¹, С.И. Костяшкин³, Л.П. Сафронова¹

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина
61077 Украина, г. Харьков, пл. Свободы, 4
E-mail: Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua

²Научно-производственное объединение «КВ-А-НТ»
61183 Украина, г. Харьков, ул. Дружбы Народов, д. 244
E-mail: cw-a-nt@max.net.ua

³Харьковская государственная лесоустроительная экспедиция
62458 Украина, Харьковская обл., пос. Покотиловка, ул. Железнодорожная, 11
E-mail: XDLE@vilcom.net

В работе описана сеть из 16-ти подспутниковых полигонов Украины в части обеспечения ими дистанционного зондирования земных покровов из космоса с использованием радиолокаторов с синтезированной апертурой.

Введение

Дистанционные наблюдения земной поверхности с носителей космического базирования, пройдя стадию научных исследований и создания на их основе методик продуктивного дешифрирования, давно уже перешли в стадию широкого практического использования, создания технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В связи с этим разрабатывается стратегия обеспечения качества данных ДЗЗ. Не менее важно решение новых тематических задач, расширяющих спектр услуг ДЗЗ. Для наземного обеспечения таких работ развивается концепция сети подспутниковых полигонов как важнейшего сегмента наземной инфраструктуры космических исследований, которые удовлетворяют условиям различия климатических зон, разнообразия растительных покровов, имеют отличающиеся тематические направленности и несут функциональные нагрузки, соответствующие задачам полигонного обслуживания.

1. Типы полигонов

На территории Украины нами создана и функционирует сеть из шестнадцати полигонов разной иерархии:

1. Калибровочно-реперные, предназначенные для калибровки аппаратуры ДЗЗ в процессе эксплуатации и обеспечения точной координатной привязки получаемых из космоса данных.

2. Эталонные – полигоны, территории которых включают в себя эталонные тестовые участки с заведомо однородными при различных условиях характеристиками подстилающей поверхности.

3. Тематические полигоны, работа которых направлена на решение новых задач ДЗЗ для одного из типов наземных объектов (древостои, агроценозы, водоемы) или отраслей производства (продуктопроводы, транспортные магистрали и т.п.). Полигоны расположены во всех регионах Украины на репрезентативных для них территориях. На всех полигонах

– созданы ГИС (минимальная картографическая основа - топокарты, карты земле- и лесоустройства),

– существуют минимум две площадки мониторинга, работающие по специальной программе ООН по изучению трансграничных загрязнений воздуха. При этом проводятся работы как по обязательной программе, так и по программе «Научно - методические основы проведения инвентари-

зации и мониторинга лесов на базе передовых технологий».

В обязательную программу входят:

- фенологические наблюдения;
- мониторинг качества воздуха;
- метеорологический мониторинг;
- измерение и анализ состава осадков;
- отбор проб и анализ почвы;
- отбор проб и анализ листьев и хвои;
- оценка наземной растительности;
- оценка прироста и продуктивности древостоев;
- оценка размеров крон и анализ их сквозистости (ажурности).

Все полигоны более высокой категории автоматически включают в себя нагрузки по обеспечению решения задач полигонов всех более низких категорий.

Полигоны предназначены также для испытаний и поверки новой техники ДЗЗ и математического планирования экспериментов ДЗЗ. Они оснащены вышками, что обеспечивает возможность проведения двухуровневых экспериментов без привлечения авиации, есть возможность исследований с вертолетов. Все полигоны функционируют при поддержке местных Государственных администраций.

Все полигоны универсальны, т.е. рассчитаны на обслуживание средств ДЗЗ космического базирования всех диапазонов. Однако в настоящей работе мы остановимся только на сегменте, обслуживающем РСА, как наиболее актуальном в настоящий момент.

2. Калибровочные и реперные полигоны

Калибровка датчиков ДЗЗ космического базирования является важнейшей задачей в период их эксплуатации, поскольку естественный временной дрейф характеристик датчиков требует его постоянного учета (или контроля отсутствия).

