

УДК 528.855

В. И. Лялько, М. А. Попов

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Полигоны ДЗЗ в Украине как элемент глобальной системы GEOSS/GMES

Представлено 03.09.07

Розглянуто питання, пов'язані з обґрунтуванням вимог до системи полігонів ДЗЗ в Україні, умови отримання достовірної і точної польової інформації in-situ, організаційні аспекти проблеми, можливі напрями міжнародного співробітництва у цій галузі.

ВСТУПЛЕНИЕ

Как известно, начиная с 2005 г., международным научным сообществом реализуется рассчитанный на десятилетний период проект «The Global Earth Observation System of Systems» (GEOSS), целью которого является существенное пополнение и уточнение на количественном уровне наших знаний о состоянии геосфер и биосферы Земли [1]. Для создания глобальной системы наблюдения Земли привлекаются самые современные технические средства измерений и наблюдения, используются наиболее эффективные и высокопроизводительные методы и системы обработки получаемых данных.

В силу необходимости обеспечения, в соответствии с поставленной целью, глобального и непрерывного мониторинга окружающей природной среды, одним из основных источников данных в панпроекте GEOSS и его европейской составляющей «Global Monitoring for Environmental Security» (GMES) рассматриваются технические средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С помощью средств ДЗЗ аэро- и космического базирования (бортовых сенсоров) формируются высококачественные изображения, анализ и интерпретация которых позволяют извлекать актуальную (оперативную) информацию о состоянии земной суши, океана и

атмосферы, фиксировать и изучать происходящие в природе изменения, строить эволюционные и другие прогностические модели и т. д.

Практика показывает, что достоверность и точность извлекаемой из аэрокосмических изображений информации существенно зависят от наличия и полноты соответствующих полевых (in-situ) данных [2]. Полевые данные получают методом наземных физических (геохимических, фитоиндикационных и т. д.) и геометрических (пространственных) измерений или с помощью непосредственного наблюдения и обследования объектов, что придает таким данным более высокую точность и адекватность (реалистичность) по сравнению с дистанционными данными [3, 4]. Это позволяет использовать полевые данные как некие опорные (калибровочные, заверочные) в процессах формирования, обработки и интерпретации аэрокосмических изображений.

Кроме того, вследствие существования конечных пределов по чувствительности, разрешающей способности и наличия других ограничений, присущих реальным техническим средствам ДЗЗ, далеко не все параметры состояния геосфер и биосферы Земли могут с их помощью измеряться или наблюдаться. Поэтому в глобальной системе GEOSS/GMES значительное внимание уделяется проблеме получения в надлежащих объемах данных in-situ, которые име-

ют важное прикладное значение, как при интерпретации дистанционных данных, так и при моделировании и прогнозировании природных и техногенных процессов.

Накопленный в мировом ДЗЗ опыт убедительно свидетельствует, что наиболее рациональный путь надежного получения и эффективного использования данных *in-situ* — это создание специально оборудованных полигонов. По этому пути уже достаточно длительное время идет большинство стран, имеющих собственные спутники ДЗЗ (США, Франция, Россия и др.).

Определенный опыт полигонных исследований имеется и в Украине. Хорошо известна наблюдательная система Черного моря, созданная Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в поселке Качивели (Крым), в состав которой входит как наземный научный комплекс, так и оборудованная на прибрежном шельфе уникальная платформа на сваях для исследований состояния морской акватории [5]. Научный центр аэрокосмических исследований Земли НАН Украины давно и успешно использует отдельные участки вблизи Чернобыля и в предгорье Карпат для заверки спутниковых данных при оценивании состояния лесов и растительности методами ДЗЗ из космоса [6].

Вместе с тем полигонные исследования в Украине требуют дальнейшего развития. В статье сделана попытка сформулировать требования к современным полигонам ДЗЗ, обсуждается проблема создания системы полигонов ДЗЗ в Украине и рассмотрены направления ее развития и имплементации в глобальную систему GEOSS/GMES.

