

**УДК 502:71**

**Использование ГИС и данных дистанционного зондирования для мониторинга застроенных территорий**

**Л.В.Гурьянова**

Опыт мировой практики показывает, что эффективный и оперативный мониторинг застроенных территорий возможен на использовании технологий ГИС (географических информационных систем), в которых пространственная информация базируется на приеме и обработке космических снимков высокого и среднего разрешения. Преимущества летательных платформ, на которых установлены современные сенсоры наблюдения за земной поверхностью, обеспечивают получение оперативной цифровой информации при чрезвычайных ситуациях на территории города, когда в режиме реального времени на экране компьютера можно произвести инвентаризацию полностью разрушенных или сильно пострадавших зданий и сооружений, рассчитать, по компьютерным базам данных объектов недвижимости, ущерб. На космоснимках высокого разрешения хорошо дешифрируются несанкционированные свалки в городской черте и несанкционированные разработки карьеров в пригородной зоне и другие нарушения городского регламента, состояние жилой и коммерческой недвижимости (коттеджное строительство, реконструкция ветхого жилого фонда и др.), промышленных объектов и их инфраструктуры, дорожно-мостового хозяйства, трубопроводов, опор линий электропередач.

В Европейских странах региональный космический мониторинг урбанизированных территорий является составной частью проекта CORINE (Coordination of information on the environment). Методика работы основывается на обработке спутниковых изображений (Landsat и Spot) с визуальной и автоматизированной интерпретацией, оцифровкой, интеграцией в единую базу данных ГИС. В Республике Беларусь основная информация по структуре землепользования содержится в земельных информационных системах (ЗИС), при создании которых, в отличие от проекта CORINE, в основном традиционно используются аэроортофотопланы, которые дешифрируются и оцифровываются на базе специального республиканского классификатора кодов земель. Однако с вводом в действие белорусской системы космического мониторинга, роль спутниковых снимков будет возрастать при решении вопросов территориального планирования и управления. В этой связи рассмотрим более подробно основные подходы к выполнению регионального мониторинга урбанизированных территорий на основе

спутниковых данных среднего разрешения на примере европейского проекта CORINE и опробуем методические подходы на примере обработки мультиспектрального космоснимка спутника Landsat по состоянию на 18 августа 2001 г. [1].

В рамках проекта CORINE в рабочем масштабе 1:100000 составляются карты структуры земель с использованием трехуровневого классификатора категорий земель (первый уровень – 5, второй уровень – 15, третий уровень – 44 категории), **таблица 1**. Как следует из данной таблицы, основные категории земель первого уровня отражают общепланетарную схему использования земель; соответственно, второй уровень предназначен для идентификации 15 категорий использования земель в масштабе 1:500000 и 1: 1 000000; третий уровень – с 44 категориями используется при выполнении проектов в масштабе 1: 100000.

Для компьютерной обработки структуры землепользования в качестве территориальной операционной единицы (ТОЕ) принимается единица местности (unit size area), которая обладает следующими основными характеристиками: территориальная операционная единица должна быть гомогенная или представлять комбинацию элементарных областей, для которых в целом можно указать на единое целевое назначение; ТОЕ должна представлять в метрическом отношении значимую территорию с выраженными границами по отношению к соседним ТОЕ; хозяйственное использование земель в ТОЕ должно быть достаточно стабильным во времени для обеспечения более точного сбора информации.

В рабочем масштабе 1:100000 минимальной единицей измерения на местности является квадрат в 25 гектаров, который на бумажной карте 1:100000 представлен квадратом 5 x 5 мм или кругом с радиусом в 2.8 мм и ширина дешифрируемого объекта должна быть не менее 100 м.

