

УДК 528.8

Л. Бродский¹, Е. И. Бушуев², В. И. Волошин², А. А. Козлова³, О. И. Паршина², М. А. Попов³,
В. И. Саблина², А. И. Сахацкий³, А. В. Сиротенко⁴, Т. Соукуп¹, С. А. Станкевич³, А. Г. Тарарико⁴

¹ Gisat s.r.o. — Geoinformation Company, Praha, Czech Republic

² Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

³ Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Київ

⁴ Інститут агроєкології Української академії аграрних наук, Київ

ПРОЕКТ INTAS ПО РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КЛАССИФИКАЦИИ ЗЕМНЫХ ПОКРЫТИЙ: НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ, ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Викладено основні результати проекту INTAS зі створення автоматизованої технології класифікації земних покривів. Проект виконувався у 2007–2008 рр. за підтримки Національного космічного агентства України та Космічного агентства Франції. Розроблена технологія базується на використанні матеріалів багатоспектральної космічної зйомки земної поверхні з детальністю 15–30 м. Кінцевим інформаційним продуктом розробленої технології є тематичні карти територій з номенклатурою об'єктів, гармонізованою з європейською системою класифікації земних покривів CORINE Land Cover Classification System.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших условий поддержания стабильности развития и предупреждения чрезвычайных ситуаций, оценки последствий природных и техногенных катастроф является наличие оперативной и достоверной информации о состоянии окружающей среды и протекающих в ней процессах. Другое условие состоит в том, что уровень полноты получаемых геоданных должен позволять оценивать все сколь-нибудь существенные изменения, обусловленные как деятельностью человека, так и динамикой геосистем, а также осуществлять прогнозирование процессов.

Выполнение указанных условий невозможно без наличия средств аэрокосмического мониторинга и развитой инфраструктуры передачи, обработки и анализа геоданных. При этом должен быть отработан максимально простой и прозрачный механизм обмена информацией, для че-

го данные должны быть представлены в форме, доступной всем пользователям.

Начало работам по созданию единой европейской системы сбора и обмена информацией о состоянии природной среды континента было положено Программой CORINE (Coordination of information on the environment), инициированной Еврокомиссией (European Commission) в 1985 г. [12]. Эта программа позволила объединить усилия ученых и специалистов западноевропейских стран по сбору, унификации и координации геопространственной и тематической информации о состоянии суши, растительности и водных ресурсов, распределении природных ресурсов, уровне урбанизации и др., разработке новых подходов к получению и обработке данных с целью повышения эффективности управленческих решений.

В программе CORINE нашли самое широкое применение методы аэрокосмического мониторинга Земли. На основе материалов космических съемок со спутников «Landsat» и SPOT к началу 1990-х гг. были составлены цифровые карты земных покрытий для нескольких стран

© Л. БРОДСКИЙ, Е. И. БУШУЕВ, В. И. ВОЛОШИН,
А. А. КОЗЛОВА, О. И. ПАРШИНА, М. А. ПОПОВ,
В. И. САБЛИНА, А. И. САХАЦКИЙ, А. В. СИРОТЕНКО,
Т. СОУКУП, С. А. СТАНКЕВИЧ, А. Г. ТАРАРИКО, 2009

западной Европы в масштабе 1:100 000. Важным результатом программы CORINE явилось создание единой номенклатуры земных покрытий на территорию Европы (CORINE Land Cover Classification System). Это многоуровневая классификационная схема, с разбиением объектов на 5 классов на 1-м уровне, на 15 классов — на 2-м уровне и на 44 класса — на 3-м уровне. Номенклатура классов земных покрытий в совместно разработанной европейскими странами системе CORINE LCC по уровням представлена в первых трех столбцах табл. 1. Следует подчеркнуть, что классификационная схема CORINE LCC допускает, при необходимости, дальнейшую детализацию в виде наращивания дополнительных уровней [12]. Эта возможность использована в выполненном авторами проекте INTAS.

Собранная к началу 1990-х годов информация о земных покрытиях, систематизированная в соответствии с номенклатурой CORINE Land Cover Classification System и дополненная данными наземных наблюдений и измерений, составила содержание базы данных CLC1990. В последующие годы к проекту CORINE постепенно присоединялись и другие страны (к 2000 г. их число в проекте достигло 29), и соответственно пополнялся каталог базы данных CLC1990.

В период с 2000 по 2005 гг. по инициативе и поддержке European Environment Agency (EEA) был выполнен большой объем работ по повышению качества (коррекции) содержимого базы данных CLC1990 и его обновлению на основе орторектифицированных материалов актуальных космических съемок с КА «Landsat-7», сформулированы общие технические требования к результатам классификации объектов на космических изображениях.

Съемки обеспечили практически полное (без пропусков) покрытие снимками всей территории европейского континента, после чего было проведено их интерактивное (computer-assisted) дешифрование. Это позволило не только сформировать уточненную и детализованную карту земных покрытий, но и сделало возможным решение такой актуальной и важной задачи, как

выявление и оценивание темпоральных изменений природной среды в Европе. Обновленная база данных получила наименование CLC2000, в ее составлении приняло участие 32 страны. База данных CLC2000 доступна через портал European Environment Agency <http://dataservice.eea.europa.eu>.

Соответствие качества материалов базы CLC2000 и конечных информационных продуктов CORINE требованиям пользователей (муниципальных и региональных органов власти, землепользователей, экологов и т. д.) было проанализировано в проекте European Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey — LUCAS [22]. Исследование проводилось European Topic Centre on Terrestrial Environment (ETC/TE) при участии геоинформационной компании Gisat s.r.o. (Прага, Чешская республика). Анализ, проведенный в проекте LUCAS, показал, что база CLC2000 и продукты на ее основе в основном удовлетворяют запросам пользователей. Однако было отмечено следующее.