ПОЛИГОНЫ ДЗЗ:

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТРЕБОВАНИЯ

В общем случае полигоны ДЗЗ предназначаются для решения двух больших групп задач. Одна группа задач связана с послестартовой настройкой параметров бортовых сенсоров с целью обеспечения оптимального режима съемки в процессе аэрокосмического мониторинга земной поверхности и уточнения значений элементов внешнего ориентирования (пространственной привязки и наведения на объекты дистанционного зон-

дирования). Другая группа задач связана с разработкой и сертификацией различных методик обработки, анализа и интерпретации получаемых данных ДЗЗ, в частности аэрокосмических изображений.

В зависимости от функционального предназначения полигоны ДЗЗ подразделяют на контрольно-калибровочные и тестовые [7].

С помощью контрольно-калибровочных полигонов решают задачи контроля параметров бортовых технических средств ДЗЗ в процессе полета и их калибровки. Для этого на земной поверхности устанавливаются разнообразные технические объекты с известными характеристиками: миры для экспериментального измерения пространственной разрешающей способности бортовых оптико-электронных сенсоров, устройства для измерения чувствительности инфракрасных и радиолокационных систем, искусственные малоразмерные объекты точного 3D-позиционирования (наземные контрольные точки) и др. В случае калибровки многоспектральных средств ДЗЗ должно технически обеспечиваться измерение величины абсолютной чувствительности каждого спектрального канала либо определение относительного ее значения в сравнении с другими каналами. Все объекты на полигоне должны иметь максимально точную координатную привязку, что особенно важно, если полигон имеет также фотограмметрическую направленность.

Тестовые полигоны ДЗЗ используются для разработки и сертификации методик решения тематических задач ДЗЗ, создания и пополнения компьютерных баз данных о спектральных сигнатурах объектов дистанционного зондирования и проведения других научных исследований. В этих целях на территории полигона устраиваются или просто выбираются тестовые участки, каждый из которых имеет определенные (спектрально-яркостные, геометрические и др.) устойчивые характеристики. Эти характеристики используются при интерпретации изображений в качестве атрибутивных признаков соответствующего класса объектов. Кроме того, знание этих характеристик на количественном уровне позволяет проводить коррекцию радиометрических (яркостных) и геометрических искажений, в той или иной мере присущих всем аэрокосмическим изображениям.

подавляющее большинство специально оборудованных полигонов ДЗЗ располагается на суше, при этом обычно они функционируют на базе существующих заповедников, лесничеств и опытных хозяйств, ботанических садов и т. д., что обеспечивает экономию средств и квалифицированное обслуживание. Вместе с тем в некоторых проектах ДЗЗ в качестве полигонов используются на период выполнения проекта естественные (природные) наземные образования, от которых есть вся необходимая и достаточно достоверная информация.

При изучении морей и океанов используются дрейфующие или стационарно закрепляемые платформы, с которых проводятся измерения оптических, геохимических и других характеристик морской и стоковых пресных вод, альтиметрические измерения, осуществляется геологическое обследование шельфовых зон и др. [5].

Чтобы максимально соответствовать своему назначению и обеспечивать достаточную информационную поддержку дистанционным измерениям и наблюдениям, полигон ДЗЗ должен удовлетворять определенным требованиям. Эти требования можно разделить на следующие категории:

- 1) структура,
- 2) излучательно-отражательные характеристики,
- 3) географическое расположение и размеры,
- 4) методическое и техническое обеспечение,
- 5) сертификация.

Рассмотрим подробнее каждую категорию требований.

Структура. Объекты, которые могут быть предметом дистанционного изучения и полигонных исследований, весьма разнообразны: это растительность, грунты и обнажения пород, акватории, снежные покровы и ледовые образования, аэрозоли приземного слоя атмосферы, искусственные сооружения и др. Если полигон ДЗЗ предполагается использовать также для решения фотограмметрических задач и актуализации картографической информации, то в его структуру дополнительно должны включаться территории населенных пунктов, промышленные и сельскохозяйственные объекты, гидрографические объекты и т. д.

