
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

АНАЛИЗ КАНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT TM ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЛЕСОСТЕПНОЙ ПРОВИНЦИИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© 2012 г. Э. А. Терехин

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга
объектов и природных ресурсов, Белгород*

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Поступила в редакцию 29.07.2011 г.

Изложены результаты исследования информативности спектральных диапазонов снимка LANDSAT TM для анализа группы параметров лесных насаждений: возраста, высоты и диаметра стволов. Объект исследования – дубравы Белгородской области. Проводилась оценка шести спектральных диапазонов. На основе анализа данных, собранных почти с 1300 выделов, установлено, что наиболее чувствительным диапазоном для оценки всех исследуемых параметров насаждений является канал 5 (средний инфракрасный) снимка.

Ключевые слова: параметры лесных насаждений, лесостепная зона, спектральные диапазоны, корреляционный и дисперсионный анализы

ВВЕДЕНИЕ

Растительность обладает достаточно сложной кривой коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), которая значительно изменяется с длиной волны и одновременно содержит в себе информацию, связанную с определенными параметрами и состоянием растительных сообществ. При их анализе по материалам космической съемки исследователь имеет дело со спектральными отражательными свойствами растительного покрова, оцененными в разных диапазонах спектра.

Одной из важнейших задач исследования лесной растительности с помощью данных дистанционного зондирования (ДДЗ) является установление количественных отношений между параметрами лесного фитоценоза – возрастом, высотой, диаметром стволов – и спектральными отражательными свойствами лесного полога. Однако перед тем как приступить к расчету количественных уравнений связи, необходимо выяснить, какой спектральный диапазон является наиболее информативными (чувствительным) при исследовании определенного параметра насаждения. Этот диапазон будет использоваться непосредственно при построении уравнений зависимости.

Решению задачи выявления наиболее информативных спектральных диапазонов для оценки возраста, высоты и диаметра лесного насаждения посвящена настоящая статья.

К волновым диапазонам, наиболее широко используемым для анализа спектральной отражательной способности объектов земной поверхности, относятся синий (0.45–0.52 мкм), зеленый (0.525–0.605 мкм), красный (0.63–0.690 мкм), ближний (0.75–0.90 мкм) и средние инфракрасные (ИК) (1.55–1.75; 2.08–2.35 мкм). Перечисленные диапазоны соответствуют основным каналам большинства космических сенсоров.

К настоящему времени по проблеме выявления наиболее информативных спектральных показателей по космическим снимкам для анализа параметров лесных фитоценозов выполнен ряд успешных зарубежных работ (Foody et al., 2001; Gerylo et al., 2002; Phua, Satino, 2003; Lu et al., 2004; Chen, Zhao, 2007). Подобные исследования ведутся для бореальных, умеренных и тропических лесов. При этом наиболее информативные показатели, выявленные в ходе этих исследований, показывают сильную корреляционную связь с возрастом, высотой, биомассой лесных насаждений (Lu et al., 2004). Планировалось ответить на вопрос, какой спектральный диапазон, на примере каналов данных LANDSAT TM, наиболее предпочтителен для анализа возраста, высоты или диаметра лесного, преимущественно дубового насаждения, типичного для лесостепной провинции Среднерусской возвышенности. Исследования проводились на примере лесных массивов Белгородской области.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Территория Белгородской области расположена в южной части Среднерусской возвышенности и практически полностью относится к лесостепной зоне. Незначительная юго-восточная часть области (Вейделевский и Ровеньский районы) отнесена к зоне степей. Характерная особенность округа Курской лесостепи – чередование в ландшафте лесных островов с открытыми пространствами, ранее представленными разнотравными степями, а позднее распаханными.

По данным государственного лесного учета, общая площадь всех лесов Белгородской области составляет 246.2 тыс. га, в том числе покрытая лесом – 232.4 тыс. га, лесистость 8.6% (Авраменко и др., 2007; 2008). Показатель лесистости области приблизительно соответствует средней лесистости Центрально-Черноземного региона, которая составляет 8.7% (Бугаев и др., 2006). В составе лесов преобладают твердолиственные породы, которые занимают площадь 173.5 тыс. га, или 85.0% от покрытой лесом площади, из них дуба черешчатого – 161.5 тыс. га. Хвойные насаждения занимают 19.1 тыс. га – 9.4% и мягколиственные породы – 11.4 тыс. га, или 5.6%. Таким образом, леса региона представлены в своем большинстве массивами дуба черешчатого, являющегося особо ценной породой.

