

УДК 528.85:004.932.72

Средства автоматизации геопривязки космических снимков в системах спутникового мониторинга растительного покрова лесоболотных территорий

Владимир А. Крутиков*, **Евгений С. Козин,**
Юрий М. Полищук, Мария Н. Алексеева
*Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН,
634055 Россия, Томск, пр. Академический, 10/3¹*

Received 22.10.2008, received in revised form 30.10.2008, accepted 29.12.2008

Разработаны алгоритмы импорта космических снимков в ГИС, позволяющие манипулировать ими как векторными слоями полигональных объектов. Разработаны программные средства автоматизации импорта космических снимков, представленных в форматах GeoTIFF (Landsat) и HDF EOS (Terra ASTER). Рассмотрены вопросы оценки состояния растительного покрова лесоболотных территорий юго-востока Западной Сибири с использованием космических снимков и геоинформационных технологий.

Ключевые слова: космические снимки, автоматизация, геоинформатика, мониторинг, растительный покров.

Введение

Для оценки состояния лесорастительного покрова в нефтедобывающих районах Сибири, при выявлении последствий лесных пожаров, для оценки изменений природной среды в условиях воздействия техногенных факторов и в ряде других задач экологического мониторинга необходимо использовать информацию о пространственной структуре лесов [2, 5]. Из-за труднодоступности лесных и лесоболотных территорий Сибири в настоящее время информация о пространственной структуре лесорастительного покрова получается на основе дешифрирования космических снимков высокого пространственного разрешения с использованием современных геоинформационных систем (ГИС). При этом наиболее доступными для мониторинга обширных территорий Сибири являются космические снимки, принимаемые с аппаратов Landsat (разрешение 30 м) и Terra ASTER (разрешение 15 м).

Снимки Landsat доступны в формате GeoTIFF, что позволяет их напрямую использовать в стандартных ГИС. Снимки ASTER доступны в формате HDF EOS, который непосредственно не поддерживается ГИС, поэтому необходимо преобразовать их формат, воспринимаемый ГИС (как правило, это GeoTIFF или ERDAS Imagine). Для преобразования космических снимков

* Corresponding author E-mail address: krutikov@imces.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ASTER из формата HDF EOS в растровые форматы, воспринимаемые ГИС, часто используются инструменты ENVI и ERDAS Imagine, однако они имеют существенные ограничения. Основным недостатком инструмента ENVI состоит в том, что он не принимает во внимание информацию о пространственной привязке, имеющуюся в файле HDF EOS, а это не позволяет правильно позиционировать положение снимка. Инструмент ENVI также не поддерживает операции по радиометрической коррекции сигнала. Инструмент ERDAS Imagine полностью поддерживает операции по радиометрической коррекции сигнала, но некорректно использует информацию о геопривязке, имеющуюся в ASTER HDF EOS. Инструмент ERDAS Imagine поддерживает пространственную привязку, основанную только на полиномиальной аппроксимации до 10-го порядка. Проведенный нами анализ показал, что технология геопривязки, используемая в ERDAS Imagine, вносит значительные искажения при вычислении координат, и только применение полиномов высших степеней (7-10-го порядков) позволяет получить приемлемый уровень искажения. Однако при этом смещение положения крайних пикселей изображения может достигать до 30 %.

Анализ и дешифрирование космического снимка традиционно основывается на его представлении в ГИС в виде растрового изображения. Хотя такой подход достаточно хорошо разработан и широко используется, он имеет ряд ограничений, в частности, трудность совместного пространственного анализа растровых и векторных данных. При проведении пространственного анализа в традиционных ГИС предпочтительно оперировать векторными данными, и для этого необходимо преобразовать космические снимки из растрового в векторное представление.

Векторные данные в современных ГИС представляются в виде наборов векторных слоев. Векторный, или объектный, слой представляет собой множество одинаковых по типу геометрических объектов или, другими словами, множество объектов одного класса. В ГИС определено несколько базовых классов объектов (точка, линия, полигон) и ряд производных классов объектов, основанных на базовых классах объектов. Современные ГИС являются открытыми для расширения системами и позволяют определять пользовательские классы объектов, которые основаны на базовых и производных классах объектов.