В международной практике объекты ДЗЗ при-

нято сводить в некую номенклатурную таблицу, или классификационную систему. Например, для классификации земных покрытий методом ДЗЗ еще более 30 лет тому назад Андерсоном (J. R. Anderson) была предложена двухуровневая классификационная система, согласно которой все покрытия разделены на 1-м уровне на 9 категорий и на 37 категорий на 2-м уровне [8]. Категории 1-го уровня: городские и застроенные земли, сельскохозяйственные земли, пастбища, леса, водные поверхности, заболоченные земли, бесплодные земли, тундра, многолетние снежные и ледовые покровы. На 2-м уровне каждая из перечисленных категорий детализируется. Процедура классификации земных покрытий по Андерсону требует наличия аэрокосмических снимков с детальностью на местности 10—30 м и карт масштаба 1:100 000. Классификационная система Андерсона неоднократно модифицировалась, и сегодня она является наиболее распространенной в США.

В Европе получила распространение классификационная система CORINE Land Cover (CLC), разработанная в рамках программы Co-ordination of Information on the Environment (1985—1990 гг.). Это трехуровневая система, 1-й уровень которой образован пятью категориями: искусственные поверхности, сельскохозяйственные зоны, леса и обнажения, заболоченные земли, водоемы [9]. На 2-м уровне насчитывается 15 разновидностей названных категорий, на 3-м уровне каждая из разновидностей детализируется далее. Эта система весьма удобна при изучении состояния лесов и растительности, поскольку на 2-м и 3-м уровнях классификация учитывает их физиогномические, фенологические и флористические особенности. Процедура классификации земных покрытий в системе CLC требует аэрокосмических снимков с детальностью на местности не хуже 25 м и карт масштаба 1:100 000.

В последние несколько лет в рамках проекта, реализуемого комитетом CEOS, создана схема классификации GOFIC/GOLD (Global Observation of Forest Cover / Global Observation of Land Cover Dynamics) (www.fao.org/gtos/gtos-find.asp). При создании данной схемы впервые принято во внимание, что выделяемые классы должны облегчать исследования карбонового баланса с целью прогноза климатических изменений.

При классификации по схеме GOF/GOLD используются легко доступные космические снимки среднего и низкого пространственного разрешения (от 100 до 1000 м). Все это способствует распространению данной классификационной схемы, особенно при изучении и оценке происходящих в природе изменений.

Структура полигона разрабатывается на этапе его создания в соответствии с возможностями местной экосистемы и перечнем тематических задач ДЗЗ и обычно не подвержена существенным изменениям. В то же время при необходимости номенклатура и количество тестовых объектов на полигоне могут корректироваться.

Излучательно-отражательные характеристики. В качестве материального носителя информации в системах ДЗЗ используется электромагнитное излучение, поэтому качество формируемых аэрокосмических изображений, а следовательно, и точность их интерпретации определяются излучательно-отражательными характеристиками объектов дистанционного зондирования. Для сенсоров и изображений видимого диапазона длин волн основными параметрами являются коэффициенты отражения и яркости наземных объектов; в случае инфракрасных (тепловых) сенсоров и изображений важны в первую очередь излучательные характеристики объектов.

Общие требования таковы:

- тестовые участки и калибровочные объекты должны иметь достаточно хорошие излучательные/отражательные свойства (с величиной коэффициента отражения в заданном спектральном диапазоне не менее 0.3);
- поверхность тестовых участков должна быть близкой к ламбертовской;
- форма функции распределения значений коэффициента излучения или отражения тестового объекта по спектру должна быть в пределах задействованного спектрального интервала достаточно плоской, без резких перепадов;
- смежные тестовые участки, являющиеся репрезентантами разных классов, не должны обладать близкими излучательно-отражательными свойствами;
- излучательно-отражательные характеристики полигонных объектов должны быть достаточно стабильными.

Излучение от тестового объекта прежде, чем попасть на входной зрачок приемного блока сенсора, претерпевает ослабляющее действие толщи атмосферы, иногда весьма значительное. Кроме, того, на входном зрачке всегда присутствуют «паразитные» излучения. Поэтому исходное излучение от тестового объекта должно быть достаточно мощным, чтобы обеспечить хорошее отношение «сигнал/шум». Наличие на полигоне объектов с максимальной и минимальной яркостями позволяет подстраивать текущий динамический диапазон сенсора и тем самым уменьшать нелинейность преобразования «яркость—электрический сигнал».