1. Точность классификации некоторых категорий объектов уступает заявленной в CORINE величине общей точности 85 % (табл. 2), причем процент ошибок увеличивается на более высоких уровнях. Большинство специалистов-практиков землепользования не устраивает заявленные величины минимальной картируемой площади (minimum mapping unit — MMU) 25 га и ошибки координатной привязки 100 м.

2. На решениях, принимаемых при классификации объектов на космических изображениях, сильно сказывается субъективный фактор. Устойчивость и воспроизводимость результатов обработки и анализа изображений, получаемых разными операторами-дешифровщиками, часто выходит за пределы допустимых статистических границ.

3. Дальнейшие работы по наполнению и совершенствованию данных CORINE CLC2000 целесообразно производить с использованием сервисов, создаваемых в рамках Программы Global Monitoring for Environment and Security (GMES/Kopernikus) — европейской составляющей глобального проекта Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

Таблица 1. Классы земных покрытий в соответствии с CORINE CLC- и TLCC-номенклатурами

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4
Искусственные поверхности	1.1 Городская застройка	1.1.1 Непрерывная городская застройка	1.1.1.1 Многоэтажная застройка 1.1.1.2 Малоэтажная застройка
		1.1.2 Прерывная городская застройка	1.1.2.1 Многоэтажная застройка 1.1.2.2 Малоэтажная застройка 1.1.2.3 Частный сектор
	1.2 Индустриальный, коммерческий и транспортный модули	1.2.1 Индустриальные и коммерческие модули 1.2.2 Дороги и связанная с ними земля 1.2.3 Области порта 1.2.4 Аэропорты	
	1.3 Свалки и участки строительства	1.3.1 Минеральные участки извлечения (полезные ископаемые) 1.3.2 Участки свалки 1.3.3 Участки строительства	
Сельскохозяйственные области	1.4 Искусственные не-сельскохозяйственные области	1.4.1 Зеленые городские области (парки) 1.4.2 Спорт и области отдыха (досуга)	
	2.1 Пахотная земля	2.1.1 Неорошаемая пахотная земля 2.1.2 Постоянно орошаемая земля 2.1.3 Поля риса	
	2.2 Многолетние культуры	2.2.1 Виноградники 2.2.2 Сады и плантации ягоды 2.2.3 Оливковые рощи	
	2.3 Пастбища 2.4 Гетерогенные сельскохозяйственные области	2.3.1 Пастбища 2.4.1 Однолетние культуры с вкраплением многолетних 2.4.2 Сложные образцы культивирования 2.4.3 Земля, преимущественно занятая сельским хозяйством, с существенными областями естественной растительности 2.4.4 Области агролесничества	2.4.4.1 Лесозащитные полосы
Лес и полуприродные области	3.1 Леса	3.1.1 Лиственный лес 3.1.2 Хвойный лес 3.1.3 Смешанный лес	
	3.2 Кустарники и/или травяные ассоциации	3.2.1 Естественное поле — луг, сенокос 3.2.2 Пустоши, охотничьи угодья 3.2.3 Редкая растительность 3.2.4 Лесисто-кустарниковая местность	
	3.3 Открытые площади с незначительной растительностью	3.3.1 Берега, дюны, пески 3.3.2 Пустые без растительности камни 3.3.3 Редко поросшие области 3.3.4 Сожженные области 3.3.5 Ледники и вечные снега	

Окончание табл. 1

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4
Заболоченные земли	4.1 Внутренние заболоченные земли	4.1.1 Внутренние болота 4.1.2 Трясины торфа	
	4.2 Морские заболоченные земли	4.2.1 Соляные болота 4.2.2 Солончаки 4.2.3 Заливные области	
Водные объекты	5.1 Внутренние воды	5.1.1 Водные течения (проточная вода) — реки 5.1.2 Водные тела — водоемы	
	5.2 Морские воды	5.2.1 Прибрежные лагуны 5.2.2 Устья 5.2.3 Море и океан	

Выводы проекта LUCAS, а также некоторых других исследований, в частности [11, 12], были использованы при формировании цели и задач проекта, описываемого ниже.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА И НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ

Анализ существующих ограничений системы CORINE и возможных путей их преодоления показал, что необходимо повысить требования к исходной иконической информации (в частности, требуются космические снимки более высокого пространственного и спектрального разрешения) и более глубоко автоматизировать процессы обработки данных (создать технологию автоматизированной классификации).

Автоматизация классификации изображений предусматривает создание набора дешифровочных признаков для определения объектов класса, а также создание правил обработки и валидации данных, которые обеспечили бы устойчивость классификации и гарантировали бы качество конечного информационного продукта. Модель классификации должна иметь многоуровневую структуру классов земных покрытий для обеспечения требований пользователей различных уровней — европейского, национального, регионального, местного (локального).

Основной целью представляемого в статье проекта The Model and Automated Technology for Land Cover Classification (TLCC) является научное обоснование новых моделей обработки данных и создание автоматизированной техно-

Таблица 2. Требования в CORINE CLC-и TLCC-номенклатурах

Параметр	CORINE CLC-номенклатура	TLCC-номенклатура базовых классов
Ошибка координатной привязки к карте	100 м	70 м
Минимальная картируемая площадь	25 га для всех категорий	1 га для водных объектов, 5 га для других объектов
Минимальная ширина картируемых протяженных объектов	100 м	30 м
Общая точность классификации	>85 %	≥90 %

гии классификации земных покрытий [8, 9]. Разработанная технология базируется на использовании материалов многоспектральной космической съемки земной поверхности с детальностью 15–30 м. Конечный информационный продукт технологии — тематические карты территорий с номенклатурой объектов, принятой в системе классификации CORINE LCC.