В связи с тем, что космические снимки ASTER поставляются в формате, который непосредственно не воспринимается в ГИС, возникла необходимость в разработке специальных программных средств для импорта этих снимков в форматы, воспринимаемые ГИС.

Алгоритмы импорта космических снимков в ГИС

Космические снимки с аппарата ASTER поставляются в формате HDF EOS, который является частным случаем формата HDF (Hierarchical Data Format), разработанного для хранения сложных и объемных данных научных исследований. Основное достоинство формата HDF состоит в том, что он поддерживает возможность описания структур данных, подлежащих хранению, в дополнительных структурах метаданных.

На рис. 1 представлена структура данных ASTER формата HDF EOS. Блок «метаданные» содержит информацию о структуре конкретного файла. Блок «данные спектрального канала i » содержит всю информацию относительно отдельного спектрального канала: метаданные, координаты опорных точек, собственно измеренные данные и данные, касающиеся орбитальных параметров несущего спутника.



Рис. 1. Структура данных космического снимка ASTER формата HDF EOS

В качестве основы для реализации процедуры импорта данных космического снимка был использован объектный подход [3, 4], в рамках которого данные отдельного спектрального канала космического изображения представляются в виде множества полигональных объектов, объединенных в отдельный топологический полигональный слой. Каждый отдельный полигональный объект соответствует определенному пикселю отдельного спектрального канала космического снимка. Координаты центра полигонального объекта совпадают с координатами центра пикселя. С каждым полигональным объектом ассоциировано значение интенсивности сигнала соответствующего пикселя, т.е. слой полигональных объектов имеет атрибут, в котором хранятся значения интенсивности сигнала для отдельного спектрального канала. Объектное представление, в отличие от растрового представления космических снимков, расширяет возможности оперирования ими. Полигональный объект занимает в двумерном пространстве определенную область, в пределах которой он обладает некоторыми функциональными (вычислительными) «правами».

При растровом представлении отдельный спектральный канал космического снимка дается в виде растрового изображения, а совокупность нескольких спектральных каналов - в виде синтезированного растрового изображения. Растровые изображения в ГИС рассматриваются как объекты, состоящие из множества элементов (пикселей), которые, однако, как объекты не рассматриваются. Пиксель растрового изображения «не знает» своего положения в пространстве.

На рис. 2 представлен общий алгоритм импорта данных космического снимка ASTER формата HDF EOS. Координаты опорных точек позволяют автоматически «привязать» космический снимок к карте территории.

Для этого на основе метаданных, координат опорных точек и матрицы узлов решетки вычисляются координаты полигональных объектов для отдельного спектрального канала. На основе данных матрицы сигнала и матрицы радиометрической коррекции вычисляются истинные значения интенсивности сигнала для всех пикселей отдельного канала. Для каждого спектрального канала на основе вычисленных координат полигональных объектов и истинных значений интенсивности сигнала генерируется отдельный слой полигональных объектов. За-



Рис.2. Алгоритм импорта космического снимка ASTER формата HDF EOS в ГИС



Рис.3. Алгоритм импорта космического снимка Landsat формата GeoTIFF в ГИС

тем все полигональные слои с помощью специальных функций пространственного анализа (пересечение, слияние) объединяются в единый слой полигональных объектов. Каждый полигональный объект объединенного слоя обладает значением интенсивности сигнала всех тех спектральных каналов (полигональных слоев), которые использовались для создания этого объединенного слоя.

Разработанная процедура импорта космических снимков в ГИС может быть использована и для снимков других космических систем, например, Landsat. На рис. 3 приведен алгоритм импорта космических снимков Landsat формата GeoTIFF в объединенный слой полигональных объектов. Поскольку космические снимки Landsat формата GeoTIFF являются «привязанными» и не нуждаются в радиометрической коррекции сигнала, то алгоритм не имеет соответствующих этапов вычисления координат и коррекции сигнала.