В целом технологическая цепочка обработки данных Landsat TM включает традиционную последовательность шагов: Destriping (т.е. процедуру статистического усреднения - устранение полос); удаление артефактов путем фильтрации изображения; геометрическую коррекцию; спектральную комбинацию каналов (4,5,3 или 4,3,2) для получения синтезированных мультиспектральных изображений в псевдоцветах; изготовление космокарт на бумажных носителях в масштабе 1:100 000 или 1:250000.

## Категории земель трех уровней по номенклатуре CORINE

<http://reports.eea.europa.eu>

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	
1. Антропогенные объекты	1.1. Городские земли	1.1.1. Населенные пункты с плотной застройкой	
		1.1.2. Населенные пункты со свободной застройкой	
	1.2. Земли промышленности, коммерческих объектов и транспорта	1.2.1. Промышленные или коммерческие объекты	
		1.2.2. Земли дорожного и железнодорожного хозяйства	
		1.2.3. Порты	
		1.2.4. Аэропорты	
	1.3. Земли под шахтами, свалками и строительными объектами	1.3.1. Карьеры и открытые рудники	
		1.3.2. Свалки	
		1.3.3. Строительные площадки	
	1.4. Искусственные несельскохозяйственные земли	1.4.1. Зеленые зоны городов	
		1.4.2. Земли для спорта и отдыха	
	2. Сельскохозяйственные земли	2.1. Обрабатываемая земля	2.1.1. Неорошаемые земли
			2.1.2. Орошаемые земли
			2.1.3. Рисовые поля
2.2. Сады, плантации и виноградники		2.2.1. Виноградники	
		2.2.2. Фруктовые и ягодные плантации	
		2.2.3. Оливковые рощи	
2.3. Пастбища		2.3.1. Пастбища	
2.4. Разнородные сельскохозяйственные объекты		2.4.1. Чередование пашни и многолетних культур	
		2.4.2. Сельскохозяйственные земли комплексного использования (пашня, пастбища, сады, плантации)	
		2.4.3. Сельскохозяйственные земли со значительными участками естественной растительности	
		2.4.4. Лесопитомники	

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
3.Леса	3.1.Леса	3.1.1.Широколиственные леса
		3.1.2.Хвойные леса
		3.1.3.Смешанные леса
	3.2.Кустарниковая растительность и/или травяные ассоциации	3.2.1.Естественные травяные ассоциации
		3.2.2.Растительные сообщества из кустарников и трав
		3.2.3.Средиземноморская растительность
		3.2.4.Переходная древесно-кустарниковая растительность
	3.3.Открытые пространства с небольшим количеством растительности или ее отсутствием	3.3.1.Дюны, пески
		3.3.2.Голые скалы без растительности
		3.3.3.Редкая растительность
		3.3.4.Пожарища
		3.3.5.Ледники и постоянно заснеженные области
	4.Внутренние болота	4.1.Болота
4.1.2.Торфяные болота		
4.2.Береговые болота		4.2.1.Соленые болота
		4.2.2.Лиманы
		4.2.3.Приливно-отливные области
5.Водные объекты		5.1.Внутренние воды
	5.1.2.Озера	
	5.2.Морские воды	5.2.1.Береговые лагуны
		5.2.2.Эстуарии
		5.2.3.Моря и океаны

Поскольку для потребителя снимки Landsat ETM+ поставляются в формате GEOTIFF, что подразумевает их первичную привязку в системе координат UTM на эллипсоиде WGS-84, то эта привязка приближительна с точностью около 200 м на местности. В этой связи более точную привязку обеспечивает ввод дополнительных опорных точек, координаты которых определяются или по крупномасштабным картам и схемам или непосредственно на местности с использованием систем спутникового позиционирования. Также с целью усиления чёткости мультиспектрального изображения возможно использование пространственного разрешения панхроматического изображения (15 м).

Фотоинтерпретация спутниковых снимков является процессом экстраполяции, основанном на интерактивных элементах управления. В процессе

фотоинтерпретации на синтезированном в псевдоцветах изображении выделяются границы полигонов, которые включают земли согласно классификатору CORINE, **таблица 1**. В процессе уточнения границ полигонов необходимо использовать максимальное количество дополнительных источников информации (топографические карты, схемы, статистические материалы, аэрофотоснимки) и индивидуальные признаки области (цвет, структура и текстура), чтобы правильно идентифицировать земельный участок и присвоить ему соответствующий код.

Для повышения достоверности дешифрирования необходимо придерживаться следующей комбинации каналов спутника при прорисовке изображения в псевдоцветах на мониторе компьютера в цветовой палитре RGB: зеленый спектральный канал – синий канал цветовой палитры RGB; красный – зеленый; ближний инфракрасный – красный. В общем в псевдоцветном космоснимке следующие цвета и оттенки можно интерпретировать в следующем порядке, **таблица 2**.

*Таблица 2*

#### **Интерпретация цветов в псевдоцветном космоснимке**

Характер земельного покрытия	Псевдоцвет в изображении
Городские земли	Синий (темный или более светлый - или ровный белый - согласно строительной плотности)
Карьеры, строительные площадки, голые скалы, песок, дюны	Белый
Автомобильные и железные дороги	Темно-синий, серый
Ледники, облака, постоянно заснеженные области	Белый, голубовато-белый
Солевые болота	Белый, серый
Водные объекты	Черный, зелено-синий (темный или более светлый в соответствии с глубиной и мутностью воды)
Посевы однолетних культур	Красный (посевы), серо-розовый (убранные посевы после урожая) и сине-белый (распаханная земля)
Постоянные посевы	Красно-розовый
Широколиственные леса	Ярко-красный
Хвойные леса	Коричнево-красный
Луга и травяные угодья	Яркий розовый, красный
Болота	Черный или очень темно красный
Пастбище	Серо-желтый, серо-розовый, коричневый
Пожарища	Черный, темно серый, голубоватый

На космоснимках Landsat городские земли являются достаточно гомогенными областями и достаточно хорошо дешифрируются, однако в небольших населенных пунктах с преобладанием частного сектора, городские земли достаточно гетерогенны и их идентификация определяется совокупностью косвенных признаков и привлечением дополнительных источников информации. Например, для идентификации антропогенных объектов можно привлекать такие приемы, как вспомогательные данные (топографические карты, аэрофотосъемка, спутниковые данные других сенсоров) или выполнять дополнительную обработку изображения (расчет вегетационного индекса, выполнение метода главных компонент, фильтрацию изображения, повышение контрастности изображения).

На подготовительном этапе перед процессом автоматизированной фотоинтерпретации изображений визуально выявляются основные урбанизированные территории и населенные пункты с использованием синтезированных мультиспектральных изображений и топографических карт масштаба 1:100000.

Цвет идентифицируемых полигонов в зависимости от плотности растительности, уклона, ориентации может быть светлым, темным, бледным, переменным. Размеры идентифицируемых объектов могут быть небольшими (менее чем 1 кв. км), средними (между 1 и 5 кв. км), большими (более 5 кв. км).

При анализе текстуры изображения, т.е. размещении пикселей других цветов и оттенков, можно выделить следующие конфигурации текстуры, в зависимости от избирающих элементов: малая - менее 50 м, средняя - от 50 до 250 м, грубая - более 250 м, а также плавная и видимая. В зависимости от пространственных свойств идентифицируемых полигонов структуры объектов могут быть гомогенные, линейные, ячеистые, нерегулярные, в крапинку, спагетти.

Для идентификации и мониторинга урбанизированных территорий наибольший интерес представляют номенклатуры CORINE категории «Антропогенные объекты», т.е. номенклатуры от 1.1.1 до 1.4.2. В этой связи рассмотрим основные дешифровочные признаки необходимых нам номенклатур земель.

Например, населенные пункты с плотной застройкой (номенклатура 1.1.1) характеризуются как земли, поверхность которых наиболее плотно закрыта постройками и транспортной сетью. Строения, дороги и искусственные покрытия занимают более 80% общей площади. Нелинейные области под зеленой растительностью и чистой почвой на открытых пространствах на землях данной номенклатуры – явление исключительно редкое.

Соответственно, населенные пункты со свободной застройкой с номенклатурой 1.1.2 характеризуются структурой земель, где постройки, дороги и искусственные покрытия сочетаются с открытыми пространствами. Застройка может быть представлена небольшими двух- или трехэтажными многоквартирными домами, индивидуальными домами, садами, улицами и парками, где каждый из этих элементов имеет площадь менее чем 25 га. В структуре земель постройки, дороги и другие антропогенные объекты занимают от 50 до 80% общей площади выделяемого полигона. В номенклатуру не входят отдельные сельскохозяйственные постройки или разбросанные по территории отдельные усадьбы.

К номенклатуре 1.2.1 относятся постройки объектов промышленности или коммерции. Значительная часть этих полигонов занята каменными строениями, покрытиями из цемента, асфальта или других искусственных материалов с незначительными участками растительности. Текстура полигонов достаточно разнородна, поскольку включает различные хозяйственные комплексы, например, сопутствующие автомобильные парки, подъездные дороги. Отдельные крупные промышленные или коммерческие комплексы с площадью более 25 га объединяются в данную номенклатуру, даже если они располагаются в границах городских земель. В число объектов, располагающихся на землях данной номенклатуры, включаются санатории, больницы, дома отдыха, военные базы, образовательные учреждения, университетские комплексы, коммерческие центры и связанные с ними второстепенные сопутствующие объекты с размерами менее чем 25 га. На полигонах данной категории могут размещаться цементные заводы, прудовые хозяйства, агропромышленные комплексы. Однако тепличные комплексы не относятся к данной номенклатуре земель.

Земли, на которых располагаются объекты автодорожной и железнодорожной сети и их инфраструктуры (станции, платформы, дорожные насыпи) относятся к номенклатуре 1.2.2. Минимальная ширина для включения объектов в номенклатуру составляет 100 м, а общая поверхность площади полигона должна быть не менее 25 га. В связи с тем, что в реальной обстановке на местности инфраструктура транспорта в целом оценивается по ширине менее чем 100 м, то при региональном космическом мониторинге земли этой номенклатуры формируются в основном за счет идентификации больших дорожных развязок и их инфраструктуры. Транспортные коммуникации с шириной менее 100 м, которые размещаются в промышленных комплексах или городе, отдельно не выделяются, а входят в состав

соответствующих промышленных или городских полигонов. Линии электропередач не включаются в земли данной номенклатуры.

К номенклатуре 1.2.3 относятся земли речных и морских портов и их инфраструктурой (причалы, верфи и т.д.), соответственно, к номенклатуре 1.2.4 - сооружения аэропортов (взлетные полосы и инфраструктура: офисы, терминалы, ангары, мастерские, склады, запасы горючего, автомобильные парки, искусственные посадки травы, если они составляют общую площадь не менее 25 га). Площадки для вертолетов также включаются в эту категорию, если они охватывают территорию не менее 25 га.

Земли занятые карьерными разработками по открытому способу добычи (песчаные карьеры, добыча гравия или других строительных материалов) идентифицируются как номенклатура 1.3.1. В данную категорию не входят участки речного извлечения строительных материалов (например, песчано-гравийных смесей и др.), однако включаются как разрабатываемые карьеры, так и не используемые, а также затопленные водой, которые сопровождаются нарушенным растительным покровом. В эту номенклатуру также включаются строения и сопутствующая карьерным разработкам промышленная инфраструктура (например, цементный завод), а также небольшие технические водоемы с площадью менее 25 га.

К землям номенклатуры 1.3.2 относятся как промышленные, так и бытовые свалки с площадью не менее 25 га. Если площадь занимаемая свалкой составляет менее 25 га и она располагается около соответствующего промышленного объекта (например, лесопилки), то она входит в состав номенклатуры 1.2.1 (промышленные и коммерческие объекты).

Земли под строительными площадками или какими-либо другими земляными работами с площадью не менее 25 га идентифицируются как земли номенклатуры 1.3.3. К данной номенклатуре не относятся мелиорируемые земли (т.е. земли, на которых проводятся мероприятия по увеличению дренированности территории или повышению ее плодородия и т.д.).

Зеленые зоны городов, включая парки, кладбища с растительностью, особняки с парковыми комплексами с площадями более 25 га относятся к номенклатуре 1.4.1.

Земли, занятые спортивными объектами и их инфраструктурой, в том числе площадками для гольфа, конно-спортивные комплексы со скаковыми дорожками, комплексы для технических видов спорта (мотокросс и др.), а также отдельными парковыми комплексами вне городской черты идентифицируются как земли номенклатуры 1.4.2. Горонолыжные курорты идентифицируются как городские

земли, но их удаленная спортивная инфраструктура может быть отнесена к данной номенклатуре.

Также, если в пределах городской черты располагаются крупные водные объекты или болотные массивы, шириной не менее 100 м или площадью не менее 25 га, то они также идентифицируются как соответствующие номенклатуры согласно данным таблицы 1.

После окончательного дешифрирования, идентификации и проверки правильности распознавания объектов на исследуемой территории были установлены границы всех объектов, которые идентифицируются по номенклатурам CORINE и указываются их метрические характеристики. Например, после дополнительных уточнений с использованием вспомогательных материалов классификационная карта г.Дзержинска и его окрестностей принимает следующий вид, **рисунок 1.**

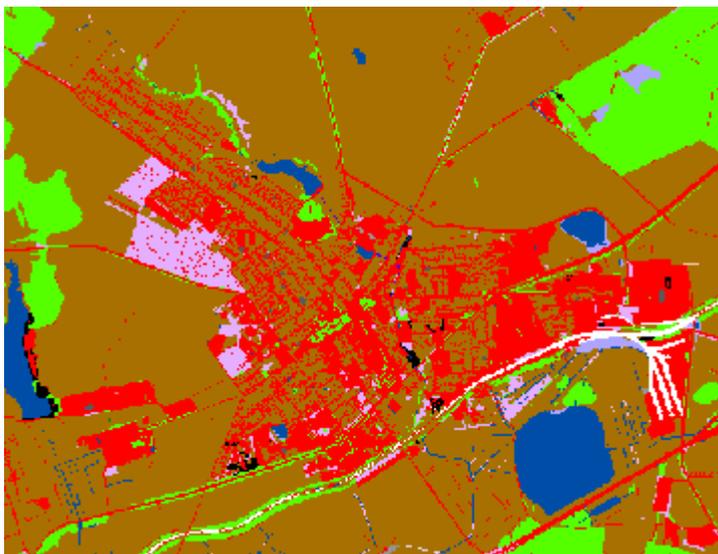


Рисунок 1 – Идентификация объектов г.Дзержинска и его окрестностей по номенклатуре CORINE (1 уровень) после дополнительной обработки (фрагмент)

Необходимо отметить, что следующий этап развития проекта CORINE начался в 2000 г. и включает работы по постановке технологии получения автоматизированной идентификации спутниковых данных с использованием номенклатур CORINE и получения растровых классификационных карт. По итогам автоматической классификации в европейских государствах составляется национальная растровая база данных номенклатур земной поверхности с размером пиксела 25х 25 метров. Например, опыт Финляндии показывает, что общая точность выявления номенклатур первого уровня составляет почти 90%, на втором уровне – почти 81%, на третьем уровне классификации – около 70% с ошибкой по геопривязке около 12,9 м спутниковых снимков.

Например, на мультиспектральном снимке Landsat-7 ETM+ для территории Дзержинского района (с улучшением пространственного разрешения до 15 м) с привлечением вспомогательного материала устойчиво интерактивно дешифрируются земли из списка номенклатур 1 и 2 уровня классификации CORINE. Выполнение автоматизированной классификации с обучением в ERDAS Imagine 8.5 позволяет получить растровую классификационную карту с детализацией 1 уровня классификации CORINE, **рисунок 2.**

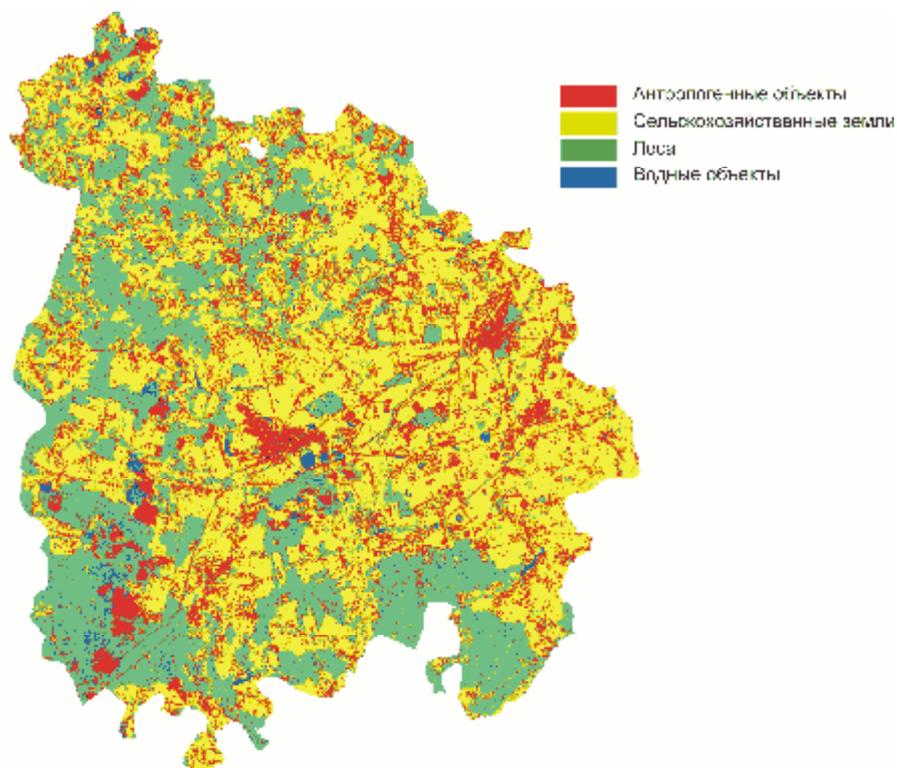


Рисунок 2 – Автоматизированная растровая классификационная космокарта со спутника Landsat-7 ETM+ (18.08.2001) на территорию Дзержинского района с интерпретацией для 1 уровня номенклатуры земель CORINE

Далее с использованием ГИС-технологий (ArcGIS 9.0 ESRI Inc.) выполняется анализ метрических характеристик объектов четырех классов (болота не выявлены) и рассчитывается общий баланс земель исследуемой территории Дзержинского района (антропогенные объекты – 47% от общей площади, сельскохозяйственные земли – 32%, леса – 20%, водные объекты – 1%). Однако необходимо отметить, что чистая почва, песок, бетон или асфальтовое покрытие имеют аналогичную отражательную способность на некоторых полосах Landsat, что влияет на точность расчетов баланса земель.

#### Литература:

1. Гурьянова, Л.В. Опыт использования ГИС-технологий ESRI Inc. и Imagine Expert Classifier при обработке снимка Landsat-7 для оценки урбанизации территории (на примере Дзержинского района Минской области) [Текст] // Третий Белорусский космический конгресс / Материалы конгресса (23-25 октября 2007 г., Минск).- Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2007.- С. 170-174.