Средний возраст хвойных насаждений равен 42 годам, твердолиственных – 60 годам, мягколиственных – 34 годам. По возрасту молодняки занимают площадь 41.7 тыс. га (20.4%), средневозрастные – 146.5 тыс. га (71.8%), приспевающие – 9.8 тыс. га (4.8%), спелые и перестойные – 6.1 тыс. га (3.0%). По территории области леса распределены неравномерно. В ряде районов – Шебекинском, Валуйском, Старооскольском, Чернянском – расположены достаточно крупные лесные массивы, однако большей частью леса представлены небольшими урочищами по оврагам и балкам, водоразделам, правым берегам рек.

В качестве объектов исследования использовали группу лесных массивов. Это урочища “Нежегольская Дача”, “Мелкий Лес”, “Ездоченская Дача”. Все лесные участки были выбраны на основе материалов лесоустройства с таким учетом, чтобы они являлись типичными для региона и по ним можно было создать репрезентативную выборку характеристик лесных насаждений. Расположение объектов исследования на территории Белгородской области показано на рис. 1.

В дальнейшем мы будем называть массив Мелкий лес – Борисовским участком, массив Нежегольская Дача – Шебекинским, Ездоченская Дача – Чернянским, по названию админи-

стративных районов области, в которых они расположены.

В качестве материалов спутниковой съемки применялся комический снимок Landsat TM 5, от 25.08.1995 г. Съемка с аппаратов этого типа обладает наиболее оптимальным сочетанием целого ряда факторов (количество и диапазоны используемых каналов, пространственное и радиометрическое разрешение, обширный охват территории одной спутниковой сценой, наличие надежных алгоритмов предварительной коррекции), что обусловило ее выбор для анализа. Выбор даты съемки обусловлен максимальной близостью к срокам выполнения последних комплексных лесоустроительных работ, которые для всех объектов исследования были проведены в период 1994–1995 гг.

Следует отметить, что для получения более полной картины об информативности спектральных диапазонов целесообразно было использовать снимки разных месяцев вегетационного периода. Однако снимки Landsat, полученные за другие месяцы вегетационных сезонов 1994–1995 гг., имели значительный процент облачности, не позволяющий применить их в исследовании.

Снимок Landsat TM содержит семь каналов, но нами в исследовании использованы каналы 1–5 и 7. Тепловой канал 6 не использовался. Каналы снимка соответствуют следующим диапазонам спектра: синему, зеленому, красному, ближнему ИК и среднему ИК, которому в свою очередь соответствуют два канала. Пространственное разрешение всех используемых каналов составляет 30 м/пиксел, радиометрическое разрешение – 8 бит. Размер спутниковой сцены составляет 180 × 185 км. Применялись данные наиболее высокого первичного уровня обработки – L1T, включающего начальную радиометрическую коррекцию, ортотрансформирование с применением глобальной цифровой модели местности GLS 2000 и географическую привязку с использованием наземных точек корректировки. В планетарной схеме пролетов спутника сцена расположена в 177 колонке и 25 ряду (path 177, row 025) и покрывает территорию всех объектов исследования. Материалы спутниковой съемки были получены из интернет-архива геологической службы США (USGS).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы ответить на вопрос, какой спектральный диапазон является наиболее информативным для оценки возраста, высоты или диаметра насаждений, необходимо разработать и реализовать последовательность действий, направленную на соотнесение материалов наземных обследований