Ламбертовость тестовых участков означает на практике, что величина яркости мало меняется по поверхности этого участка и слабо зависит от угла визирования. Данное свойство позволяет минимизировать возможные ошибки калибровки при наклонном наведении сенсора на объект, а также при кросс-калибровке бортовых сенсоров (когда один сенсор калибруется с помощью второго).

Плоский характер функции спектрального распределения коэффициента отражения или излучения тестового объекта имеет важное значение при калибровке многоспектральных технических средств ДЗЗ, и особенно при кросс-калибровке бортовых сенсоров, в случае, когда у опорного и калибруемого сенсоров соответствующие спектральные зоны пересекаются только частично.

Необходимо указать, что при наличии определенной близости излучательно-отражательных свойств у тестовых участков разных классов их отождествление и локализация на снимке усложняются, особенно если эти участки расположены рядом друг с другом. Поэтому в некоторых случаях соседствующие объекты генерализуются, т. е. объединяются по определенным правилам в один класс.

Все искусственные объекты на полигоне должны сохранять стабильность своих свойств, в том числе геометрических и оптических. К природным объектам это требование применяется избирательно: с одной стороны, яркость подстилающих земных образований должна быть мало подвержена сезонным изменениям, а с другой стороны, при изучении процессов вегетации и созревания сельскохозяйственных культур

именно изменения их спектральных отражательных свойств во времени несут основную информационную нагрузку.

Географическое расположение и размеры.

При выборе места расположения наземного полигона ДЗЗ следует принимать во внимание, в первую очередь, ландшафтно-климатические и геоморфологические особенности территории, поскольку местный климат, характерная растительность и рельеф предопределяют структуру полигона и состав тестовых объектов. Предпочтению отдается географическим районам с низкой среднегодовой облачностью и климатом, обеспечивающим всесезонность наблюдений и измерений. Желательна удаленность от техногенных загрязненных зон. По рельефу предпочтительна равнинная местность с наклонами не более нескольких градусов, при этом следует учитывать, что чем выше полигон находится относительно уровня моря, тем меньше сказывается влияние аэрозольного фактора. Полигон должен быть расположен на преимущественных маршрутах спутников ДЗЗ с обеспечением возможности калибровки орбитальных сенсоров в зенит в светлое время суток. Если полигон используется как подспутниковый, то желательно, чтобы полетное время самолета от ближайшего аэродрома было небольшим.

Площадь контрольно-калибровочного полигона чаще всего исчисляется несколькими десятками квадратных километров. Если на полигоне решаются также фотограмметрические и топогеодезические задачи, то обычно ставится условие, чтобы его площадь соответствовала листу топографической карты масштаба 1:25000, т. е. составляла не менее 80 км². Принимается также во внимание, что увеличение размеров полигона упрощает решение проблемы наведения бортовых средств.

Общая площадь тестового полигона определяется числом представленных на нем классов объектов. Каждый класс представляется одним или несколькими площадными участками, относительно которых предъявляются два основных требования: 1) суммарное количество составляющих пространственных единиц (unit, subplot) должно быть статистически достаточным, 2) участок (или участки) должен быть максимально однородным, т. е. не «засорен» представителями других классов.

Если принять, что пространственная единица по площади соответствует проекции пиксела на земную поверхность, а классификация каждого пиксела осуществляется независимо, то необходимое количество единиц (т. е. необходимый объем выборки) наиболее просто рассчитывается с помощью биномиального подхода. За основу берется вероятность правильной классификации P_0 , при этом задаются некоторый доверительный интервал, в котором эта величина может находиться, а также вероятность выхода из него. При этих условиях минимальное статистически достаточное количество единиц N^* рассчитывается с помощью формулы

$$N^* = Z_\alpha^2 P_0 (1 - P_0) / b^2,$$

где Z_α — стандартная табулированная оценка для принятой вероятности двусторонней ошибки 1-го рода, b — допустимая ошибка [10]. Ошибка 1-го рода задает вероятность α того, что истинное значение вероятности правильной классификации выйдет за границы доверительного интервала. Пусть $P_0 = 0.85$; если задаться $\alpha = 0.05$, то согласно [11] имеем допустимую ошибку $b = \pm 0.05$ и $Z_\alpha = 1.96$. Тогда расчет по вышеприведенной формуле дает $N^* = 207$. Исходя из этого числа, для случая, когда проекция пиксела на земную поверхность составляет квадрат со стороной 30 м (характерно для изображений со спутников Landsat, EOS AM-1 Terra/ASTER), получаем, что один класс должен занимать территорию не менее 0.2 км². Если же при этом предполагается, что участок будет использоваться и для классификации изображений с обучением, и для контроля качества используемого классификатора, то нужна территория, как минимум, вдвое большая по площади.

