

Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности

Э.А. Терехин

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов
и природных ресурсов
308015, Белгород, Победы, 85
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

Изложены результаты исследования эффективности спектральных преобразований многозональных снимков для автоматизированного дешифрирования сельскохозяйственных культур, типичных для Белгородской области. Сопоставлена точность дешифрирования отдельных культур по исходному снимку и на основе значений индексов, полученных на его основе. Установлено, что наиболее информативными для дешифрирования большинства культур являются преобразования снимка по методу главных компонент и преобразования Tasseled Cap.

Исследование выполнено при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Проект № 14.А18.21.1151 от 14.09.2012 г.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, дешифрирование, классификация с обучением, спектральные вегетационные индексы.

Введение

Дешифрирование сельскохозяйственных культур по многозональным космическим снимкам зависит от ряда факторов, влияющих на его эффективность. К ним относятся, прежде всего, характеристики исходных снимков, ландшафтные особенности территории, надежность спектрально-яркостных эталонов растительных культур, период съемки, выбор способа классификации, привлечение вспомогательных данных и предварительные спектральные преобразования космического снимка. К спектральным преобразованиям относятся вегетационные индексы, предназначенные для повышения эффективности дешифрирования того или иного класса объектов, которые могут быть информативны для анализа растительных культур (Ефременко, Чимитдorieв, 1998; Савин и др., 2010; Плотноков и др., 2011). Спектральные вегетационные индексы заключаются в алгебраических преобразованиях яркостей, или коэффициентов отражения каналов многозональных спутниковых данных. При этом индексные изображения могут быть эффективны для дешифрирования и анализа состояния различных классов природных объектов (Foody et al., 2001; Терехов, 2010). Спектральные индексы являются основой для детального анализа отражательных характеристик растительного покрова, в т.ч. в разных природных зонах (Исаев, Коровин, 2003; Ершов, 2007). Во многих случаях их применение является ключевым элементом повышения эффективности результатов дешифрирования (Freitas et al., 2005; Терехин, 2011).

Ландшафтные особенности территории, спектральные признаки природных объектов и комбинации возделываемых культур конкретных территорий очень разнообразны. В связи с этим при использовании автоматических методов дешифрирования перед дешифровщиком встает задача выявления спектрального индекса, который позволит наиболее эффективно выявить конкретную культуру, а также оценить, насколько его применение результативно по сравнению с использованием спектральных яркостей исходного снимка. Настоящая статья посвящена решению данной проблемы на примере анализа спектральных отражательных свойств сельскохозяйственных полей Белгородской области. Цель работы заключалась в ответе на вопрос, какой спектральный индекс наиболее информативен для дешифрирования конкретных сельскохозяйственных культур.

Территория исследования и исходные данные

В основу экспериментальных исследований положены характеристики пяти сельскохозяйственных культур: ячменя ярового, пшеницы озимой, подсолнечника, многолетних трав и кукурузы, оцененные на 184 полях по материалам космической съемки Landsat TM 5. Поля расположены на территории Ивнянского района Белгородской области. Их площадь составила 15970,2 га, в том числе под ячменем — 1556,5 га (18 полей), пшеницей — 4781,2 га (60 полей), подсолнечником — 2570,3 га (27 полей), многолетними травами — 2970,0 га (34 поля), кукурузой — 4092,2 га (45 полей). Перечисленные культуры являются типичными для Белгородской области. Снимок Landsat TM 5 (Path 177, Row 25) был получен 2 июня 2011 г.

Дата съемки была выбрана исходя из следующих критериев:

1. Отражательные характеристики растительных культур должны максимально различаться, что характерно для периода конца мая – первой половины июня.
2. На снимке должна отсутствовать облачность.
3. Проективное покрытие большинства растительных культур на полях должно быть выше 50...60 %, чтобы отражательные свойства почвы не вносили свои особенности в отражательный спектр. Стоит отметить, что это требование было осуществлено проблематично, так как остальные снимки Landsat, сделанные в ближайшее время, имели очень высокий процент облачности.

На основе снимка были рассчитаны картограммы спектральных индексов (табл. 1).

Таблица 1. Анализируемые спектральные вегетационные индексы*

Спектральный индекс	Формула индекса на основе каналов снимка	
PC	1	$0,054TM1+0,130TM2+0,143TM3+0,595TM4+0,709TM5+0,321TM7$
	2	$-0,079TM1+0,121TM2+0,212TM3+0,787TM4+0,421TM5+0,372TM7$
	3	$0,230TM1+0,504TM2+0,616TM3+0,140TM4+0,472TM5+0,266TM7$
КТ	1	$0,304TM1+0,279TM2+0,474TM3+0,559TM4+0,508TM5+0,186TM7$
	2	$-0,285TM1-0,244TM2-0,544TM3+0,704TM4+0,084TM5-0,180TM7$
	3	$0,151TM1+0,197TM2+0,328TM3+0,341TM4-0,711TM5-0,457TM7$
ND32	$(TM3-TM2)/(TM3+TM2)$	
ND53	$(TM5-TM3)/(TM5+TM3)$	
ND54	$(TM5-TM4)/(TM5+TM4)$	
ND57	$(TM5-TM7)/(TM5+TM7)$	
NDVI	$(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$	
NLI	$(TM4^2 - TM3)/(TM4^2+TM3)$	
RDVI	$(TM4 - TM3)/\sqrt{(TM4 + TM3)}$	
SAVI	$(TM4 - TM3)(1+L)/(TM4+TM3+L)$	
TM4/3	$TM4/TM3$	
TM5/4	$TM5/TM4$	
TM5/7	$TM5/TM7$	

* TM1–TM7 — зональные спектральные яркости Landsat TM.

Так как изображения индексов PC (главные компоненты) и КТ (преобразования Tasseled Cap) являются многозональными, то в таблице приведены формулы расчета каждой компоненты соответствующего индекса.

Индексы подбирались таким образом, чтобы представлять различные группы алгебраических преобразований каналов снимка, включая простые зональные отношения, нормализованные вегетационные индексы, выделение главных компонент и комплексные преобразования. Исходный снимок и картограммы спектральных индексов, представленных в табл. 1,

послужили основой для классификации спектральных признаков культур. Для улучшения эффективности классификации применяли векторный слой полей, который использовался в качестве маски для дешифрирования, использование которой очень эффективно при распознавании сельскохозяйственных культур.

Методы исследования

Первая часть экспериментальных работ включала исследование особенностей отображения каждой культуры на космическом снимке и ее спектральных отражательных свойств. Для этой цели 5 июня 2011 г. были проведены полевые исследования, направленные на оценку реального состояния конкретной культуры и обоснование количества эталонов для последующего выполнения классификации ее спектральных яркостей. Установлено, что некоторые культуры находятся в различных стадиях вегетации с различным проективным покрытием и дают отличный спектральный отклик. Например, для озимой пшеницы выделено несколько категорий, существенно отличающихся спектральными характеристиками (рис. 1).

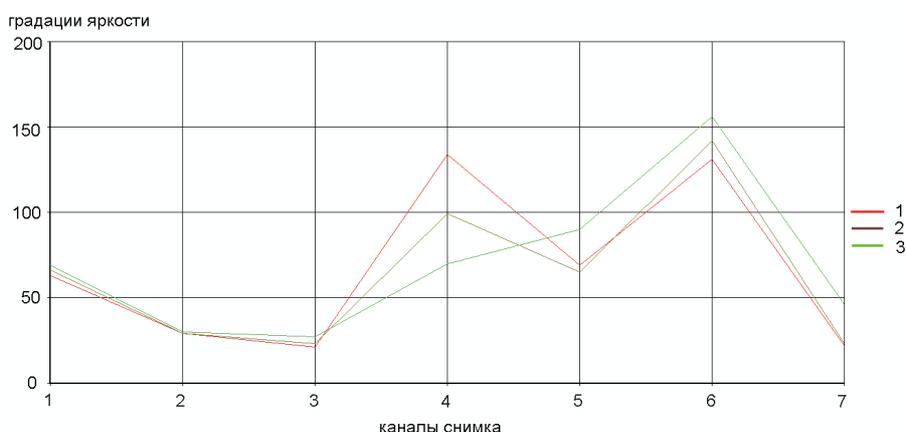


Рис. 1. Спектральные яркости озимой пшеницы с различной степенью проективного покрытия: 1 — густая пшеница; 2 — со средним покрытием; 3 — с низким проективным покрытием

Аналогичная ситуация отмечена для подсолнечника и многолетних трав. В связи с этим предложено создавать спектральные эталоны не для отдельных культур, а для категорий их состояния (табл. 2), которых в общей сложности выявлено почти в два раза больше чем самих культур.

Таблица 2. Характеристики отображения анализируемых культур на космическом снимке Landsat TM5. Комбинация каналов 7-5-3

Культура	Категория / номер эталона		Степень отличия от других типов сельхоз культур
	1	2	
Ячмень яровой	1	1	Характерные признаки, но в определенной степени схожие с яркостями озимой пшеницы, имеющей высокое проективное покрытие
Пшеница озимая	1	2	Первая категория — с очень высоким (около 100%) проективным покрытием
	2	3	Вторая категория — с высоким проективным покрытием имеет характерные отличительные признаки
	3	4	Третья категория — с невысоким проективным покрытием. Смешиваются спектральные признаки пшеницы и обнаженной почвы
Подсолнечник	1	5	С невысоким проективным покрытием — яркостные признаки незначительно отличаются от вспаханных почв
	2	6	С очень низким проективным покрытием — признаки, аналогичные признакам вспаханных почв

Культура	Категория / номер эталона		Степень отличия от других типов сельхоз культур
	1	7	
Многолетние травы	1	7	Первая категория — с высоким проективным покрытием имеет характерные отличительные признаки
	2	8	Вторая категория — территории, где недавно проводилось скашивание — значительно отличные от предыдущей категории, характерные признаки
Кукуруза	1	9	По причине невысокого проективного покрытия спектральные признаки близки к спектру обнаженных почв

Таким образом, установлено, что целесообразно дешифровать не отдельные сельскохозяйственные культуры, а их категории.

Вторая часть экспериментальных исследований заключалась в создании спектральных эталонов для категорий культур, представленных в табл. 2, выполнении классификации с обучением и оценки ее точности. Для достоверного сопоставления эффективности индексов необходимо обеспечить аналогичность условий их применения. К ним относятся:

1. Применение одних и тех же участков на снимке для создания спектральных эталонов для каждого индекса.
2. Использование одних и тех правил классификации спектральных признаков. В нашем случае классификация проводилась по правилу максимального правдоподобия.
3. Точность классификации оценивалась как процент правильно распознанных полей той или иной категории культуры. Кроме того, по итогам дешифрирования оценивалась суммарная точность классификации культур по снимку и значениям каждого индекса.

Результаты и их обсуждение

Сравнение результатов дешифрирования сельскохозяйственных культур (табл. 3) показало различную точность дешифрирования категорий культур. Различная степень распознаваемости категорий культур подтвердила необходимость их отдельного рассмотрения и создания для каждой из них собственного спектрального эталона.

Таблица 3. Точность дешифрирования сельскохозяйственных культур по исходному снимку и картограммам его спектральных индексов (%)

Значения исходного снимка или индекса	Культура									
	Я	Пш1	Пш2	Пш3	Под1	Под2	Мн. т1	Мн. т2	К	Итог
Снимок	100	28	0	0	77,8	38,9	33,3	70	62,2	44,6
PC	100	4	76,9	88,9	88,9	38,9	33,3	70	60	56,5
KT	100	4	80,8	88,9	88,9	11,1	33,3	70	71,1	57,1
ND32	88,9	4	7,7	88,9	77,8	33,3	41,7	50	42,2	40,2
ND53	38,9	44	88,5	55,6	44,4	11,1	33,3	10	11,1	35,9
ND54	100	0	61,5	88,9	88,9	22,2	12,5	40	64,4	48,9
ND57	66,7	12	96,2	44,4	88,9	0	4,2	50	80,0	51,1
NDVI	5,6	0	34,6	88,9	77,8	0	29,2	50	75,6	38,6
NLI	94,4	0	0	88,9	77,8	33,3	16,7	60	60	40,8
RDVI	100	0	0	77,8	88,9	11,1	16,7	60	71,1	41,8
SAVI	100	0	34,6	0	77,8	5,6	33,3	50	73,3	44,0
TM43	100	0	42,3	66,7	77,8	5,6	33,3	40	75,6	48,4
TM54	94,4	0	57,7	88,9	88,9	22,2	20,8	30	64,4	48,4
TM57	100	0	30,8	66,7	77,8	0	29,2	10	91,1	47,8

* Я — ячмень; Пш1, Пш2, Пш3 — категории пшеницы; Под1, Под2 — категории подсолнечника; Мн. т1, Мн. т2 — категории многолетних трав; К — кукуруза.

По сравнению с исходным снимком более высокую точность дешифрирования показали индексы ND54, ND57, TM 43, TM 54, TM57 (см. табл. 1) и особенно индексы PC (главные компоненты) и KT (компоненты Tasseled Cap). Точность классификации культур по картограммам последних двух индексов оказалась на 22 % выше, чем по исходному снимку. Причем, особенно эффективно применения этих преобразований для дешифрирования пшеницы с низким и средним проективным покрытием, когда она формирует на снимках спектральный отклик совместный со спектральным откликом почв, на которых она произрастает.

Другой важный момент заключался в выявлении индексов, информативных для дешифрирования отдельных категорий культур. Например, индекс ND57 эффективен для выявления пшеницы со средним проективным покрытием, а индекс TM57 — для распознавания кукурузы с очень низким проективным покрытием, т. е. фактически данный индекс наиболее информативен для дешифрирования вспаханных почв. Некоторые культуры, например, ячмень яровой, судя по полученным данным, дешифрируются очень достоверно, причем по значениям сразу нескольких спектральных индексов.

Рисунок 2 характеризует суммарную точность дешифрирования культур на основе снимка и значений конкретного индекса, т. е. суммарная точность автоматизированного дешифрирования анализируемых культур варьирует от 36 до 57,5 %, а максимальная точность дешифрирования отдельных категорий культур достигает 87...100%.

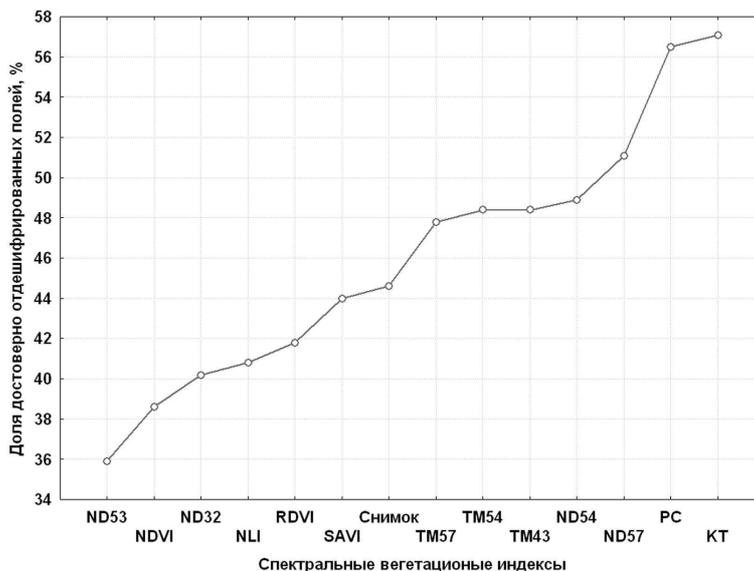


Рис. 2. