

РОЛЬ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ КАРТ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Х.Р. Исмагова

*Институт Космических Исследований Природных Ресурсов
(ИКИПР АНАКА НАНА)*

Баку, пр. Азадлыг, 159, E-mail: khasiyat@box.az

Предложена технология распознавания и картирования классов землепользования по данным со спутников Landsat 5TM и Landsat 7TM. Показана высокая эффективность распознавания и интерпретации спутниковой информации, используя потенциальные возможности применения ландшафтно-индикационного подхода при обработке изображений, интеграции данных наземных и аэрокосмических исследований.

Введение

Возможности автоматизированной цифровой обработки материалов космического зондирования одной и той же поверхности радиолокационной и оптической зондирующей аппаратурой с помощью специально разработанных методов и программных комплексов имеют большой потенциал для комплексного исследования природных ресурсов Земли и анализа различных форм изменений, происходящих с выбранными объектами. Современный уровень космических технологий, техническое и программное обеспечение во многом соответствует предъявляемым на сегодняшний день требованиям к точности распознавания и интерпретации изображений.

В этой связи с появлением геоинформационных технологий (ГИС) процесс совместной обработки данных из различных областей «знаний» во многом упростился, и появились новые возможности для их анализа, применение которых значительно повышает эффективность данных дистанционного зондирования. Примером интегрирования технологий обработки данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий можно назвать составленную по космическим снимкам электронную карту растительности/землепользования территории Азербайджана (в масштабе 1: 50000), которая была разработана в рамках проекта ФАО ООН: " Strengthening Capacity in Inventory of Land Cover / Land Use by Remote Sensing" (TCP/AZE/8921(A), июль 1999 - июнь 2001 года). Проект был выполнен в АНАКА для Министерства сельского хозяйства Азербайджанской Республики.

Обобщая опыт работы в проекте, можно утверждать, что наиболее сложными были процесс формирования классификационной легенды землепользования, сбор наземной информации и постклассификационная интерпретация изображений. Во-первых, имеющаяся картографическая информация устарела примерно на десятилетие, что обусловило несовпадение частично информации с карт и с космоснимка. Во-вторых, сильно изменились сельскохозяйственные ландшафты вследствие сокращения чайных, виноградных, и хлопковых плантаций, деградации оккупированных земель и переселения жителей этих территорий в плотно населённые области Республики, переориентации на частный сектор земледелия. Интенсивная вырубка лесных массивов, эрозийные процессы, появление новых и расширение площади имеющихся населённых пунктов и многие другие обстоятельства потребовали тщательной экспертизы и привлечение специалистов-экспертов.

Эти обстоятельства ещё раз подчёркивают необходимость привлечения к решению задач землепользования космической информации, по возможности с периодом в 3- 5 лет и проведения на их основе систематизированной каталогизации землепользования. Несомненно, в этой связи впервые составленная в АНАКА электронная версия карты землепользования (по космоснимку Ландсат 1998 -1999г.г) является начальным этапом подобной каталогизации. Сформированная цифровая модель "Land Cover/Land Use" может использоваться для контроля относительных динамических изменений исследуемого региона поверхности Земли.

Отсюда целью настоящей работы является обобщение опыта работ по проекту и совершенствование методики распознавания и картирования классов землепользования по данным дистанционного зондирования.

Описание использованных материалов

Эффективность дешифрирования изображений во многом зависит от выбора оптимальных технологических решений, проработанных методик, наземного информационного обеспечения. Дешифрирование видеоизображения начинается с выбора