В работе [10] описан еще один теоретический подход к определению статистически достаточного объема выборки, особенность которого в том, что он позволяет учитывать индивидуальные требования к точности классификации на уровне каждого класса. Там же показано, что достоверность классификации зависит от геометрической формы тестовой площадки, особенно при малых размерах участка.

Влияние «засоренности» участка на достоверность классификации экспериментально исследовалось в [12]; полученные результаты пока-

зывают, что нарушение степени однородности участка приводит к существенному снижению процента правильной классификации.

Методическое и техническое обеспечение.

Любой полигон ДЗЗ — это сложная эко- и биосистема, требующая большого объема полевых измерений и наблюдений [13]. При методическом обеспечении этих работ ключевыми являются вопросы выбора рационального множества параметров, подлежащих измерению, обоснования необходимой точности и периодичности измерений и наблюдений. Применительно к объектам зондирования в это множество включаются интегральные и спектральные характеристики отражения, поглощения и пропускания, а также степень поляризации. Кроме того, требуется периодический контроль их местоположения (в случае малоразмерных объектов) или границ. Состояние подстилающей земной поверхности контролируют с помощью измерений влажности и геохимического состава почвы.

Принцип единства измерений [14] требует, чтобы их результаты были привязаны к национальным или международным эталонам, а погрешности измерений были четко установлены и выдерживались.

Точность полевых измерений должна обеспечивать возможность стратификации измеряемых характеристик по их значениям и разделения объектов разных классов. Кроме того, от точности полевых измерений зависит достоверность классификации объектов на аэрокосмических изображениях. Например, в классификационных системах Андерсона и CLC требуемая достоверность классификации должна составлять не менее 0.85 [8, 9].

Интегральные оптические свойства объектов оценивают через коэффициенты отражения, поглощения и пропускания. Задачи исследования радиационного баланса, моделирования растительного покрова требуют измерения индикаторы и коэффициента рассеяния излучения объекта, двунаправленного коэффициента отражения и функции его распределения, коэффициента направленного излучения, полусферического и конического коэффициентов излучения и т. д. [4, 13, 14].

Важными составляющими полевых работ являются сбор и актуализация эколого-фитоценозной и флористической информации. Эта ин-

формация должна иметь пространственную привязку в масштабе карты не хуже 1:25 000.

В результате периодически проводимых на полигоне измерений и наблюдений создается информационный портрет каждого объекта или классов объектов. Эти портреты, включая спектральные сигнатуры, сохраняются в специально создаваемых базах данных и анализируются методами ГИС-технологий [15].

Техническое обеспечение выполняемых на полигоне работ включает в себя наличие комплекса измерительных приборов, в составе которого обычно должны присутствовать полевой спектрометр, поляриметр, прибор точного позиционирования, гониометр, влагомер, магнитометр и др.

В настоящее время, по мнению большинства специалистов, наиболее совершенным по своим техническим и информационным возможностям является полевой портативный спектрорадиометр FieldSpecR3 FR, выпускаемый американской компанией Analytical Spectral Devices, Inc. [16]. Он обеспечивает измерение и сохранение данных об отражательной способности, яркости и освещенности природных и искусственных объектов в спектральном диапазоне 350...2500 нм, при этом спектральное разрешение составляет 3 ... 10 нм. В его комплект входит интегрирующая сфера RTS-3ZC Refl/Trans Integrating Sphere, что позволяет измерять полное полусферическое отражение и пропускание образцов растительности, почвы, их альbedo и т. д.