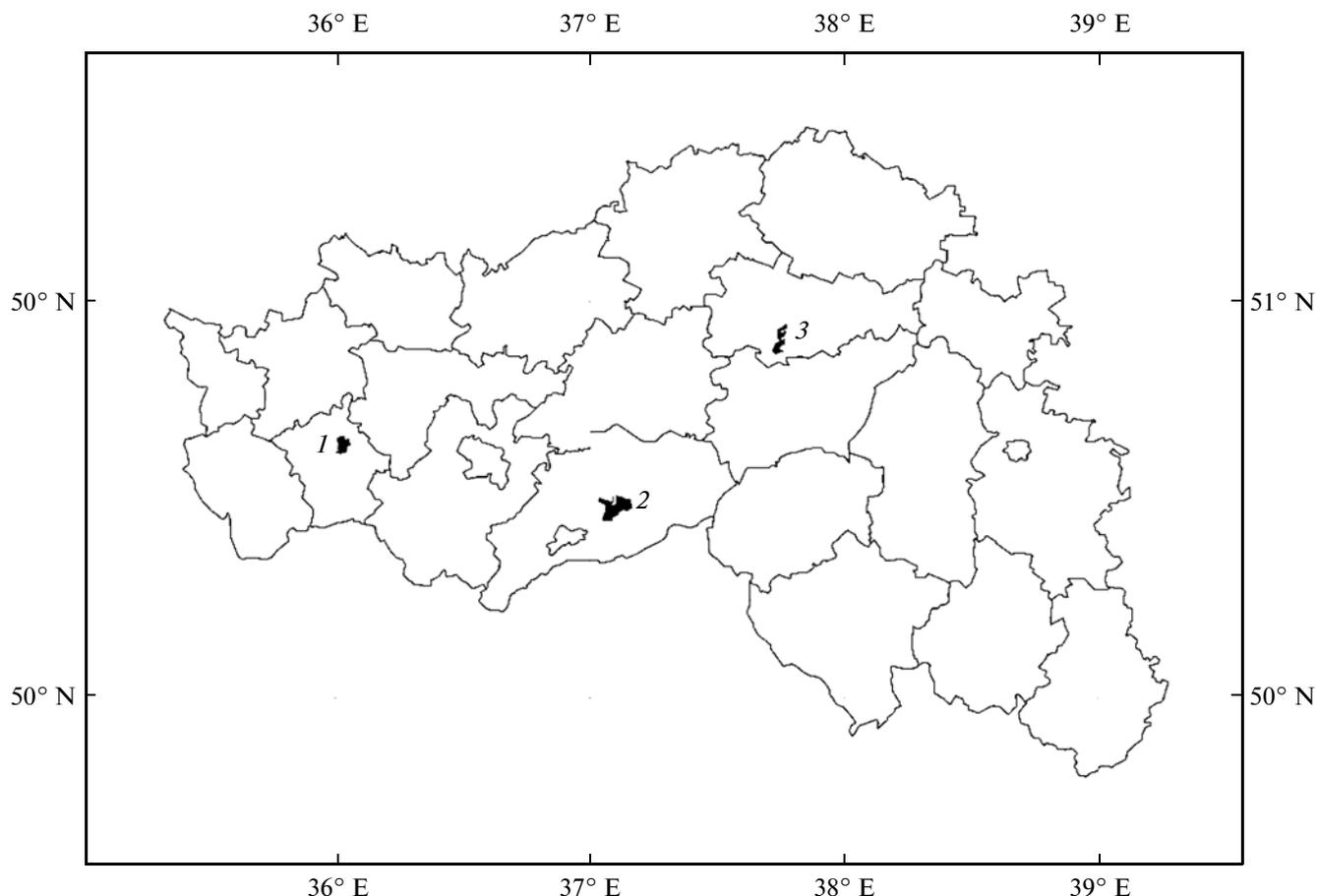


Рис. 1. Карта расположения объектов исследования на территории Белгородской области: 1 – Мелкий Лес, 2 – Нежогольская Дача, 3 – Ездоченская Дача. Контурь внутри границы области отображают административно-территориальное деление региона.

дований с результатами обработки космической съемки.

Для этой цели предложена последовательность, включающая следующие этапы:

1. Сбор информации о параметрах лесных массивов и формирование на их основании базы данных, привязанной к картографической основе.
2. Формирование выборки из лесных выделов на основе полученной базы данных, однородных по породному составу и типу лесорастительных условий.
3. Создание оценочной площади в каждом выделе полученной выборки для последующего анализа в ней спектральных характеристик насаждений. Совокупностью оценочных площадей сформируется региональная сеть для оценки параметров насаждений и их спектральных характеристик.
4. Расчет средних значений спектральных диапазонов в каждой исследовательской площади.
5. Проведение статистической обработки полученных данных, направленной на выявление наиболее информативных показателей. Стати-

стическая обработка состояла в корреляционном и дисперсионном анализе данных.

Для реализации перечисленных этапов применялись следующие группы методов: обработка данных ДЗ, геоинформационный и статистический анализы данных.

Данные лесоинвентаризационных обследований и их анализ

Развертывание исследовательских площадей должно быть основано на материалах комплексных полевых лесоустроительных обследований, которые были взяты за основу. Материалы лесоустройства включают лесоустроительный планшет с указанной на нем сетью кварталов и выделов лесного массива и подробное лесотаксационное описание каждого выдела. Планшет выполнен в М 1 : 25000.