Исследования и разработки проводились в период 2007–2008 гг. в рамках гранта INTAS по космическим технологиям при поддержке Национального космического агентства Украины и Космического агентства Франции (Le Centre National d'Etudes Spaciales — CNES) (INTAS Collaborative Call with CNES and NSAU on Space Technologies INTAS-06-1000024-9100).

Разработанная технология входит в состав информационного инструментария создавае-

мой в настоящее время в Украине межведомственной информационной системы GEO/UA (украинский сегмент GMES/Kopernikus) [5, 18, 20].

Исходя из поставленной цели, в рамках проекта были сформулированы следующие научные задачи:

- определить многоуровневую номенклатуру классов земных покрытий применительно к задачам регионального уровня;
- определить дешифровочные признаки для каждого элементарного класса земных покрытий и объектов сложных классов;
- разработать модели и алгоритмы предварительной обработки и классификации;
- создать многоуровневую модель классификационных процедур;
- разработать пост-классификационные модели;
- разработать методику валидации результатов классификации.

Ниже кратко изложены основные результаты, полученные в проекте.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Работы по выполнению поставленных в проекте задач были структурированы в шесть рабочих пакетов (WP).

WP1. Управление проектом. Управление проектом осуществлялось координатором от Евросоюза — Геоинформационной компанией Gisat. Техническим координатором работ выступало Государственное предприятие «Днепрокосмос».

WP2. Определение требований к номенклатуре и характеристикам классов. Многоцелевой характер использования земных покрытий обуславливает необходимость оптимизации структуры и характеристик классов. Оптимизация построена на разумном компромиссе между реальными возможностями автоматизированной классификации, интерпретационными возможностями космических снимков (размеры пиксела 15–30 м) и национальными требованиями к картированию земных покрытий. Исходя из этих соображений, в качестве базовых выбраны 22 класса из 44 CLC-классов [8], их названия даны в табл. 1 курсивом. При этом, как можно ви-

деть из табл. 2, задаются значительно более «жесткие» требования к минимальной картируемой площади. По результатам предварительных классификационных испытаний удалось выделить дополнительные классы 4-го уровня, представляющие интерес для региональных и локальных пользователей (четвертый столбец табл. 1).

Для реализации автоматизированной технологии классификации земных покрытий в качестве базовой программной среды проекта были выбраны средства ENVI [<http://www.itvis.com>] и Definiens [<http://www.definiens.com>].

В соответствии с имеющимся опытом разработку моделей классов группы 1 (искусственные поверхности) проводило ГП «Днепрокосмос» [1, 23], групп 2 (сельскохозяйственные земли) и 5 (водные объекты) — Институт агроэкологии УААН [20, 21], групп 3 (леса и полуприродные области) и 4 (заболоченные и непригодные для хозяйствования земли) — Научный центр аэрокосмических исследований Земли НАН Украины [4, 6, 17].

В проекте также участвовали сотрудники Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск (в части разработки новых моделей и алгоритмов предварительной обработки изображений) и Датского института сельскохозяйственных наук, г. Тьеле (в части разработки проекта классификации сельскохозяйственных земель).

WP3. Системный анализ и проектирование моделей обработки. Предложенная логическая модель обработки включает следующие группы операций:

- предварительная обработка данных;
- собственно классификация и пост-классификация;
- валидация результатов классификации.

В качестве основного источника данных ДЗЗ были использованы многоспектральные снимки ASTER, а именно, три канала видимого и ближнего ИК-диапазонов (VNIR) с размером пиксела 15 м и шесть каналов среднего ИК-диапазона (SWIR) с размером пиксела 30 м.

В рамках проекта были разработаны новые модели и алгоритмы предварительной обработки, которые обеспечивают:

- повышение пространственного разрешения данных ASTER в шести спектральных диапазонах SWIR до разрешения данных VNIR-диапазона. Для решения этой задачи авторами предложены две модели. Первая основана на расчете статистических характеристик спектральных сигнатур базовых классов земных покровов и апостериорных оценок вероятностей [10, 16]. Указанная модель используется для расчета нормализованных межканальных индексов (NSDI). Вторая модель основана на вейвлетных преобразованиях исходных спектральных яркостей и последующем синтезе изображения по критерию максимума сигнальной энтропии [14];

- выделение на снимке тематического слоя помеховых объектов (облака, тени от облаков) и тематического слоя протяженных линейных объектов типа дорог [1, 19, 23];

- определение оптимального подмножества NSDI, обеспечивающего максимальную разделимость сигнатур обучающих выборок;

- формирование дополнительных (виртуальных) спектральных каналов в синей области спектра (перед первым каналом аппаратуры ASTER) и в среднем ИК-диапазоне (за девятым каналом).

На основе предварительных классификационных испытаний для различных тестовых участков были предложены и апробированы дополнительно к данным ASTER устойчивые растровые слои:

- Variance b1 — нормированный текстурный индекс Variance для первого канала ASTER;

- NDVI — нормированный вегетационный индекс;

- NI 1-2 — нормализованный межканальный индекс, в данном случае межканальный индекс 1 и 2 каналов;

- WI — нормированный водный индекс (отношение суммы спектральных яркостей в первых двух каналах к сумме яркостей в 3–9 каналах);

- Road — изображение векторного слоя дорог.

Использование этих характеристик позволяет обеспечить полную или частичную инвариантность признаков к нежелательным аддитивным и мультипликативным искажениям, характерным для исходных спектральных яркостей.

Следует отметить, что для однородных площадных объектов произвольной формы, в основном природного происхождения («леса и полуприродные области» или «заболоченные территории»), основными дешифровочными признаками являются статистические характеристики многомерных полей спектральных яркостей или производные от них индексные характеристики. Поэтому определение подобных объектов возможно проводить на этапе предварительной обработки с использованием пиксел-ориентированных методов классификации, а именно метода максимального правдоподобия с обучением на тестовых участках, которые выбираются оператором. При этом в качестве дешифровочных признаков использовался оптимизированный набор относительно устойчивых нормализованных межканальных индексов (рис. 1).

Более общая и универсальная модель классификации основана на объектно-ориентированном анализе изображения (OBIA). Объектно-ориентированный анализ основан на том положении, что важная семантическая информация, необходимая для интерпретации изображения, содержится не в каком-либо отдельном пикселе, а в значимом объекте изображения, представленном полигоном однородных пикселей, и во взаимных отношениях между объектами [15].

Многоуровневая сегментация изображения позволяет сконструировать иерархическую структуру объектов изображения, от больших (на верхнем уровне) до мелких, вплоть до объектов пиксельного размера на самом низком уровне. При этом каждый объект на любом промежуточном уровне состоит из субобъектов, расположенных на более низких уровнях, и в то же время сам является субобъектом по отношению к объектам более высоких уровней (супер-объектам). Иерархические отношения «суперобъекты — объекты — субобъекты» являются важными дешифровочными признаками, например, при выделении объектов комплексных классов.

Процесс сегментации и последующей классификации может повторяться многократно, каждый раз со своим набором классов и новым набором признаков. Это открывает путь для

многошагового процесса классификации, начиная от объектов простых однородных классов (вода, лес, песок) и заканчивая объектами сложных и комплексных классов (городская застройка, смешанные леса, гетерогенные сельскохозяйственные области, порты и др.).

TLCC-технология на этапе объектно-ориентированного анализа использует многоуровневую сегментацию со значениями параметра масштабности объектов, равными 30, 10, 7, 5, 3, 2. Соответственно сегментированные изображения были получены на уровнях p30 (большие объекты), p10, p7, p5, p3, p2 (малые объекты). Для сегментации были использованы три первых спектральных канала с весом 1 и растровый тематический слой «дороги» с весом 3. Для всех уровней сегментации коэффициент формы принят равным 0.1, коэффициент компактности — 0.5.

Дальнейший объектно-ориентированный анализ данных включает многошаговый процесс классификации.

1-й шаг. Выделение водных объектов (класс 51) и протяженных вегетирующих объектов типа лесополос (класс 2441).

2-й шаг. Повторная сегментация сцены с использованием созданных тематических слоев 51 и 2441.

3-й шаг. Предварительная классификация сцены по набору вспомогательных классов.

4-й шаг. Выделение элементарных объектов (примитивов) для сложных комплексных классов, например классов городской застройки 111 и 112.

5-й шаг. Выделение объектов сложных комплексных классов в виде сборок примитивов в определенных пропорциях.

6-й шаг. Окончательная классификация по заданной номенклатуре классов путем сборки на одном иерархическом уровне объектов различных классов.

Примеры реализации указанных шагов представлены на цветной вкладке (см. последовательно рис. 2–5).

Объектно-ориентированный анализ используется также и для пост-классификации в TLCC-технологии, что предполагает:

- слияние соседних объектов одного класса в один объект;

- генерализацию мелких (с площадями, меньше чем минимально картируемая площадь объекта) соседних объектов разных классов в один объект по особым правилам, устанавливаемым пользователем.

В рамках проекта предложена унифицированная модель пост-классификации для различных приложений, основанная на понятиях приоритетного класса и матрицы ранговых предпочтений.

WP4. Реализация модели классификации. Основной целью этой задачи является следование схеме классификации, правилам и методам, которые являются результатом выполнения задачи WP3. В рамках проекта были разработаны и апробированы новые модели и алгоритмы, в том числе:

- девять программных модулей для предварительной обработки,

- более 30 функций для описания дешифровочных признаков.

Был также создан и отработан по результатам классификационных испытаний пакет проектной, программной и эксплуатационной документации в следующем составе поставочных продуктов:

1. INTAS-06-1000024-9100/ D2 TLCC Nomenclature: object based structure and characteristics of classes, 2008.—47 p.

2. INTAS-06-1000024-9100/D3.1 Common classification model, 2008.—33 p.

3. INTAS-06-1000024-9100/D3.2 Preprocessing & polygon delineation. Models and algorithms, 2008.—40 p.

4. INTAS-06-1000024-9100/D3.3 Post-classification model and algorithms, 2008.—23 p.

5. INTAS-06-1000024-9100/D3.4 Logical schema of overall data processing (TLCC model), 2008.—28 p.

6. INTAS-06-1000024-9100/D4.1 New Program Modules, 2008.—45 p.

7. INTAS-06-1000024-9100/D4.2.1 TLCC user's guide «Pre-processing with ENVI», 2008.—44 p.

8. INTAS-06-1000024-9100/D4.2.2 TLCC user's guide «Classification» with Definiens, 2008.—60 p.

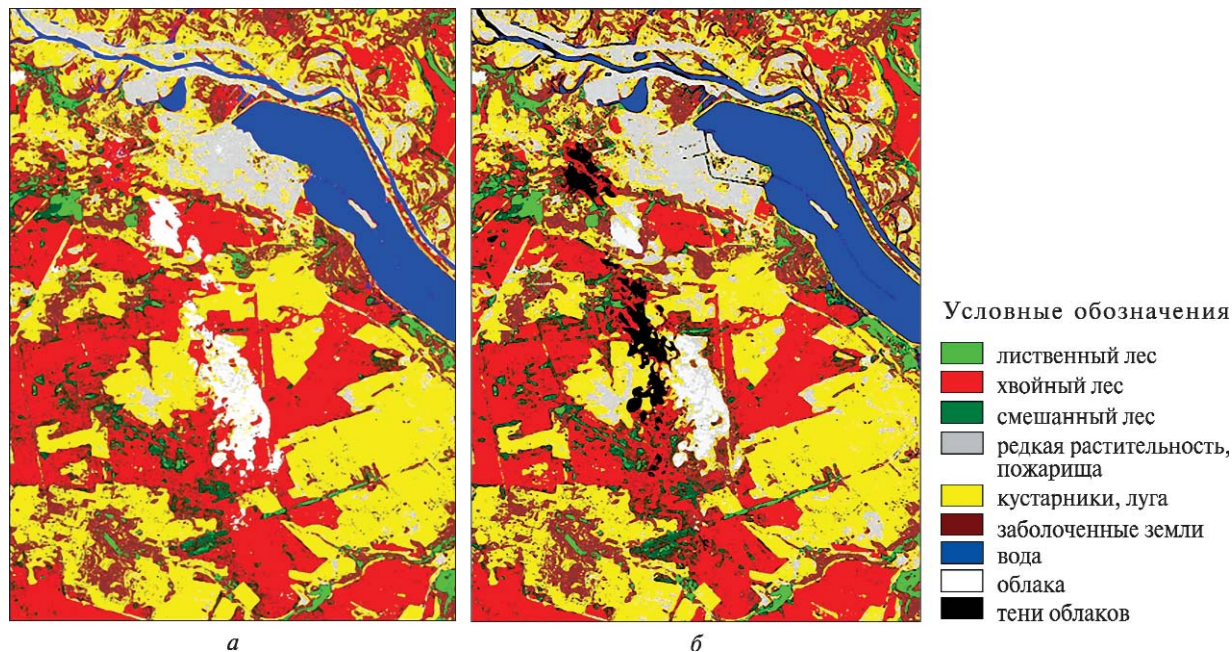


Рис. 1. Результаты автоматизированной классификации в пределах Чернобыльского полигона: по сигнатурам на основе полного набора нормализованных индексов (*а*), по сигнатурам на основе спектральных яркостей (*б*).

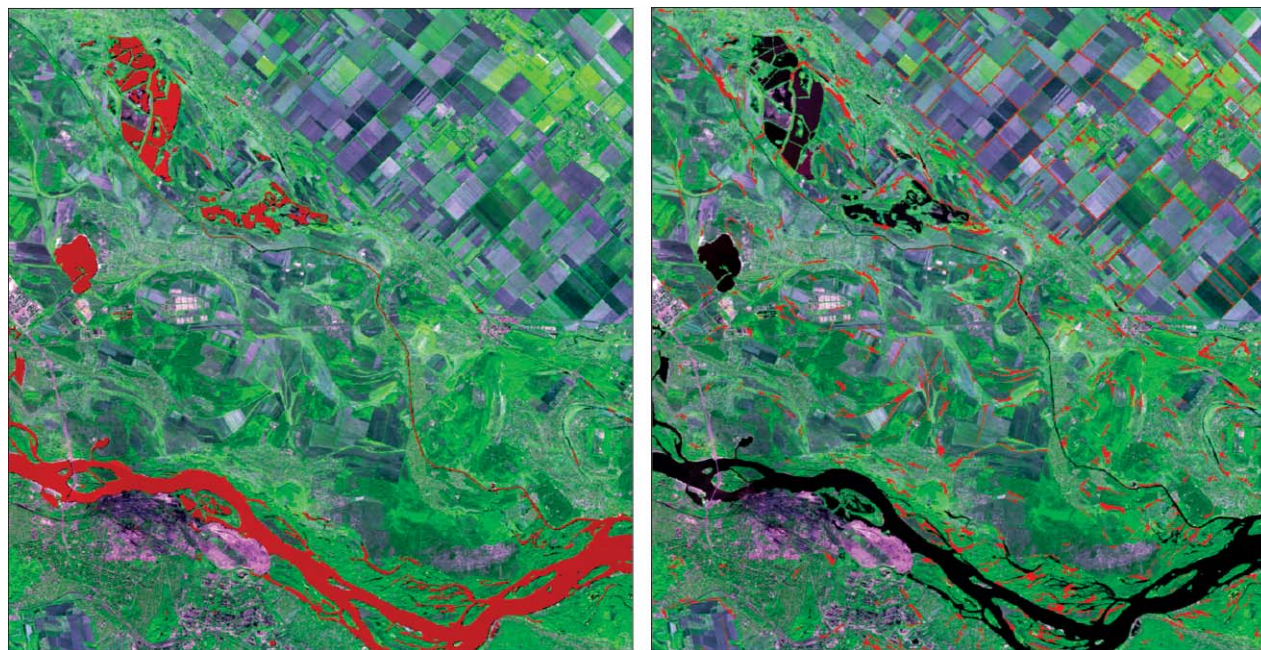


Рис. 2. Шаг 1: класс водных объектов выделен красным цветом (слева); класс лесозащитных полос выделен красным цветом (справа)

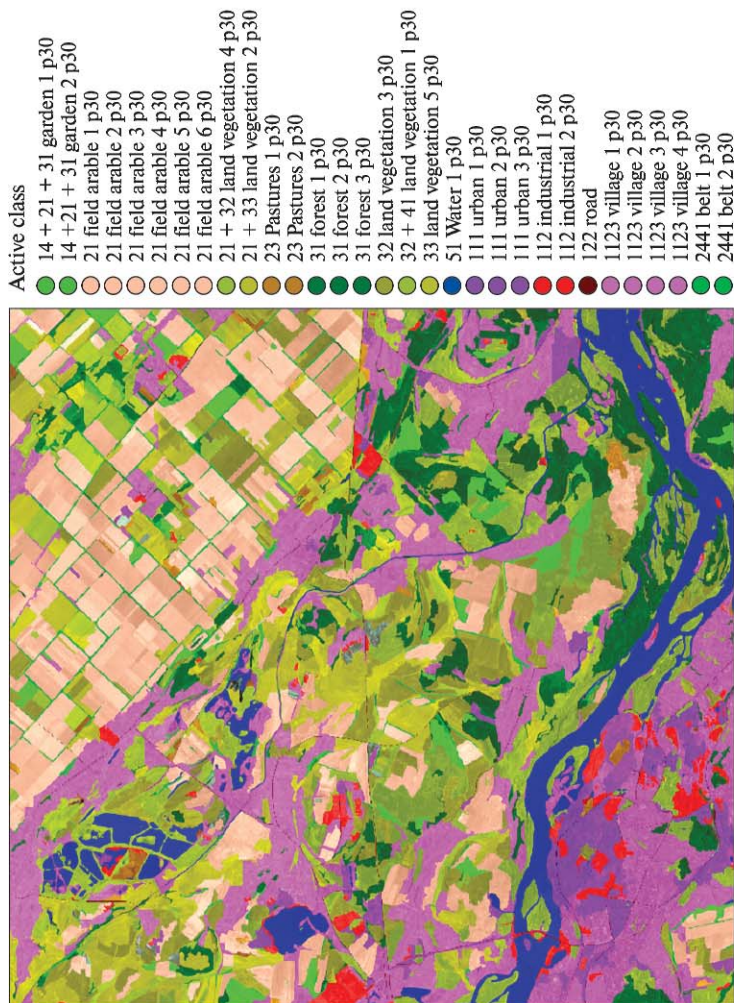


Рис. 3. Шаг 3: результат предварительной классификации



Рис. 4. Шаг 4: результат классификации урбанизированной территории (элементы застройки)

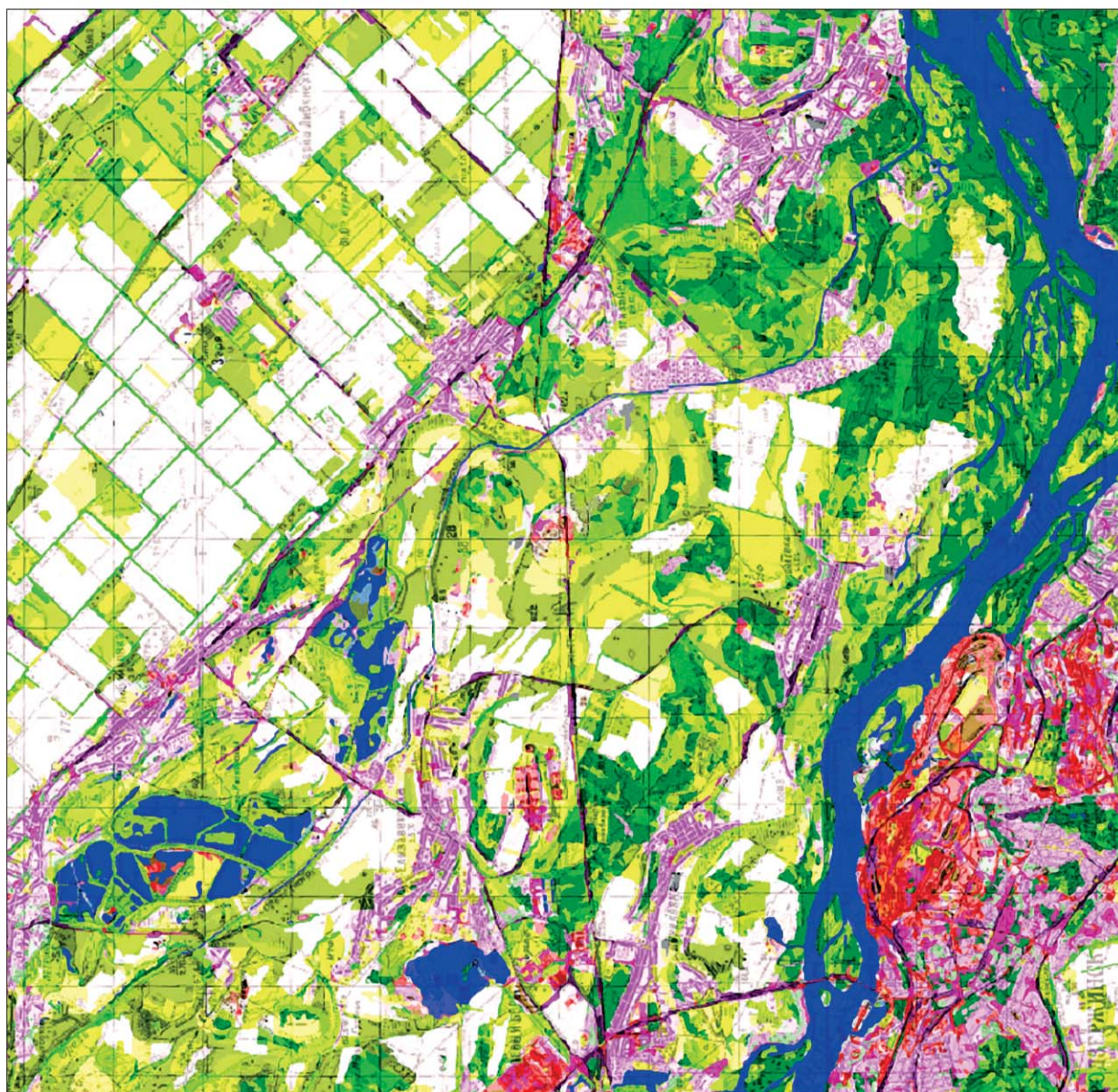


Рис. 5. Шаг 6: тематическая карта земельных покрытий (совмещена с топографической картой)

9. INTAS-06-1000024-9100/D4.2.3 «Post-Classification» TLCC user's guide, 2008.—12 p.

10. INTAS-06-1000024-9100/D5.1a TLCC Validation Technique, 2008.—13 p.

11. INTAS-06-1000024-9100/D5.1b TLCC Validation Guide, 2008.—21 p.

12. INTAS-06-1000024-9100/D5.2 The summary report on classification trials realization, 2008.—49 p.

WP5. Проведение классификационных испытаний и обработка технологий. В рамках этой задачи была разработана и апробирована методика валидации результатов классификации земных покрытий и соответствующее руководство пользователя.

Классификационные испытания проводились в два этапа. На первом (предварительном) этапе для различных тестовых участков проводилась отработка проектных моделей и эксплуатационной документации.

Предварительные классификационные испытания на отдельных тестовых участках показали следующее.

1. Решающие правила для объектно-ориентированной классификации работают достаточно устойчиво. При выделении простых однородных классов (вода, песок) целесообразно проводить в интерактивном режиме настройку порогов решающих правил (без изменения самих правил).

2. Точность пиксел-ориентированной классификации для классов природных объектов «леса и полуприродные области» и «заболоченные территории» составляет около 88 %.

3. Для формирования устойчивых слоев изображения рекомендовано использовать преобразования к нормированным межканальным индексам как более физически обоснованный метод слияния каналов (по сравнению с вейвлетными преобразованиями).

4. Качество сегментации изображения существенно улучшается при использовании отдельных тематических слоев; в частности, в данной модели был использован тематический слой дорог.

На заключительном этапе классификация проводилась по единой согласованной и документированной технологии.

Оценка точности классификации была проведена на основе [3, 7, 13] с использованием заверочных точек. Вначале был выполнен расчет количества репрезентативных точек. Точки были случайно расположены в пределах классифицированной области с учетом равномерного охвата каждого класса.

По результатам сравнения с заверочными данными построены матрицы ошибок, что позволило оценить точность автоматизированного выделения различных классов и общую точность классификации для рассматриваемых тестовых участков [3].

Общая точность классификации составляет 88.36...92.28 %, коэффициент Карра 0.87... 0.91.

WP6. Распространение результатов. 1. Промежуточные и окончательные результаты работ по проекту публиковались в научной периодике и докладывались на международных конференциях в Австрии (Грац), Венгрии (Цеглед), Словении (Марибор), Беларуси (Минск), Германии (Потсдам), Украине (Киев, Днепропетровск, Ялта, Алушта). На одну из разработок в рамках проекта получен патент на изобретение [2].

2. За время выполнения проекта подготовлены презентации и проведены встречи с потенциальными пользователями: Украинская академия аграрных наук, Министерство аграрной политики, Государственная служба геодезии, картографии и кадастра, Государственный комитет лесного хозяйства.

4. Проведено три семинара со специалистами компании Rapid Eye AG (Германия), располагающей собственной действующей группировкой из пяти спутников для оптических наблюдений Земли. Между ГП «Днепрокосмос» и компанией Rapid Eye AG подписан Меморандум о долгосрочном сотрудничестве в области использования материалов космических съемок и создания соответствующих технологий [<http://www.rapideye.de/home/pres-release-archive/>]. В настоящее время этими организациями подготовлены и находятся на согласовании предложения по реализации совместных пилотных проектов в области:

- сельского хозяйства (с участием институтов УААН);

• картографии (с участием Института геодезии и картографии).

Предусматривается, что в обоих проектах будут использоваться TLCC-технологии. Настоящую статью также можно рассматривать как шаг в реализации задачи WP6.

Дальнейшие направления развития TLCC-технологии предполагают:

1. адаптацию технологии TLCC к данным от перспективных КС «Сич-2», «RapidEye», «Sentinel-2»;

2. адаптацию технологии TLCC к данным дистанционного зондирования высокой разрешающей способности (IKONOS, «QuickBird», «GeoEye»);

3. стандартизацию спецификации классов земных покрытий для Украины;

4. создание на основе технологии TLCC специализированных информационных служб в области картографии, сельского и лесного хозяйства как элементов системы GEO-UA;

5. координацию собственных разработок и проектов в области дистанционного зондирования Земли и исследований земных покровов с европейскими партнерами в рамках действующих международных проектов (GMES/Copernicus, GEOSS, LMCS, GeoLand, INTERREG, INSPIRE и др.).

ВЫВОДЫ

1. Выполненный проект «Модель и автоматизированная технология классификации земных покрытий» является важным шагом в создании межведомственной информационной системы GEO-UA и развитии международного сотрудничества в этой сфере деятельности.

2. Разработанный в рамках проекта комплект поставочной документации по TLCC-технологии открывает хорошие перспективы ее использования в самых разных областях народного хозяйства, а также при решении научных задач.

1. Бушуев Е. И., Волошин В. И., Паршина О. И. Модель классификации земных покровов в управлении территорией // Матер. IV-й междунар. науч.-прак. конф. «Проблемы природопользования, устойчивого развития и техногенной безопасности регионов». — Днепропетровск, 2007. — С. 26–27.

2. Пат. України на винахід № 81195. Спосіб підвищення спектральної розрізненості багатоспектральних аерокосмічних зображень / М. О. Попов, С. А. Станкевич, А. О. Козлова. — 2007. — 12 с.

3. Попов М. А. Методология оценки точности классификации объектов на космических изображениях // Проблемы управления и информатики. — 2007. — № 1. — С. 97–103.

4. Попов М. А., Сахацкий А. И., Станкевич С. А., Козлова А. А. Автоматизированная контекстная классификация заболоченных территорий по материалам космической съемки // 36. матер. XII міжнар. наук.-техн. симп. «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS- і GIS-технології». — Алушта: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2007. — С. 72–75.

5. Попов М. А., Станкевич С. А., Подорван В. Н. Программно-технологический подход в задаче классификации земных покровов на основе гиперспектральных космических снимков // Матер. Першої наук. конф. «Науки про Землю та космос — суспільству». — Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 2007. — С. 122.

6. Попов М. А., Станкевич С. А., Сахацкий А. И., Козлова А. А. Использование полного набора нормализованных межканальных индексов многоспектральных космических изображений при классификации покрытий ландшафта // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. — 2007. — 20 (59), № 1. — С. 175–182.

7. 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.

8. Соукап Т., Бушуев Е., Попов М. и др. Номенклатура базовых классов земных покрытий и основные подходы к их автоматизированной классификации по данным дистанционного зондирования // Матер. XII междунар. науч.-прак. симп. «Геоинформационный мониторинг окружающей среды: GPS- и GIS-технологии», 10–15 сентября 2007. — Алушта, 2007. — С. 38–39.

9. Соукап Т., Бушуев Е., Попов М. и др. Модель и технология автоматизированной классификации земных покрытий по данным дистанционного зондирования // Матер. III Белорусского космич. конгресса, 23–25 октября 2007, Минск. — Минск: ОИПИ НАН Белоруссии, 2007. — С. 214–219.

10. Станкевич С. А., Сахацкий О. І., Козлова А. О. Класифікування покриттів ландшафту з використанням повного набору нормалізованих міжканальних індексів і додаткових контекстуальних ознак // Космічна наука і технологія. — 2008. — 14, № 2. — С. 28–31.

11. Bossard M., Feranec J., Otahel J. The revised and supplemented Corine Land Cover nomenclature // Techn. Rept EEA. — 2000. — N 38. — 110 p.

12. Büttner G., Feranec J., Jaffrain G., et al. The CORINE Land Cover 2000 Project // EARSeL Proceedings 3(3). — 2004. — P. 331–346.
13. Congalton R. G., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. — CRC Press, Taylor & Francis Group, 1999. — 137 p.
14. Korchinsky V. M., Voloshyn V. I. The Novel Method for Improvement of Information Density in Satellite-acquired Multispectral Images // ISDE-2008 Summit, Potsdam, Germany, 14–17 November, 2008. — CD.
15. Navulur K. Multispectral Image analysis using the object-oriented paradigm. — N.Y.: CRC Press, 2007. — 166 p.
16. Popov M. A., Stankevich S. A., Sakhatsky A. I., Kozlova A. A. Multispectral imagery normalized band-difference indexes for land cover classification // Proceedings of ISDE 2008 Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research. — Potsdam: Wichmann Verlag, 2008. — P. 333–338.
17. Popov M. A., Stankevich S. A., Sakhatsky A. I., Kozlova A. A. Land cover contextual classification using space imagery for wetland and forest monitoring // Proceedings of the United Nations/Austria/European Space Agency Symp. «Space Tools and Solutions for Monitoring the Atmosphere and Land Cover»; Graz (Austria), 9–12 September, 2008. — Graz, 2008.
18. Soukup T., Bushuyev Ye., Popov M., et al. Technology of automated land cover classification based on the remote sensing data // 1st Workshop GMES Twinning Ukraine, Kiev, 26–27 November, 2008. — CD.
19. Starovoitov V., Makarau A. Multispectral Image Pre-Processing for Interactive Satellite Image Classification // ISDE-2008 Summit, Potsdam, 14–17 November, 2008. — CD.
20. Tarariko O., Syrotenko O. Monitoring and Forecasting of Agri-resources by Means of Remote Sensing of the Earth (AGROKOSMOS) // 1st Workshop GMES Twinning Ukraine, Kiev, 26–27 November, 2008. — CD.
21. Tarariko O., Syrotenko O., Grekov V. Net of the Agrarian Testing Polygons in System of Remote Monitoring of Agrarian Resources in Ukraine // ISDE-2008 Summit, Potsdam, 14–17 November, 2008. — CD.
22. The thematic accuracy of Corine land cover 2000. Assessment using LUCAS (land use/cover area frame statistical survey) // Techn. Rept. EEA. — 2006. — N 7. — 85 p. — (www.eea.europa.eu).
23. Voloshyn V. I., Bushuyev Y. I., Stefanishin Y. I. Role of remote sensing of the Earth in development of a national infrastructure of the spatial data. // Proceedings of the Conference INSPIRE-2008, Maribor, Slovenia, 23–25 June, 2008. — CD.

Поступила в редакцію 20.02.09

L. Brodsky, E. I. Bushuev, V. I. Voloshin, A. A. Kozlova, O. I. Parshina, M. A. Popov, V. I. Sablina, A. I. Sakhatskii, A. V. Sirotenko, T. Soukup, S. A. Stankevich, A. G. Tarariko

THE INTAS PROJECT FOR THE ELABORATION OF AUTOMATED TECHNOLOGY OF LAND COVER CLASSIFICATION: THE SCIENTIFIC PROBLEMS, MAIN RESULTS AND PROSPECTS

The basic results of the INTAS project devoted to the automated technology of land cover classification are presented. The project was carried out in 2007–2008 and was supported by the National Space Agency of Ukraine and the Space Agency of France (Le Centre National d'Etudes Spaciales). Multispectral space imagery of land surface with details from 15 to 30 m makes the basis of the developed technology. The end information products of the developed technology are earth site maps with the object nomenclature harmonized with the CORINE Land Cover Classification System.