Для определения влажности, температуры и солености почв Институтом агрофизики Польской академии наук (г. Люблин) разработан и выпускается переносной наземный прибор FOM/mts. С его помощью можно выполнять измерения перечисленных параметров на разных уровнях почвенного разреза. Кроме того, прибор FOM/mts обеспечивает измерение объемного содержания воды в почве с точностью до 2 %. Влажность измеряется в диапазоне от 0 до 100 %, температура в пределах $-20 \dots +50$ °C с разрешением 0.1 °C. Степень солености почвы измеряется косвенным методом, через удельную электропроводимость, диапазон измеряемых значений: 0.0 ... 1.0 Сименс/м.

Сертификация. Согласно международным правилам, каждый полигон ДЗЗ проходит процедуру сертификации и паспортизируется [17].

Паспорт полигона должен включать:

- общие сведения (название, время создания, географическое положение, площадь, перечень тестовых или калибровочных объектов, административно-территориальная и ведомственная принадлежность, позиционность относительно водных объектов, лесовых массивов, антропогенно-природные объекты, типы землепользования и хозяйствования на территории, фитоценоз и т. д.);
- иконическую информацию (топографические карты, цифровая модель рельефа, разновременные аэрокосмические снимки полигона и материалы наземной съемки, геоботаническая карта, фондовые материалы);
- ландшафтную и геологическую информацию (районирование, доминирующие биотопы и их соотношение, поверхностные и приповерхностные отложения, гидрологические и климатические особенности, показатели атмосферы, среднее число дней в году с осадками и туманами, даты формирования и схода снежного покрова, растительный покров и состояние почвы);
- гидрологические характеристики (поверхностные воды, схема гидрографической сети, данные об основных водных объектах, морфометрические характеристики и др.);
- паспорта тестовых и/или калибровочных объектов (координаты, пространственные размеры и однородность, спектральные сигнатуры и другие атрибуты классов).

В Украине общие положения и порядок сертификации изложены в стандартах [18, 19 и др.]. Подобные правила имеются и в других странах.

Выполнение рассмотренных требований к полигонам ДЗЗ является одним из важнейших условий успешной их имплементации в международную сеть наземных средств калибровки бортовых аэрокосмических сенсоров и валидации дистанционных данных.

Направления развития полигонных исследований в контексте создания глобальной системы GEOSS/GMES

Исходя из вышеизложенного, развитие полигонных исследований в Украине предполагает:

- 1) создание и/или обустройство украинских полигонов ДЗЗ, доведение их до уровня международных требований;
- 2) объединение украинских полигонов ДЗЗ в

единую систему получения наземных данных в интересах дистанционных исследований, расширение этой системы на основе привлечения возможностей соседних стран;

3) имплементацию системы полигонов в международную сеть наземных средств калибровки бортовых аэрокосмических сенсоров и валидации дистанционных данных.

Создание и обустройство отечественных полигонов должны способствовать решению наиболее актуальных задач, среди которых — поиск дистанционными методами залежей полезных ископаемых, картографирование, кризисный мониторинг, составление кадастра земельных ресурсов, оценивание и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, решение экологических и других тематических задач.

Мировой и отечественный опыт решения проблемы обеспечения обработчиков и других пользователей дистанционных данных наземной калибровочно-заверочной информацией свидетельствует, что только система полигонов может обеспечить необходимые массивы данных по природным и антропогенным объектам и процессам в разных физико-географических и климатических условиях, позволит выполнять комплексные исследования на участках «суша-море», изучать процессы энергообмена в геологических системах, оценивать и прогнозировать возможные климатические изменения и т. д. Такая система будет способствовать разработке и внедрению «прорывных» технологий ДЗЗ, новых методик обработки и интерпретации данных на основе комплексирования аэрокосмической информации с данными геологических, геофизических, сейсмических и других наблюдений и измерений.

В Украине насчитывается достаточно большое количество ведомств и организаций, которые в процессе выполнения стоящих перед ними задач применяют аэрокосмические методы и в связи с этим испытывают потребность в наличии наземной калибровочно-заверочной информации. Эта потребность будет, несомненно, возрастать в ходе реализации IV-й Национальной космической программы Украины, согласно которой планируется запуск нескольких отечественных спутников ДЗЗ, а также в связи с постоянным ростом общего количества функционирующих спутников ДЗЗ в мире.



Возможная схема распределения полигонов ДЗЗ на территории Украины: 1 — территория Шацкого национального природного парка (Полесье), 2 — полигон «Яворивский», 3 — Винницкий полигон, 4 — полигонные территории в Киевской области, 5, 7, 8, 9, 10, 11 — полигоны на базе филиалов Украинского степного природного заповедника (Харьковская область), 12 — биосферный заповедник «Аскания-Нова», 13 — природный заповедник «Еланецкая степь», 14 — Дунайский биосферный заповедник, 15 — морской полигон Морского гидрофизического института (Кацивели, АРК Крым), 16 — наземный полигон «Чауда»

Ряд отечественных организаций располагают ведомственными природными комплексами, которые могут быть использованы для получения наземных данных в интересах ДЗЗ. К созданию общей для восточной Европы системы полигонов ДЗЗ проявляют интерес ученые и научные организации соседних с Украиной стран. Потому важным представляется объединение усилий заинтересованных организаций и ведомств Украины (Министерство охраны окружающей среды, Государственная служба геодезии, картографии и кадастра, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство аграрной политики, Министерство обороны, Национальное космическое агентство, Национальная академия наук Украины и др.), а также зарубежных партнеров с целью создания таких полигонов.

Возможная схема распределения полигонов ДЗЗ на территории Украины представлена на рисунке.

Возможности использования отдельных участков Шацкого национального природного парка в качестве тестовых в настоящее время совместно изучают ученые Физико-механического института им. Карпенко и Научного центра аэрокосмических исследований Земли НАН Украины. Проведены полевые работы, по результатам которых отобраны участки-репрезенты классов, характерных для данного парка, составлено их описание и проведена пространственная привязка, приобретены космические снимки на территорию (Landsat, EOS AM-1 Terra/Aster) и проведена их классификация.

Полигон «Яворивский» расположен во Львов-

ской области, в пределах географического района Розточья и используется в настоящее время Национальным университетом «Львівська політехніка» и Министерством обороны Украины. Однако разнообразие представленных здесь биотопов (лес, кустарники, травяные покрытия, водно-болотистые угодья, искусственные объекты и др.) открывает перспективу его задействования в качестве полигона ДЗЗ.

Полигон вблизи г. Винницы создается Государственной службой геодезии, картографии и кадастра; здесь предполагается решать, кроме задач ДЗЗ, также задачи апробации и сертификации систем дистанционного топографического картографирования для создания и обновления топографических карт и планов масштабов от 1:2000 до 1:50000.

В Киевской области существуют и могут эффективно использоваться сразу несколько территорий в качестве тестовых полигонов ДЗЗ. Среди них — отдельные участки Чернобыльской зоны, в Баришевском районе, военный полигон «Девички» и др.

Полигоны на базе филиалов Украинского степного природного заповедника охватывают практически всю юго-восточную территорию страны, для них существуют достаточно полные базы данных фитоценологического мониторинга, осуществляемого на постоянной основе Институтом ботаники НАН Украины. Подобные исследования проводятся в заповедниках «Аскания-Нова», «Еланецкая степь», Дунайском биосферном заповеднике.

Научно-методическое обеспечение существующего лесного полигона на территории Харьковской области осуществляют ученые Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина.

Учитывая особенности географии и климата Крыма, на его территории целесообразно задействовать два полигона ДЗЗ, один — расположенный на суше полигон «Чауда» (который мог бы использоваться и как контрольно-калибровочный, и как тестовый), второй — морской полигон в Кацивели.

Уже в процессе создания системы украинских полигонов ДЗЗ должен вестись активный поиск наиболее быстрого и эффективного пути ее включения в международную сеть наземных средств калибровки бортовых аэрокосмических

сенсоров и валидации дистанционных данных глобальной системы GEOSS/GMES. Это позволит решать разнообразные тематические задачи аэрокосмического зондирования в интересах Украины и обеспечивать на паритетной основе необходимой информацией зарубежных потребителей и партнеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе сформулированы и обоснованы требования к современным полигонам ДЗЗ, обсуждается проблема создания системы полигонов ДЗЗ в Украине и рассмотрены направления ее развития и имплементации в глобальную систему GEOSS/GMES.