Полученную информацию перевели в электронный вид для последующей интеграции с материалами спектральной тематической обработки космических снимков. Задача перевода данных в

Таблица 1. Суммарная статистика обработанных данных лесоустройства

Участок	Количество выделов	Параметр насаждений	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение
Шебекино	625	возраст, лет	5	130	52	24
		высота, м	2	27	17	6
		диаметр, см	То же	56	21	9
Борисовка	407	возраст, лет	5	130	46	23
		высота, м	2	26	16	5
		диаметр, см	То же	48	19	8
Чернянка	256	возраст, лет	6	120	52	25
		высота, м	2	27	15	5
		диаметр, см	То же	44	19	8

цифровой была решена в геоинформационной системе ArcGIS 9.3 путем привязки лесоустроительных планшетов всех исследуемых лесных массивов и их перевода в векторную форму. Далее были осуществлены присоединение к ним атрибутивных таблиц и заполнение их сведениями о лесотаксационных характеристиках. Суммарная статистика обработанных данных лесоустройства приведена в табл. 1.

Всего таким образом была собрана лесотаксационная информация с 1288 выделов.

Выборку из выделов лесных массивов осуществляли по единым критериям, к которым относились:

– тип условий местности (тип лесорастительных условий по классификации Алексева–Погребняка (Колесниченко, 1981)) – дубрава свежая, индексное обозначение в классификации – Д₂;

– основной элемент породного состава лесного насаждения – дуб нагорный высокоствольный (ДНВ);

– минимальная площадь анализируемого выдела – 2 га.

Дубраву свежую в качестве типа условий местности и дуб нагорный высокоствольный в качестве основного элемента породного состава использовали в качестве критериев на основании того, что указанные параметры являются доминирующими для лесов региона. Площадь минимального анализируемого выдела подбиралась в соответствии с пространственным разрешением космической съемки таким образом, чтобы из этой площади на космическом снимке можно было достоверно извлекать спектральные характеристики лесного массива.

По приведенным критериям было отобрано на Шебекинском участке 302 выдела, в Борисовском – 150, Чернянском – 90 выделов.

Обработка космических снимков

Этапы обработки ДДЗ заключались в радиометрической калибровке снимков и анализе

спектра отражения лесных массивов на космических снимках. Обработка снимков была выполнена с использованием программного пакета ERDAS IMAGINE.

Радиометрическая калибровка снимков (radiometric correction) является основной предпосылкой получения достоверных результатов, извлекаемых из ДДЗ (Chander et al., 2003). Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых “сырых значений” яркости DN (Digital Number). Использование таких значений для анализа спектра природных объектов может привести к завышению или занижению значений спектральных свойств природных объектов, что особенно сказывается на результатах, когда анализируются состояния одного типа объекта, которым в нашем случае являются лесные массивы. Поэтому необходимо перевести исходные значения снимков в показатели излучения, приходящего на сенсор, а также ввести поправки на угол падения солнечных лучей и положение сенсора на момент съемки (эти сведения были получены из метаданных снимка). В результате значения яркостей космических снимков были переведены в коэффициенты отражения (альбедо), зависящие только от природы отражающего объекта. Коэффициенты отражения или коэффициенты спектральной яркости являются безразмерными показателями и принимают диапазон значений от 0 до 1. Процедура корректировки была реализована с применением специальных формул и констант (Chander, 2009), путем написания алгоритма коррекции в модуле Spatial Modeler программы ERDAS IMAGINE.

Анализ полученных коэффициентов отражения лесных массивов показал соответствие их значений кривым спектрального образа лесных насаждений (Сухих, 1977). Причем коэффициенты отражения отличны для выделов, различающихся по возрасту, высоте и диаметру стволов, что выяснили, оценив отражательную способность насаждений по космическому снимку, сопоставленному с результатами таксационных описаний.

Сопоставление данных лесотаксационных обследований с результатами обработки космических снимков

Заключительная стадия исследования включала развертывание оценочных площадей и сопоставления значений спектральных показателей с результатами лесотаксационных обследований, статистический анализ полученных данных.

Извлечение коэффициентов отражения насаждений из снимка производилось следующим способом: в выделах лесных массивов был размещен набор оценочных площадей, имеющих круговую форму и диаметр 60 м. Площадь наносилась на область снимка, соответствующую определенному лесотаксационному выделу. Диаметр 60 м выбран таким образом, чтобы он соответствовал двукратному пространственному разрешению снимка, что в свою очередь обеспечивало достоверное извлечение пиксельных значений. Одна площадка соответствует только одному выделу и размещается внутри него. Площадки размещались в тех выделах, которые были выбраны по установленным критериям (тип условий местности, основная древесная порода, минимальный размер выдела). Процесс создания площадей был автоматизирован путем написания модели-алгоритма в геоинформационной системе ArcGIS. Входные данные в модели – база данных параметров лесного насаждения, а также типов лесорастительных условий. Выходные данные – векторный слой исследовательских площадей с присоединенной к нему атрибутивной информацией о параметрах насаждения для каждой площади. В итоге был подготовлен набор из 542 оценочных площадей, из которых были извлечены по космическому снимку усредненные значения коэффициентов отражения. Таким образом, в таблицу атрибутов векторного слоя оценочных площадей, в которой уже присутствовали данные о лесотаксационных параметрах, были добавлены столбцы с рассчитанными значениями спектральных характеристик. Вместе эти сведения сформировали выборку, по которой был произведен анализ влияния возраста, высоты и диаметра насаждений на спектральные свойства.