Широко используемая ранее калибровка по водным объектам с малым волнением (реки, озера, водохранилища) в средних широтах имеет непреодолимые сезонные особенности; калибровка по лесам также не всегда оказывается достаточно продуктивной в силу сложности получения точных синхронных данных об эффективной температуре в древостоях, что существенно влияет на точность такой калибровки [1]. Продуктивна калибровка по участкам с бетонным покрытием (и таковая нами используется), однако вследствие дороговизны и нормативных сложностей организации таких участков (отвод земель) и крайне ограниченного количества уже существующих участков, расположенных вдали от селитебных объектов, такая калибровка вряд ли может получить широкое практическое применение.

Нами используется калибровка и координатная привязка РСА по отдельно стоящим объектам антропогенного происхождения, эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) которых известна и постоянна. К таковым относятся металлические водонапорные башни, цистерны систем полива, цилиндрические металлические контейнеры для хранения удобрений и т.п.

С использованием GPS «Garmin» осуществляется координатная привязка таких объектов с точностью определения местоположения до 10 см. Тщательно промеряются его геометрические параметры и изготавливается уменьшенная модель объекта. В безэховой камере измеряется ЭПР модели под разными углами визирования и при разных поляризациях. Затем методом электродинамического подобия рассчитывается, а затем поверяется на местности ЭПР самого объекта. Производится заверка и периодическая метрологическая поверка этих данных. Практика показывает, что ЭПР таких объектов в рамках погрешности эксперимента остается неизменной во времени вне зависимости от сезона и погодных условий. На рис. 1 представлен один из таких объектов в натуре, его модель в безэховой камере, и его изображения, полученные РСА самолетного и космического базирования.

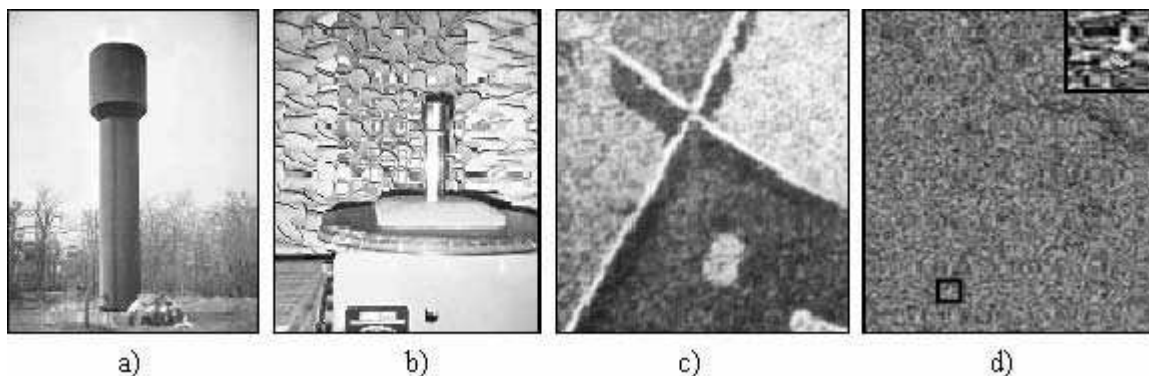


Рис. 1. Металлическая водонапорная башня: а) в натуре; б) модель в безэховой камере; в) результат зондирования РСА с самолета; д) то же с КА

Геометрическая калибровка выполняется также с использованием повсеместно существующих на местности объектов антропогенного происхождения. К ним прежде всего относятся опоры линий высоковольтных электропередач (ЛЭП). Они отлично идентифицируются из космоса в силу расположения опор ЛЭП вдоль линейных элементов. Порядок величин ЭПР опор определяется методом электродинамического подобия. Расстояние же между опорами ЛЭП по горизонтали измеряется лазерным геодезическим дальномером с точностью до 10 см., вдоль ЛЭП прокладывается нивелировочный профиль длиной не менее 2 км. Это дает возможность в ходе эксплуатации РСА космического базирования поверять его разрешающую способность под разными углами визирования.