Решение этих задач требует проведения научных исследований, направленных на:

- адаптацию международной системы классификации земных покрытий к территориально-климатическим условиям Украины;
- обоснование оптимального числа и территориального распределения полигонов;
- обоснование размеров тестовых площадок и их геометрических форм с учетом разрешающей способности задействованных бортовых сенсоров;
- создание баз данных для спектральных сигнатур (spectral library) и их актуализация;
- разработку новых методов калибровки бортовых аэрокосмических сенсоров и валидации дистанционных данных;
- разработку методов сертификации технологий решения тематических задач ДЗЗ;
- геоинформационное и картографическое обеспечение.

Условиями успешного выполнения этих исследований и дальнейшего продвижения Украины на мировой рынок геоинформационных и космических услуг являются скорейшее объединение усилий ученых разных специальностей, а также решение выше названных организационных вопросов.

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006.—358 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969.—576 с.

3. Дидух Я. П., Плюта П. Г. Фітоіндикація екологічних факторів. — К.: Наук. думка, 1994.—280 с.
4. ДСТУ-2462-94. Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення.
5. ДСТУ-3413-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції.
6. ДСТУ 4758:2007. Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять.
7. Корогаев Г. К., Еремеев В. Н., Кубряков А. И. Глобальная океаническая наблюдательная система Черного моря: научная стратегия и дизайн // Экологична безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. — Севастополь: МГІ НАНУ, 2003.—Вип. 2 (7).—С. 5—17.
8. Мовчан Я. И., Каневский В. А., Семичаевский В. Д. и др. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях. — Київ: Наук. думка, 1993.—310 с.
9. Муравський Л. І., Кошовий В. В., Олійник О. Т. и др. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу локальних екосистем України // Відбір і обробка інформації.—2006.—Вип. 24 (100).—С. 19—30.
10. Попов М. А. Методология оценки точности классификации объектов на космических изображениях // Проблемы управления и информатики.—2007.—№ 1.—С. 97—103.
11. Попов М. О., Цимбал Т. В. Правила та процедура сертифікації методик використання даних дистанційного зондування Землі при вирішенні тематичних задач // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 4.—С. 104—112.
12. Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. Land use and land cover classification system for use with remote sensor data // Geological Survey Professional Paper 964.—Washington: United States Government Printing Office, 1976.—41 p.
13. Barrett E. C., Curtis L. F. Introduction to Environmental Remote Sensing. — Taylor and Francis Group, 1999.—457 p.
14. Buttner G., Feranec J., Jaffrain G., et al. The CORINE Land Cover 2000 Project // EARSeL Proceedings.—2004.—3.—P. 331—346.
15. Global Earth Observation System of Systems (GEOSS). 10-Year Implementation Plan: Reference Document. — Noordwijk: Publ. by ESA Publication Division, 2005.—210 p.
16. McCoy R. M. Field methods in remote sensing. — N. Y.: Guilford Press, 2004.—159 p.
17. Smith J. H., Wickham J. D., Stekhan S. V., Yang L. Impacts of patch size and land-cover heterogeneity on thematic image classification accuracy // Photogramm. Eng. and Remote Sens.—2002.—68, N 1.—P. 65—70.
18. Smith J. R. Radiometric ground truthing for airborne and satellite sensor tests // Proceedings of Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS Conference, 2002. <http://www.isprs.org/commission1/proceedings02/paper>
19. Spaceborne optoelectronic sensors and their radiometric calibration. Terms and definitions. Part 1. Calibration techniques / Eds A. C. Parr, L. K. Issaev. — US, National Institute of Standards and Technology, March 2005.—220 p.

UKRAINIAN FIELD SITES SYSTEM FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH AS AN ELEMENT OF THE GEOSS/GMES GLOBAL SYSTEM

V. I. Lyalko, M. A. Popov

The problem of construction of the Ukrainian field sites system for remote sensing of the Earth is discussed. The requirements for getting reliable and precise field information in-situ, some organizational aspects and possible directions of the international cooperation in this area are considered.