Пространственное расположение площадей оценки в сети кварталов и выделов лесного массива на примере Шебекинского участка показано на рис. 2.

Совокупности оценочных площадей, аналогичные показанной на рис. 2, были размещены в лесных массивах Борисовского и Чернянского участков.

Этап статистического анализа данных, направленный на выявление наиболее информативных спектральных диапазонов, основывался на дисперсионном и корреляционном анализе совокупности спектральных характеристик и лесотаксационных параметров.

Дисперсионный анализ полученной выборки значений параметров насаждений и соответствующих им значений спектральных характеристик заключался в оценки различий значений каналов снимка, соответствующих величинам возраста, высот и диаметра насаждений.

Основной критерий, по которому выбирались самые информативные спектральные диапазоны, формулируется с точки зрения дисперсионного анализа следующим образом: наиболее информативным является диапазон, характеризующийся максимально различными значениями коэффициентов отражения для разных классов возраста, высот и диаметров лесных насаждений. Степень различий оценивается величиной отношения F -критерия к табличному значению на определенном уровне значимости (0.05). Таким образом, выбор самых чувствительных диапазонов осуществлялся на основании величины F -критерия (критерия Фишера). Чем выше значение F -критерия, тем значительнее различия между значениями спектральных показателей, соответствующих разным величинам параметров насаждений.

Процедура анализа была выполнена в программе STATISTICA 6.0. В анализе участвовали три параметра лесного насаждения: возраст, высота и диаметр – с одной стороны и шесть спектральных диапазонов – с другой.

Корреляционный анализ данных заключался в расчете матрицы коэффициентов линейной корреляции между лесотаксационными параметрами и коэффициентами отражения в каналах снимка. С позиций корреляционного анализа критерий выбора наиболее информативного спектрального показателя формулируется более просто: наиболее информативным является спектральный диапазон, характеризующийся максимальными (по модулю) коэффициентами корреляции с параметрами лесных насаждений. Корреляционный анализ, так же, как и дисперсионный, проводился на уровне значимости 0.05.

Стоит отметить, что ряд зарубежных исследователей достаточно успешно использовали коэффициент линейной корреляции при оценке спектральной яркости лесных насаждений в качестве критерия, определяющего наиболее информативный диапазон, (Phua, Satio, 2003; Lu, Batistella, 2005; Chen, Zhao, 2007). Корреляционный анализ применялся в качестве альтернативного способа дисперсионному анализу. Реально информативные диапазоны (каналы снимка) должны показывать не только высокую, но при этом и стабильную корреляцию, выявленную на разных участках исследования. Окончательное решение принималось по совокупной оценке результатов обоих видов анализа (корреляционного и дисперсионного).



Рис. 2. Расположение точек оценки на территории кварталной-выделной сети лесных массивов Шебекинского участка: 1 – оценочные площади, 2 – сеть кварталов/выделов лесного массива.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа

Для выявления наиболее информативного канала снимка полученные экспериментальные данные были проанализированы сначала отдельно на каждом исследовательском участке, а затем совместно.

Результаты корреляционного анализа между коэффициентами спектральной яркости в каналах снимка и параметрами насаждений на каждом участке, оцененные на уровне значимости 0.05 (табл. 2), показали, что на всех исследовательских полигонах наблюдается отрицательная корреляционная связь между параметрами насаждений и их спектральными характеристиками. Звездочкой отмечены спектральные диапазоны, характеризующиеся наиболее высокими по модулю коэффициентами корреляции с характеристиками насаждений.

Анализируя коэффициенты корреляции, полученные на каждом полигоне в отдельности, и эти же коэффициенты, рассчитанные по суммарной совокупности данных, можно сделать вывод, что наиболее чувствительным ко всем трем параметрам насаждения (возрасту, высоте и диаметру)

спектральным диапазоном является канал 5 снимка (средний ИК), охватывающий волны длиной 1.55–1.75 мкм. Его минимальный коэффициент корреляции составляет -0.68 для возраста (на Шебекинском полигоне), максимальный -0.87 для высоты насаждения (на Чернянском участке). Коэффициент корреляции этого показателя с параметрами насаждений, рассчитанный по суммарным данным, составляет -0.72 для возраста, -0.78 для высоты и -0.73 для диаметра насаждения. Несколько меньшими коэффициентами корреляции с параметрами насаждения характеризуется 2-й (зеленый) канал снимка, охватывающий диапазон 0.52–0.60 мкм.

На рис. 3 показаны значения коэффициентов корреляции между параметрами насаждения и коэффициентами спектральной яркости в каналах снимка. Из рис. 3 видно, что максимальными (по модулю) коэффициентами корреляции с параметрами насаждения характеризуется канал 5 снимка, минимальными – канал 1.

Таким образом, по результатам корреляционного анализа установлено, что канал 5 снимка Landsat наиболее информативен для анализа возраста, высоты и диаметра стволов насаждений и именно его целесообразно использовать при ди-

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа между коэффициентами спектральной яркости каналов Landsat TM и параметрами насаждений

Участок исследования	Канал	Возраст	Высота	Диаметр
Шебекинский	TM1	-0.26	-0.26	-0.27
	TM2	-0.57	-0.63	-0.60
	TM3	-0.46	-0.53	-0.48
	TM4	-0.62	-0.61	-0.61
	TM5	-0.68*	-0.74*	-0.68*
Борисовский	TM7	-0.56	-0.65	-0.56
	TM1	-0.39	-0.41	-0.38
	TM2	-0.67*	-0.75*	-0.72*
	TM3	-0.53	-0.65	-0.59
	TM4	-0.61	-0.56	-0.60
Чернянский	TM5	-0.74*	-0.82*	-0.80*
	TM7	-0.69*	-0.82*	-0.78*
	TM1	-0.58	-0.61	-0.61
	TM2	-0.77*	-0.81*	-0.79*
	TM3	-0.78*	-0.83*	-0.81*
Результат, полученный по суммарным данным	TM4	-0.34	-0.34	-0.34
	TM5	-0.82*	-0.87*	-0.83*
	TM7	-0.58	-0.61	-0.61
	TM1	-0.27	-0.25	-0.22
	TM2	-0.64*	-0.70*	-0.65*
	TM3	-0.55	-0.62	-0.56
	TM4	-0.59	-0.56	-0.57
	TM5	-0.72*	-0.78*	-0.73*
	TM7	-0.30	-0.39	-0.37

Примечание. *Уровень значимости – 0.05.

станционном исследовании перечисленных характеристик.

Отрицательные коэффициенты корреляции для всех спектральных диапазонов снимка и для большинства спектральных индексов можно объяснить следующим фактом: по мере увеличения возраста насаждения происходит постоянное уменьшение его спектральной отражательной способности, обусловленное изменением состава растительных тканей: пигментацией, влагосодержанием. Этот процесс характерен для отражательной способности в разных спектральных диапазонах (каналах снимка). Данную закономерность можно проследить, если сопоставить лесные насаждения с разным возрастом на космических снимках. Молодые насаждения выглядят значительно более яркими, чем спелые и перестойные. Таким образом, коэффициенты спектральной яркости молодых насаждений более высокие, чем коэффициенты отражения старых насаждений, т.е. спектральная отражательная способность насаждения находится в обратной зависимости от его возраста. Полученные результаты были сопоставлены с работами других исследователей. Работы зарубежных авторов показывают стабильные отрицательные коэффициенты корреляции между возрастом насаждения (и

другими биофизическими параметрами насаждения) и его коэффициентами отражения во всех каналах Landsat (Gerylo et al., 2002; Lu et al., 2004; Chen, Zhao, 2007). Таким образом, полученные данные согласуются с результатами других исследований влияния параметров насаждений на их спектральную отражательную способность.

Изменения в возрасте отражаются в изменениях в высоте и диаметре. Возраст, высота и диаметр насаждений прямо коррелируют между собой. С увеличением возраста, увеличиваются высота и диаметр. В то же время увеличение высоты и диаметра также сопровождается огрублением растительных тканей и снижением их отражательной способности. Этим, а также взаимной корреляционной связью перечисленных характеристик объясняется чувствительность к ним одних и тех же спектральных диапазонов.

Результаты дисперсионного анализа и итоговые результаты

Результаты дисперсионного анализа оценивали по схеме, аналогичной корреляционному анализу, только роль коэффициента корреляции играл критерий Фишера. Наиболее информативный спектральный диапазон был установлен по величине F-критерия. Дисперсионный

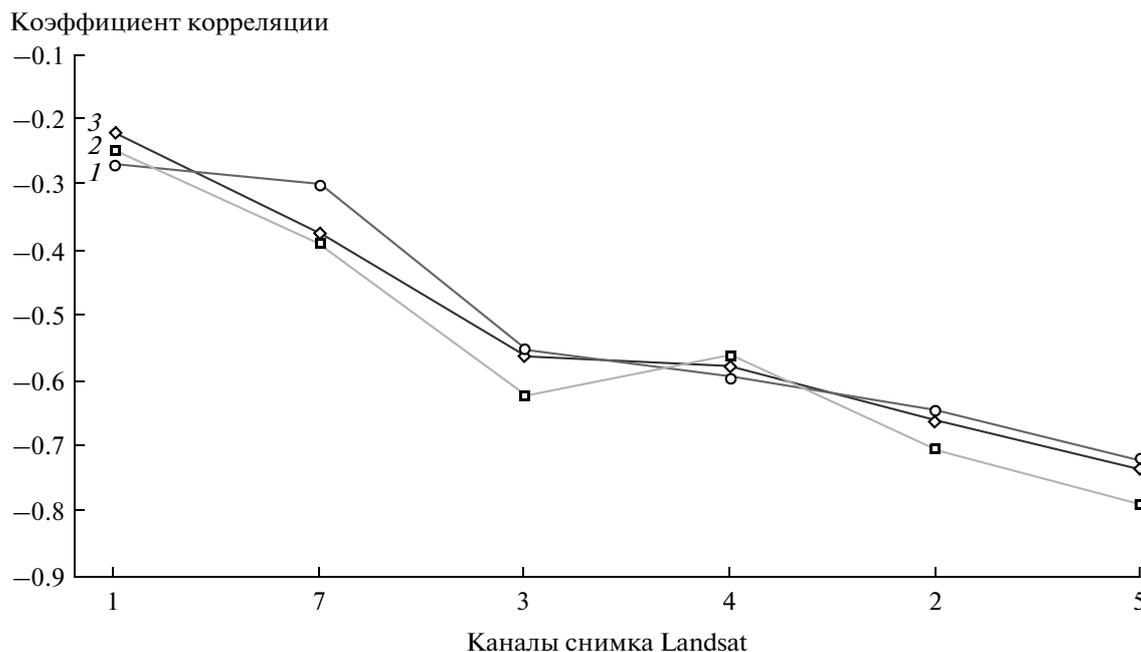


Рис. 3. Величина коэффициентов корреляции спектральных диапазонов Landsat 5 с параметрами лесных насаждений: 1 – возрастом, 2 – высотой и 3 – диаметром стволов.

анализ коэффициентов отражения каналов снимков показал, что на Шебекинском и Чернянском исследовательских полигонах коэффициенты спектральной яркости канала 5 снимка характеризуются наибольшими значениями F -критерия для всех параметров насаждений. На Борисовском полигоне значения F -критерия для канала 5 уступают первое место значениям канала 7. Однако суммарный анализ данных со всех исследовательских участков (табл. 3) показал четкое преобладание F -критерия КСЯ канала 5 над всеми остальными. Таким образом, наблюдается четкое согласование результатов с данными корреляционного анализа. Оба вида анализа выявили канал 5 в качестве наиболее информативного показателя для анализа возраста, высоты и диаметра стволов насаждений.

Данные, приведенные в табл. 3, представляют значения F -критерия. Более высокая величина

F -критерия указывает на большую степень различия между значениями спектрального показателя насаждений с разным возрастом, высотой или диаметром. Оцененный с уровнем значимости 0.05, F -критерий служит показателем информативности спектральных диапазонов (наряду с коэффициентом корреляции). Соответственно спектральные диапазоны с наибольшими значениями F -критерия более чувствительны для оценки параметров насаждения.

Таким образом, среди шести спектральных диапазонов, взятых для анализа, наиболее информативным для оценки возраста, высоты и диаметра лесных насаждений по ДДЗ оказался средний ИК-диапазон ТМ (1.55–1.75 мкм). Данный диапазон, соответствующий каналу 5 снимка Landsat ТМ, выявлен на основании параллельной независимой оценки данных методом корреляционного и дисперсионного анализов.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа (F -критерий) спектральных диапазонов по данным, собранным со всех участков

Канал	Возраст	Высота	Диаметр
ТМ1	5.14	4.65	3.69
ТМ2	11.24	21.17	22.18
ТМ3	9.78	15.79	16.61
ТМ4	8.60	15.77	19.01
ТМ5	19.78*	36.15*	39.80*
ТМ7	3.19	7.62	7.97

Примечание. *Уровень значимости – 0.05.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования, направленного на установление спектральных диапазонов, наиболее информативных для анализа группы параметров лесных массивов — возраста, высоты и диаметра стволов (на примере лесных насаждений, типичных для Белгородской области и лесостепной провинции Среднерусской возвышенности) — установлено, что из шести спектральных диапазонов космического снимка Landsat TM, сделанного в августовский период, наиболее информативным для анализа параметров насаждений оказался средний ИК-диапазон (1.55–1.75 мкм), соответствующий каналу 5 снимка. Коэффициенты спектральной яркости этого канала характеризуются наибольшими коэффициентами корреляции с параметрами лесных насаждений: -0.72 , -0.78 , -0.73 для возраста, высоты и диаметра стволов соответственно. Причем связь имеет отрицательный характер. Результаты корреляционного анализа подтверждены данными дисперсионного анализа, по результатам которого канал 5 снимка характеризуется максимальными значениями F -критерия (уровень значимости 0.05) для всех анализируемых характеристик насаждений.

Данная работа выполнена по проекту № П743 “Проведение поисковых НИР по направлению “География и гидрология суши” мероприятия 1.2.1 ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг.”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авраменко П.М., Акулов П.Г., Атанов Ю.Г. и др. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области / Под. ред. Лукина С.В. Белгород: Константа, 2007. 556 с.

Авраменко П.М., Акулов П.Г., Анисимов А.И. и др. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2007 году / Под. ред. Лукина С.В. Белгород: Константа, 2008. 276 с.

Бугаев В.А., Ревин А.И., Мусиевский А.Л. Динамика лесного фонда Центрального Черноземья // Лесное хозяйство. 2006. № 3. С. 41–42.

Колесниченко М.В. Лесомелиорация с основами лесоводства. М.: Колос, 1981. 335 с.

Сухих В.И., Гусев Н.Н., Данюлис Е.П. Аэрометоды в лесоустройстве. М.: Лесная промышленность, 1977. 192 с.

Сухих В.И. Основные направления развития дистанционных методов изучения лесов и оценки их состояния в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5 № 2. С. 352–357.

Терехин Э.А. Анализ текстурных признаков земельных угодий по космическим снимкам Landsat TM // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2010. № 8. С. 47–52.

Chander G., Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges // Trans. Geosci. Rem. Sens. 2003. V. 41. № 11. P. 2674–2677.

Chander G., Markham B., Helder D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // Rem. Sens. Environ. 2009. V. 113. P. 893–903.

Chen Wen-bo, Zhao Xiao-fan. Estimation of forest parameters based on TM imagery and statistical analysis // J. Forestry Res. 2007. № 18. P. 241–244.

Foody G.M., Cutler M.R., Mcmorrow J., Pelz D., Tangki H., Boyd D.S., Douglas I. Mapping the biomass of the Bornean tropical rain forest from remotely sensed data // Global Ecol. Biogeogr. 2001. V. 10. P. 379–387.

Gerylo G.R., Hall R.J., Franklin S.E., Smith L. Empirical relations between Landsat TM spectral response and forest stands near Fort Simpson, Northwest Territories, Canada // Can. J. Rem. Sens. 2002. V. 28. № 1. P. 68–79.

Lu D., Batistella M. Exploring TM Image Texture and its Relationships with Biomass Estimation in Rondônia, Brazilian Amazon // Acta Amazon. 2005. V. 35. № 2. P. 249–257.

Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin // Forest Ecol. Manag. 2004. V. 198. P. 149–167.

Phua M., Saito H. Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data // Can. J. Rem. Sens. 2003. V. 29. № 4. P. 429–440.

The Analysis of Channels LANDSAT TM Data for the Forest Parameters Estimation of the Forest-Steppe Province of Central Russian Upland

E. A. Terekhin

Belgorod State University, Federal and Regional Centre for Aerospace Monitoring of Natural Resources, Belgorod

Abstract—Results of research of sensitivity of spectral ranges estimated by remote sensing data from LANDSAT TM, for the analysis of group of forest stand parameters are stated: age, height and diameter of the trunk. Object of research — oak groves of the Belgorod district. The analysis of 6 spectral ranges was carried out. On the basis of the analysis of the data collected almost with 1300 stratum, by a method of correlation and dispersive analyses it is established, that the most informative range for an estimation of all investigated forest stand parameters is the first average infra-red channel of satellite image.

Keywords: forest stands parameters, spectral ranges, forest-steppe, dispersive and correlation analyses