на изображении однородных фрагментов в качестве тестовых участков. Для выбора тестовых участков в период выполнения проекта было организовано несколько маршрутов с их подробным описанием в полевом дневнике. Выходу в каждый маршрут предшествовал выбор геосистемы (участка, отличающегося по цветовому фону) на синтезированном космическом снимке. В маршрутах применялся спутниковый навигатор "GPS 12 CX (Global Positioning System)" для ориентировки на местности и фиксирования координат точек. Каждый маршрут сопровождался затем камеральной обработкой, где производилось сопоставление описанных участков со снимком. После сбора полевого материала был период сбора и изучения литературных источников, картографического материала и работа с экспертами. Весьма ценными здесь оказались материалы стационара АНАКА в Лянкяранской области, в Северной части Азербайджана – Набрань и др. В Лянкяранском и Астаринской районе были скорректированы тестовые участки под чаем, рисом, садами, заповедные зоны, различными типами леса. Выезд в Шемахинский район помог скорректировать тестовые участки под виноградом, пастбищами и зерновыми культурами. По маршруту фиксировались голые, распаханые и засоленные земли.



Рис.1. Охват космическими снимками Ландсат ТМ территории Азербайджана.

Тематические карты (масштаб 1:600 000) позволили собрать материал в основном за 1995 год. Геоморфологическая, климатическая, растительный покров, почвенные, физико-географическая карты стали основой геоинформационной модели местности. Спутниковая информация состояла из космических снимков, охватывающих всю территорию Азербайджана: LANDSAT 5TM - 10 частей за 1998 год; LANDSAT 7TM - 3 части за 1999 год. Пространственное разрешение снимков 30х30м (рис.1, где 166_32, 167_31, 167_33 – коды фрагментов снимков). Помимо этого, в работе были использованы листы топографической карты (1975г., система координат 1942года) на всю территорию Азербайджана в масштабе 1:100 000. Карты оцифрованы и введены в память компьютера в виде 340 отдельных планшетов (рис.1). Все планшеты трансформированы в картографическую проекцию Гаусса-Крюгера (она была взята в качестве базовой), и разделены на две зоны (зона 8, центральный меридиан 45° и зона 9 – 51°).

Система обработки данных дистанционного зондирования

Географическая привязка, визуальный анализ, предварительная и тематическая обработка спутниковой информации проводились на базе комплекса программ ENVI (The Environment for visualizing images, версия 3.4). ГИС –Arc View, версии 3.2а использовалась для анализа всех данных, географически привязанных в единую базовую проекцию, а также для создания новых карт, компоновки и печати.

Для фиксации точных координат при полевых измерениях использовался прибор GPS 12 CX (Global Positioning System). *Совместимость данных.* На схеме (рис.2) представлена система информационных потоков процесса картографирования классов землепользования, которая отражает основные этапы технологии совместимости и обработки данных на базе программных комплексов ENVI 3.4 и Arc View 3.2а. Основное преимущество разработанной технологии состоит в полной совместимости как растровых, так и векторных данных. На схеме показано, что операции, связанные с геокодированием и классификацией изображений выполняются в среде ENVI 3.4. Все операции, связанные с векторными данными, интегрированием информации выполняются в среде ArcView 3.2.а. В итоге разработана схема обработки исходной информации посредством интеграции растровых (комплекс программ ENVI 3.2.) и векторных (ArcView 3.2) данных. Окончательная легенда содержала шесть классов подстилающей поверхности Земли и 38 классов землепользования.



Рис. 2. Схема информационных потоков при картографировании классов землепользования (.ROI –формат ENVI, .evf, .shp –векторные форматы, .bil -растровый).

Методика обработки информации

Всю схему обработки данных условно можно разделить на три этапа: 1. Подготовительный; 2. Классификация и 3. Постклассификация. На подготовительном этапе проводились следующие процедуры:

1. Оцифровка тематических и топографических карт, охватывающих всю территорию Азербайджана. Все тематические карты и топокарты были транспонированы в проекцию Гаусса-Крюгера, упорядочены соответствен делению на зоны 8 и 9 (рис.1); Географическая привязка планшетов топокарт проводилась по заданным координатам вершин и центра. Тематических карт – по опорным точкам;
2. Географическая привязка фрагментов изображения к данной картографической проекции проводится по опорным точкам, выбранных на космоснимке и уточнённых по топокартам. Предварительно осуществляется сшивка карт, используя модуль ArcView 3.2 - Image Warp;
3. Конвертирование транспонированных карт и изображения в формат ArcView 3.2 (*.bil);
4. Обрисовка пограничной линии по снимку, составление векторных слоёв маски, назначение которой исключить из процесса распознавания контура населённых пунктов, морской поверхности и приграничных территорий других стран. Обратное конвертирование векторных слоёв маски в формат ENVI, наложение их на изображение в качестве маски (рис.2);
5. Визуальный анализ однородных фрагментов изображения и сравнительный анализ по ландшафтным признакам. Выделение тестовых участков.

Классификация осуществляется с помощью двух методов: с обучением и без обучения. При классификации: с обучением выбран алгоритм максимума правдоподобия. Классификация без обучения проводится для исключения субъективного влияния оператора и в случае отсутствия априорной информации.

При классификации с обучением главное выбрать репрезентативные однородные обучающие фрагменты. В среде ENVI имеются богатые возможности редактирования выбранных фрагментов. Одна из них – это спектральный анализ с помощью гистограмм и анализа матрицы решений, элементами которой являются значения функционала качества правильной классификации и перепутывания классов [1]. В этом случае, если спектральные характеристики классов объектов пересекаются, то можно переобучиться. Этот процесс уточняется с помощью априорной геоинформации. В случае наиболее сомнительных участков необходим выезд на полевые исследования.

Наиболее проблематичной является этап постклассификационной интерпретации изображений, когда дешифровщик изображения должен принимать субъективное решение или опираться на достоверную априорную информацию. Наиболее перспективной для поддержки принятия решений является интегрированная с данными дистанционного зондирования геоинформационная система, составной ча-

стью которой кроме тематической информации о свойствах исследуемых объектов и окружающей среды являются экспертные оценки (знания). На этом принципе создаётся уникальная геоинформационная модель по оцифрованным тематическим картам и база данных в среде ГИС ArcView 3.2. Достоверность полученных результатов обоснована полевыми исследованиями, экспертными оценками специалистов предметной области, опытом дешифрирования аэрокосмической информации.

Выбор обучающих фрагментов изображения по классам земного покрытия и классам землепользования

При выборе обучающих фрагментов классов землепользования, кроме спектрального анализа, использовался ландшафтно-индикационный подход к дешифрированию изображений, когда при принятии решений учитываются ландшафтные индикаторы (оросительная система, рельеф местности, фенологическая фаза развития роста растительной культуры и т.д.).

Класс растительность. Леса. Распознавание и интерпретация лесных массивов начинается с составления легенды. Визуальный просмотр картографического материала и космоснимка показал, что можно выделить следующие классы лесного покрытия: смешанный (бук, граб, осина), дубовый, хвойный, лес вдоль рек, искусственно насаждённый лес. Наблюдается результат интенсивной вырубki леса в последние годы и переход к редколесью.

Пастбища. Пастбища разделены на горно-луговые и степные. Наиболее легко распознаваемый класс. Границы разделов уточнялись по административным и др. картам.

Редколесье. Очень трудно поддается распознаванию из-за пространственной изменчивости ландшафта. Границы разделов уточнялись по спектральному анализу тестовых фрагментов [2]. Кустарники встречаются в основном по побережью рек, каналов, гористой местности.