Рис. 2. Рефлектор антенны радиотелескопа

При наличии такой возможности (например, Змиевской район Харьковской области; Симеиз, Крым) в качестве реперов используются также достаточно удаленные от селитебных объектов параболические антенные рефлекторы с большими диаметрами зеркал (рис. 2).

Поляризационная калибровка осуществляется с использованием Т-образной вибраторной антенной решетки радиотелескопа УТР - 2 (Чугуевский район Харьковской области, рис. 3) в качестве поляризационно - селективного отражателя.

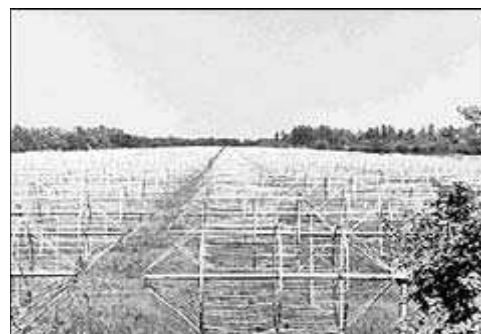


Рис. 3. Антенна УТР - 2

В результате обработки данных съемки полигонов с КА «Алмаз» подтверждена эффективность использования описанных пассивных целей для калибровки [2].

3. Эталонные полигоны

Заверка результатов ДЗЗ производится с использованием эталонных полигонов, содержащих на своей территории строго горизонтальные участки достаточной площади с подстилающими поверхностями, имеющими идентичные по всей территории в пределах разрешающей способности датчика характеристики собственного и вторичного излучения в радиодиапазоне. Выделение таких участков производится наземным способом (по идентичности параметров инфраструктуры подстилающей поверхности, см. [2]), 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. Затем с вышки и/или вертолета проводятся измерения

ческого состояния лесов (М 1:10000).

Картографическая основа дополнена и откорректирована по данным зондирования из космоса космическими аппаратами IRS, Quickbird и «Алмаз-1».

Проведено описание хозяйственной деятельности и состояние среды обитания (экономическо-географическое и экологическое описание), созданы карты разнообразия фауны М 1:25000.

Регулярно (1 раз в год, после паводка) проводится точная картографическая съемка естественных водных реперов М 1:25000.

По данным многолетних (с 1961 г.) наблюдений сделано климатическое описание полигонов, а также:

1. Специализированное описание земных покровов для разных диапазонов ДЗЗ (априорные карто-схемы контрастов М 1: 25000).

2. Описание контрольных участков в масштабе 1:100 [9].

3. Описание трансектов длиной не менее 10 км.

4. Описание нивелировочного профиля протяженностью 20 км, пересекающего все элементы рельефа (рис. 4). Вдоль профиля проводится сопряженное изучение рельефа, строения почвенно-грунтовой толщи, глубины залегания грунтовых вод, состава и состояния древесной и травянистой растительности, периодическое (каждое предвесенье и предзимье) определение концентраций наиболее распространенных загрязнителей в почве и растительности методами масс-спектрометрии, хроматографии, ИК-спектроскопии, атомно-абсорбционного анализа.

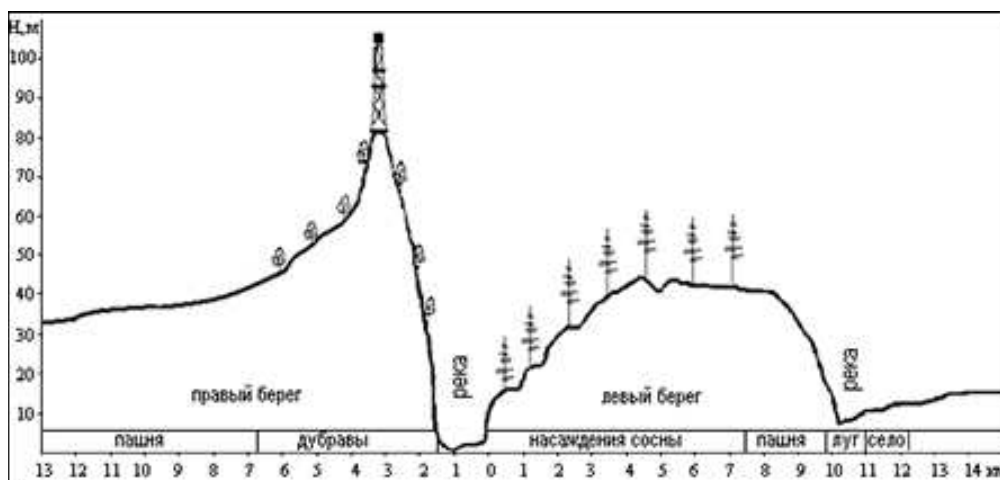


Рис. 4. Нивелировочный профиль Скрипаевского полигона - стационара

Дополнительно к двум описанным ранее площадкам, полигоны - стационары содержат по восемь тестовых площадок, обслуживаемых в постоянном режиме в интересах ДЗЗ, включая:

- площадные метеонаблюдения;
- объемные метеонаблюдения;
- статистические данные по расположению в пространстве элементов древостоев;
- сквозистость крон;
- характеристики древостоев под ветровой нагрузкой;
- характеристики древостоев во время дождя [10];
- диэлектрические характеристики почв [11] и фитоэлементов;
- шероховатость почв и фитоэлементов;
- углы наклона фитоэлементов;

Проводятся также работы по математическому планированию экспериментов для достижения заданной достоверности синхронных с дистанционными наземных наблюдений на других поли-

ческого состояния лесов (М 1:10000).

Картографическая основа дополнена и откорректирована по данным зондирования из космоса космическими аппаратами IRS, Quickbird и «Алмаз-1».

Проведено описание хозяйственной деятельности и состояние среды обитания (экономическо-географическое и экологическое описание), созданы карты разнообразия фауны М 1:25000.

Регулярно (1 раз в год, после паводка) проводится точная картографическая съемка естественных водных реперов М 1:25000.

По данным многолетних (с 1961 г.) наблюдений сделано климатическое описание полигонов, а также:

1. Специализированное описание земных покровов для разных диапазонов ДЗЗ (априорные карто-схемы контрастов М 1: 25000).

2. Описание контрольных участков в масштабе 1:100 [9].

3. Описание трансектов длиной не менее 10 км.

4. Описание нивелировочного профиля протяженностью 20 км, пересекающего все элементы рельефа (рис. 4). Вдоль профиля проводится сопряженное изучение рельефа, строения почвенно-грунтовой толщи, глубины залегания грунтовых вод, состава и состояния древесной и травянистой растительности, периодическое (каждое предвесенье и предзимье) определение концентраций наиболее распространенных загрязнителей в почве и растительности методами масс-спектрометрии, хроматографии, ИК-спектроскопии, атомно-абсорбционного анализа.

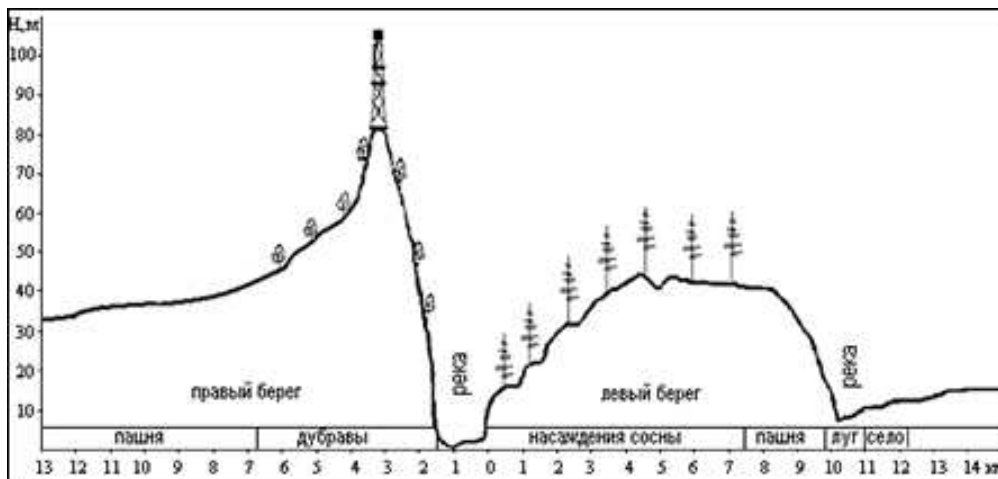


Рис. 4. Нивелировочный профиль Скрипаевского полигона - стационара

Дополнительно к двум описанным ранее площадкам, полигоны - стационары содержат по восемь тестовых площадок, обслуживающихся в постоянном режиме в интересах ДЗЗ, включая:

- площадные метеонаблюдения;
- объемные метеонаблюдения;
- статистические данные по расположению в пространстве элементов древостоев;
- сквозистость крон;
- характеристики древостоев под ветровой нагрузкой;
- характеристики древостоев во время дождя [10];
- диэлектрические характеристики почв [11] и фитоэлементов;
- шероховатость почв и фитоэлементов;
- углы наклона фитоэлементов;

Проводятся также работы по математическому планированию экспериментов для достижения заданной достоверности синхронных с дистанционными наземных наблюдений на других поли-

гонах и территориях; 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.).

Полигоны оснащены двумя метеопостами II разряда (стандартный и расположенный в лесу), уголковыми отражателями и шумовыми генераторами. Для обеспечения нужд полигонного обслуживания (определение параметров калибровочных средств, диагностика и поверка бортовой и наземной аппаратуры ДЗЗ и ее элементов) используются три безэховых камеры сантиметрового и дециметрового диапазонов и открытый полигон с расстоянием между платформами 300м и радиопрозрачным антенным укрытием.

Проводятся многоуровневые испытания аппаратуры с синхронными наземными наблюдениями. Так, в процессе эксплуатации описываемых полигонов 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.

Обеспечена передача информации с полигонов в реальном времени.

Полигоны - стационары функционируют при участии следующих организаций:

1. Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, радиофизический факультет;
2. Харьковская государственная лесоустроительная экспедиция;
3. Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева;
4. УНИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого;
5. НПО «КВ-А-НТ»;
6. ООО «Лесинформ».

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.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Борису Георгиевичу Кутуза, Анатолию Анатольевичу Калининскому и Леону Богуславовичу Неронскому за организацию и проведение серии радиолокационных исследований, и коллективу Харьковского национального аграрного университета за организационную помощь в обеспечении наземного сопровождения ДЗЗ.

Литература

1. *Атрошенко Л.М., Гайкович К.П., Горобец Н.Н.* Особенности формирования собственного радиоизлучения древостоев. Вісник Харьк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка.– 12' 2008, с.35-41.

2. *Атрошенко Л.М., Бірюков О.Г., Горобець М.М., Яворський Є.О.* Наземне забезпечення активних і пасивних аерокосмічних систем дистанційного зондування земної поверхні в радіодіапазоні. Українська астрономічна асоціація, 1-й інформаційний бюлетень 1993, № 4, с.43-44

3. *Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н.* Перспективи 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.

4. *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

5. *Атрошенко Л.М., Горобец Н.Н., Сафронова Л.П.* Повышение надежности прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур по радиолокационным космическим снимкам высокого разрешения // Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2007 г. с.14.
6. *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, pp.1729-1737.
7. *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.
8. *Атрошенко Л.М., Бирюков А.Г., Муляк В.Н., Яворский Е.А.* Методика картографирования загрязнений нефтью районов нефтедобычи и обнаружения прорыва нефтепроводов // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Методы дистанционных исследований», Барнаул, 1993г. с.25-28.
9. *Атрошенко Л.М., Бирюков А.Г., Филиппенко В.Е., Яворский Е.Н.* Взаимосвязь характеристик древесной растительности с параметрами радиолокационного изображения // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Исследование лесов из космоса», Красноярск, 1990г. с.118 - 120.
10. *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.
11. *Atroshenco L.M., Gaikovich K.P., Gorobets N.N.* Soil absorption profiling and complex dielectric permittivity based on microwave radiometry //2006 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MM'ET 2006). Kharkov. Ukraine. June 26-29, 2006, pp.366-367.