

**Информационная технология количественной оценки
состояния объектов природно-техногенной сферы
по многоспектральным космическим изображениям**

Кондранин Т. В., Козодеров В. В., Егоров В. Д.

vkozod@mes.msu.ru

(Москва)

Модернизация существующих и разработка новых технологий количественной оценки состояния объектов природно-техногенной сферы (совокупность лесных, водных и других экосистем, объединенных на конкретном региональном уровне с объектами промышленного и сельскохозяйственного производства, дорожно-транспортной инфраструктуры и т.п.) являются важнейшей составной частью информационного обеспечения научных и прикладных задач космического мониторинга Земли. Научной основой решения таких задач является развитие математических моделей описания процессов формирования регистрируемого аппаратурой космического дистанционного зондирования (ДЗ) уходящего излучения и моделей распознавания образов наблюдаемых объектов по их многоспектральным изображениям.

Обоснование предлагаемой технологии на примере распознавания образов почвенно-растительных объектов и количественной оценки параметров состояния этих объектов изложены в работе [1]. Отличие технологии от традиционных подходов состоит в том, что с целью увязки используемых многоспектральных данных ДЗ и результатов моделирования взаимодействия излучения с объектами природно-техногенной сферы в терминах конкретных количественных характеристик, используются данные абсолютно калиброванных спутниковых систем. При этом при решении *прямой задачи* формируется исходная база спектральных образов указанных объектов при различных условиях освещенности, углах визирования аппаратуры ДЗ и разных условиях замутненности атмосферы. Для почвенно-растительного покрова возникает необходимость включения в соответствующую расчетную схему особенностей взаимодействия падающего солнечного излучения с отдельными фитозементами (листья/хвоя, ветки и др.) такой сложной системы с учетом их спектральной отражательной способности и условий их затенения при освещении Солнцем.

При постановке и решении *обратной задачи* в качестве исходной посылки используется то обстоятельство, что у специалистов-биологов, лесников и пр. существуют адекватные технологии определения объема фитомассы пробных площадок (в поле, в лесу и т.п.). Кроме того, для выбранных тестовых участков соответствующих наземных обследований

существуют эмпирические связи между значениями зеленой фитомассы и общей биомассы древесины. Поэтому в предлагаемой технологии производится восстановление непосредственно именно этих количественных параметров растительности. Физико-математическое описание условий формирования спектральных образов наблюдаемых объектов и алгоритмы восстановления конкретных характеристик сводятся к процедуре обращения основного функционала многоспектральных данных ДЗ.

Указанный функционал оказывается зависящим от большого числа параметров, таких как типы лесной и межкроновой растительности, условия затенения фитоэлементов при их освещении прямым солнечным и диффузным рассеянным излучением, оптическая толщина атмосферы и др., в том числе объем фитомассы. Исследуемый функционал представляет собой интеграл свертки суммарного падающего излучения с весовой функцией чувствительности аппаратуры ДЗ в пределах телесного угла визирования объекта при заданных зенитном угле визирования объекта и разности азимутальных углов визирования и Солнца с учетом спектральных отражательных способностей отдельных фитоэлементов.

Результаты решения *прямой задачи* для лесных экосистем можно образно представить как «книгу», каждый лист которой для разных типов лесных экосистем описывается координатами «плотность полога леса — ажурность крон деревьев». Плотность полога определяется взаимным расположением древостоев для выбранных классов породного состава леса (лиственные, хвойные, смешанные). Ажурность крон характеризует различия в распределении фитоэлементов на отдельных деревьях. В этих же координатах отображаются и значения объема фитомассы классифицируемых типов растительности. Для каждого «листа» такой «книги» рассчитываются спектральные интенсивности излучения, регистрируемого аппаратурой ДЗ. Решения обратной задачи находится путем поиска взаимных пересечений кривых спектральных интенсивностей: для каждого пиксела многоспектрального изображения производится поиск «минимального расстояния» между точками пересечения кривых интенсивностей и ближайшей изолинией величины фитомассы в указанной координатной системе.

Разработанная технология в настоящее время наряду с классом «растительность» обеспечивает выделение открытых водных поверхностей, облачности, а также объектов природно-техногенной сферы (городские территории и населенные пункты, дорожно-транспортная сеть, распашанные почвы и т.п.). Технология допускает также идентификацию не входящих в исходную базу данных модельных расчетов прямой задачи смешанных объектов, например, разных типов почвогрунтов. Однако, для элементов разрешения, относящихся к таким объектам, значительно

возрастает время поиска решений обратной задачи, что делает неизбежным использование высокопроизводительных кластерных систем.

В работе демонстрируются примеры реализации предлагаемой технологии на примере объектов природно-техногенной сферы и лесных экосистем европейской территории России. В качестве исходных использовались данные аппаратуры ДЗ MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer — видеоспектрорадиометр среднего разрешения) и ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer — усовершенствованный радиометр измерений из космоса теплового излучения и отражения) спутника Terra, а также аппаратуры ЕТМ+ (Enhanced Thematic Mapper — усовершенствованный тематический картограф) спутника Landsat-7. При обработке использовались исходные абсолютно калиброванные данные указанной аппаратуры в 6–7 спектральных каналах видимой и ближней инфракрасной области спектра.

Исследования проводятся в рамках проектов РФФИ № 05-05-64199 и № 05-07-90176, а также проекта 4809 программы Федерального агентства по образованию «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 годы)».

Литература

- [1] Козодеров В. В., Кондранин Т. В., Косолапов В. С., Головки В. А., Дмитриев Е. В. Восстановление объема фитомассы и других параметров состояния почвенно-растительного покрова по результатам обработки многоспектральных спутниковых изображений. — Исследование Земли из космоса, 2007. — № 1. — С. 57–65.