Класс сельскохозяйственные объекты. Дешифрирование сельскохозяйственных объектов - одно из наиболее сложных при обработке аэрокосмических снимков. Сложность дешифрирования винограда, чайных, хлопковых и других культур состояла в несовпадении информации при сопоставлении снимка с картами прошлых лет. Поэтому распознаванию сельскохозяйственных культур способствовали ландшафтные индикаторы, геометрия полей, тон фона и др. Рисовые поля хорошо дешифрируются визуально. Индикаторами рисового поля являются такие прямые дешифровочные признаки, как геометрия полей и цвет (прямоугольники малой площади, тёмного цвета, так как поля большей частью залиты водой). Под сомнение попадали те участки полей, где, видимо, рис уже убран, или поле в данный момент съёмки не залито водой. В этой ситуации для точности и достоверности информации рассматривались сезонные, разновременные снимки, по которым подтверждалось, что участок отведён под посадки риса. Идентификация хлопкового поля осуществлялась сравнением его спектральных характеристик в разные сроки созревания культуры. Так, в Южной части Азербайджана участки хлопковых плантаций хорошо идентифицируются в связи с тем, что в августе месяце рост куста позволял чётко очертить линейную структуру поля. А в средней полосе съёмка производилась в июне месяце и как показал спектральный анализ, поле имеет характер спектрального отражения более почвенный, чем растительный. Однако при соответствующей обработке можно было выделить структуру поля. При визуальном дешифрировании индикаторами зерновых культур служили также геометрия полей (прямоугольные поля относительно большого размера), структура и тон, наличие оросительной системы. Казалось бы, что виноградные поля легко распознаются на снимках, однако опыт дешифрирования показал, что имеются случаи перепутывания классов культур при распознавании. Как показали полевые исследования, данный факт является результатом вырубki виноградников. Вследствие того, что дата съёмки и выезд в поле совпадали по сезону (ноябрь), то анализ полевых исследований показал совпадение яркостной характеристики виноградного поля с характеристикой голого поля местами с травянистым покрытием, так как опавшие листья и травостой покрывали землю, а виноградный куст стоял без листового покрытия. В этой ситуации только полевые исследования по съёмке на ноябрь месяц позволили точно выделить тестовые участки под виноградником. Овощные культуры визуально распознавались по признаку расположенности вблизи населённых пунктов, а также по структуре полей [3].

Класс населённые пункты, аэропорты оконтуривались визуально и вручную с помощью инструментария ArcView 3.2. Впоследствии вместе с пограничной и морской территорией их векторные слои накладывались на изображение в качестве маски, чтобы исключить из процесса распознавания (рис.2).

Класс водная поверхность. Вручную, визуально составлялись векторные слои дорог, каналов и рек, то есть все линейные объекты. При дешифрировании каналов и оросительных систем наибольшим препятствием было наличие множества каналов, заросших болотной травой и кустарниками. На некоторых участках визуально дешифрировались прорывы каналов и заболачивание близлежащих территорий, исчезновение старых и появление новых участков дорожных линий, а также увеличение территории населённых пунктов и образование новых. Дешифрировались также и гидротехнические сооружения: дамбы, запруды, гидростанции. В этот класс вошли все внутренние озёра и водохранилища.

Класс *почвы*. При дешифрировании выделялись голые почвы, пески, дюны, пляжи, распаханное поле, солончаки. В процессе дешифрирования наблюдались деградация земель вдоль каналов, неиспользованные бывшие сельскохозяйственные угодья, большей частью засоленные. Также в этот класс земного покрытия относятся скалы и горная местность, не покрытая растительностью.

Класс *снег и ледники* визуально легко дешифрировались из-за сильного цветового контраста на фоне других классов земного покрытия.

Таким образом, до процедуры автоматического распознавания были выбраны оптимальные тестовые участки и участки, не подлежащие текущему распознаванию. Сама процедура распознавания осуществляется процедурой контролируемой классификации по правилу максимума функции правдоподобия [3]. Полученное в псевдоцветах отклассифицированное изображение подвергается операции фильтрации (меданная), конвертируется в векторный формат ArcView 3.2.a для последующей корректировки легенды, заполнения базы данных, компоновки карты и её печати. Окончательная легенда, сформированная по комплексу исследований, дана на рис.3.