Вопросы реализации алгоритмов импорта космических снимков в ГИС

Алгоритм реализован в среде ArcGIS для Windows. Программное решение полностью автоматизировано и требует от пользователя минимальных усилий. Для выполнения импорта достаточно лишь через меню и диалог открытия файлов выбрать необходимый для импорта файл (в случае импорта ASTER HDF EOS) или список файлов (в случае импорта Landsat GeoTIFF) и

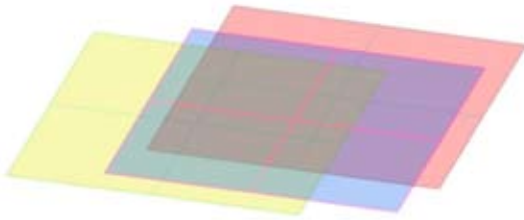


Рис.4. Взаимоотношение отдельных слоев полигональных объектов спектральных каналов диапазона VNIR: ■ ■ ■ отдельные слои полигональных объектов для спектральных каналов Band1, Band2 и Band3N соответственно

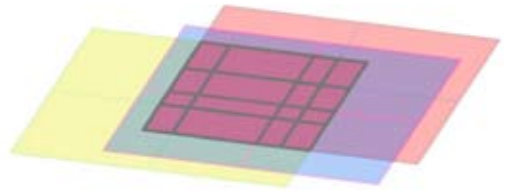


Рис.5. Формирование объединенного слоя полигональных объектов спектральных каналов диапазона VNIR на фоне отдельных слоев: ■ ■ ■ отдельные слои полигональных объектов; ■ объединенный слой полигональных объектов



Рис.6. Структура объединенного слоя спектральных каналов диапазона VNIR

FID	Shape	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	Band9
12927	Polygon	37	33	32	30	25	27
12928	Polygon	37	33	32	28	25	25
12929	Polygon	37	33	32	28	25	25
12930	Polygon	37	33	32	30	25	25
12931	Polygon	37	33	32	30	25	27
12932	Polygon	37	33	32	30	25	25
12933	Polygon	37	33	32	30	25	25
12934	Polygon	37	33	32	30	25	25
12935	Polygon	37	33	32	30	25	27
12936	Polygon	37	33	32	30	25	25
---	---	---	---	---	---	---	---

Рис.7. Атрибутивная таблица объединенного слоя полигональных объектов спектральных каналов диапазона SWIR

по прошествии некоторого времени будет создан набор файлов, содержащих топологические слои полигональных объектов. Далее на рис. 4 и 5 приведены иллюстрации, демонстрирующие последовательные этапы процедуры импорта космических снимков ASTER формата HDF EOS в слои полигональных объектов ГИС.

Структура объединенного слоя, который показан на рис. 5, и соответствующая ему атрибутивная таблица в ГИС приведены на рис. 6 и 7 соответственно.

Из вышеизложенного ясно, что использование объектного представления космических снимков позволяет:

- автоматизировать процесс импорта космических снимков;
- вовлекать в одновременную обработку произвольное число спектральных каналов.

Оценка состояния растительного покрова лесоболотных территорий Сибири с применением космических снимков

Рассмотрим далее вопросы применения космических снимков в решении задач экологического мониторинга. Одной из важных задач мониторинга природной среды является оценка степени антропогенной нарушенности лесных и лесоболотных территорий, решение которой требует построения карт ландшафтной структуры территории на основе дешифрирования космических снимков. Методические вопросы дешифрирования космических снимков высокого пространственного разрешения применительно к лесным и лесоболотным территориям Сибири рассмотрены в [1]. Дешифрирование снимков проводится с использованием географических информационных систем на основе классификации ландшафтных выделов на космическом снимке с использованием данных наземных исследований. Обобщая классификации [6-10] основных типов растительной структуры лесоболотных территорий, можно выделить следующие пять групп типов ландшафтной структуры: 1 - олиготрофные болота, 2 - мезотрофные болота, 3 – евтрофные (низинные) болота, 4 - заболоченные и автоморфные типы леса, 5 - антропогенно преобразованные (модифицированные) лесные и лесоболотные территории.

Одной из наиболее характерных для Западной Сибири лесоболотных территорий является территория Васюганской равнины, которая располагается на юго-востоке Западной Сибири. На ее территории находится крупнейшая в мире Васюганская болотная система. В соответствии с приведенной классификацией были построены карты пространственной структуры растительного покрова тестовых участков на территории южной, восточной и юго-восточной частей Васюганской равнины. Для иллюстрации на рис. 8 приведена карта растительного покрова территории восточной части Васюганской равнины.

Антропогенно модифицированный растительный покров в восточной части Васюганской равнины представлен лесными вырубками, несколькими населенными пунктами, пашнями и участками болот с проведенной лесогидромелиорацией. В частности, на исследуемой территории пашни занимают долины рек Бакчар, Икса и Шегарка и прилегающие междуречья. Осушенные участки болот из-за повышения степени их пожароопасности подвергаются пожарам с высокой периодичностью. Разновременные вырубки темнохвойных лесов расположены в восточной части междуречья Бакчара и Иксы.

На основе анализа карт упомянутых выше южной, восточной и юго-восточной частей Васюганской равнины были определены относительные площади всех типов ландшафтной структуры. Количественные соотношения этих типов представлены в виде диаграмм на рис. 9.

Сравнение этих диаграмм показывает (рис. 9), что относительные площади антропогенно нарушенных (модифицированных) территорий различаются на разных участках Васюганской лесоболотной системы. В частности, рис. 9 свидетельствует о преобладании модифицированных типов растительного покрова в восточной части Васюганской равнины по сравнению с другими частями территории.

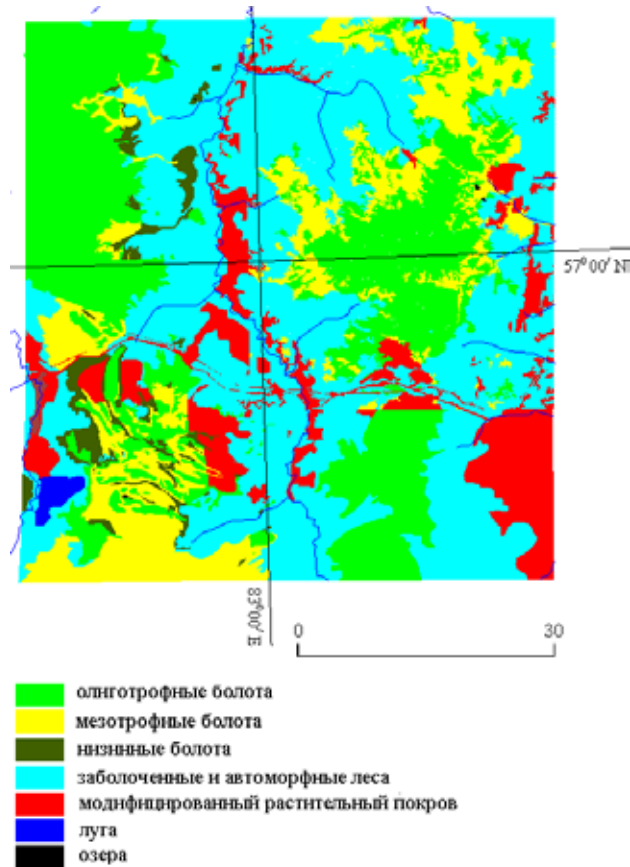


Рис. 8. Карта структуры растительного покрова в восточной части Васюганской равнины

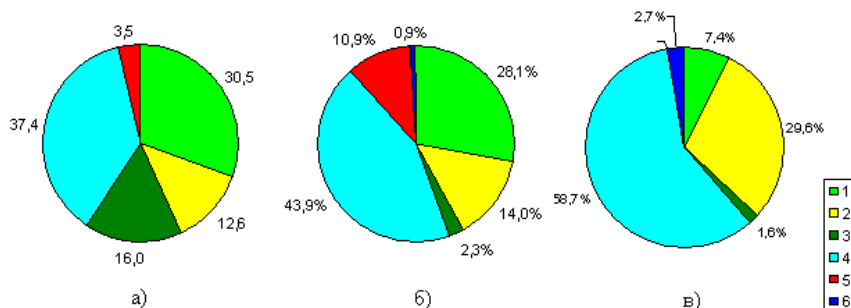


Рис. 9. Относительные площади модифицированного растительного покрова на разных участках Васюганской равнины: а - южный, б - восточный, в - юго-восточный

Следовательно, используя космические снимки высокого разрешения, принимаемые, например, с аппаратов Landsat, Terra (ASTER), можно получать необходимые для спутникового мониторинга количественные данные о состоянии растительного покрова лесных и лесоболотных комплексов, занимающих большую часть территории Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 86.

Список литературы

1. Алексеева М.Н., Дюкарев А.Г., Полищук Ю.М., Пологова Н.Н. Исследование структуры лесоболотных комплексов Васюганской равнины с использованием ГИС, дистанционных и подспутниковых данных // География и природные ресурсы. 2004. № 2. С. 71 – 77.
2. Алексеева М.Н., Козин Е.С., Полищук Ю.М. Развитие средств ГИС и их использование для исследований пространственной структуры лесоболотных комплексов Большого Васюганского болота на основе космических снимков // Материалы 6-го Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу, 14-16 сентября 2005 г. Томск: Ин-т мониторинга климат. и эколог. систем СО РАН, 2005. С. 551 – 556.
3. Козин Е.С. Автоматизация привязки космических снимков // Материалы 6-го Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу, 14-16 сентября 2005 г. Томск: Ин-т мониторинга климат. и эколог. систем СО РАН, 2005. С. 421– 423.
4. Козин Е.С. Объектно-ориентированный подход привязки космических снимков // Информационные технологии. 2006. № 12. С.37 – 39.
5. Крутиков В.А., Полищук Ю.М., Токарева О.С. Геоинформационно-моделирующая система и оценка воздействий нефтедобычи на природную среду // Матер. Международ. конф. «Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг», 14–16 июня 2001 г.–Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. С. 154–157.
6. Лапшина Е.Д., Королюк А.Ю., Блойтен В., Мульдьяров Е.Я. Структура растительного покрова западной части Большого Васюганского болота (на примере ключевого участка «Узас») // Сиб. эколог. журн. 2000. № 5. С. 563 – 576.
7. Лисс О.Л. , Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К., 2001.–584 с.
8. Лопатин В.Д. Принципы установления границ переходных болот по растительному покрову и задачи дальнейших исследований по диагностике типов болот по растительности // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л.: Наука, 1972. С. 22 – 28.
9. Ниценко А.А. О понятиях верхового, низинного и переходного в современном болотоведении // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л.: Наука, 1972. С. 17–22.
10. Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.: Наука, 1985. 152 с.

Tools of Automation of Space Images Geospatial Binding in Systems of Satellite Monitoring of Vegetative Cover of Wood and Marsh Territories

**Vladimir A. Krutikov, Evgeny S. Kozin, Yury M.
Polishchuk and Maria N. Alexeeva**

*Institute of Climatic and Ecological Systems Monitoring SB RAS,
10/3 Akademicheskyy pr., Tomsk, 634055 Russia*

Algorithms of space image import in GIS are developed for manipulation by its as vector layers of polygonal objects. Software tools for automation of space images import of GeoTIFF format (Landsat) and HDF EOS format (Terra ASTER) in GIS were created. Assessment problems of vegetative cover state of forest-swamp territories in south-east of Western Siberia are considered using space images and geoinformation technologies.

Key words: space images, automation, geoinformatics, monitoring, vegetative cover.