<p>◆ Растительность</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Лес (дуб); ◆ Смешанный лес (граб, клён, бук); ◆ Тугайный лес ◆ Хвойный лес ◆ Искусственный лес ◆ редколесье / луга ◆ Луга / пастбища ◆ Кустарники ◆ Степь ◆ Болотная растительность <p>◆ С/х культуры</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Смешанные зерновые культуры (пшеница, овёс, кукуруза и др.) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Виноград ◆ Хлопок ◆ Чайные плантации ◆ Сады ◆ Овощные культуры (картошка, овощи и т.д.) ◆ Рис <p>◆ Населённые пункты</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Города ◆ Посёлки ◆ Индустриальная зона ◆ Нефтяные поля ◆ Дороги ◆ Железные дороги ◆ Аэропорт ◆ Каменные карьеры/ 	<p>◆ Почвы</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Солончак ◆ Голые почвы ◆ Горы ◆ Сухое русло рек ◆ Прибрежные дюны и песчаные пляжи) ◆ Песок <p>◆ Водная поверхность</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Лагуны ◆ Искусственные озёра ◆ Натуральные озёра ◆ Реки ◆ Дамбы и плотины ◆ Каналы ◆ Болото <p>◆ Снег/Лёд</p>
--	--	--

Рис.3. Окончательная легенда «Land Cover/Land Use».

Корректировка базы данных, компоновка карты и печать

Указанные процедуры осуществляются в среде ArcView 3.2.a. В итоге, общее число, полученных контуров землепользования было равно 26 866.

Корректировка базы данных. К началу этого этапа в памяти компьютера уже имеется векторный слой классов землепользования, для которых в базе данных в соответствии с разработанной легендой должна быть указана принадлежность к классам землепользования. Для заполнения базы данных (структура дана в табл.1) привлекались опытные дешифровщики космических изображений, эксперты Министерства сельского хозяйства, справочные данные, а также по наиболее сомнительным решениям состоялись выезды на полевые исследования. Компоновка легенды производилась в соответствии с системой классификации земельных ресурсов ФАО (Land Cover Classification System (LCSS), (табл.2) [4]. В таблице 1 представлены результаты комплексного анализа и распознавания сельскохозяйственных культур с указанием кодов по LCSS.

Таблица 1. Постклассификационные данные по зоне 9.

Наименование классов	Количество оцифрованных контуров	Классификационный номер	Код по системе LCSS	Площадь (км ²) (1998г)
Хлопковые поля	30	11	1000-S9	261,71
Общий класс овощных культур	156	12	1000-S5	1009,51
Общий класс зерновых культур	1761	13	1000-S4	7146,15
Сады	515	14	1000-S6	770,74
Рис	27	15	1000-S0	38,87
Чайные плантации	153	16	1004	92,71
Виноградные плантации	128	17	10566	215,41
Общее количество с/х оцифрованных контуров (зона 9)	2770	Общая площадь с/х оцифрованных контуров (зона 9)		9534,77

В таблице 1 показаны площадные характеристики классов сельскохозяйственных объектов, которые на 90% совпали с официальной информацией статистического управления Азербайджана за 1998год. На рис.4 приведён макет карты землепользования, в котором отражены все атрибуты классификационной легенды, код по LCCS, деление по планшетам 1:50 000 масштаба.

Заключение

Представленная в работе методика обработки данных дистанционного зондирования является обобщением опыта работ по интеграции разнотипных, разномасштабных данных различных цифрового и текстового формата в единую информационную среду. Все данные приведены в единую картографическую проекцию, цифровые форматы совместимы, разнотипная информация подчинена единой цели – повышению эффективности распознавания классов землепользования. Предложена технология распознавания и картирования классов землепользования по данным со спутников Landsat 5ТМ и Landsat 7ТМ. Показана высокая эффективность интерпретации спутниковой информации и распознавания, используя потенциальные возможности применения ландшафтно-индикационного подхода при обработке изображений, интеграции данных наземных и аэрокосмических исследований.

Литература

1. *Журавлёв, Ю.И.* Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации. // В кн.: Проблемы кибернетики, М.: Наука, 1978. № 33.С 3-65.
2. *Исмадова, Х.Р.* Применение алгоритмов распознавания вычисления оценок для обработки многозонального видеоизображения.// В кн.: Математические методы в распознавании образов и дискретной оптимизации, М.:ВЦ АН СССР, 1987. С.52-59.
3. *Davis, S. M., Swain, Ph. H.* Remote Sensing. Quantitative Approach//М.: NEDRA, 416с.
4. *Antonio Di Gregorio.* The Land Cover Classification System (LCCS). Classification Concepts and User// FAO UN, Rome.1998. 95p.

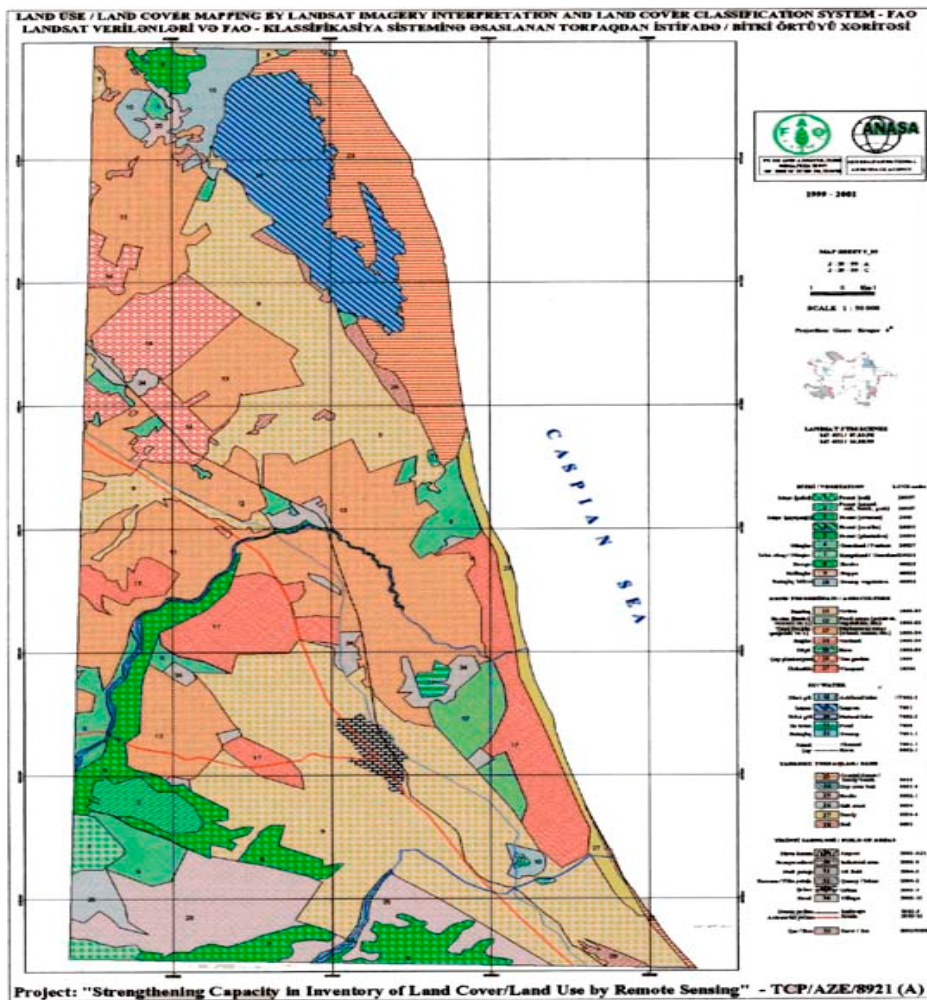


Рис.4. Пример макета карты «Land Cover/Land Use», составленной по снимкам Ландсат ТМ, 1998-1999г.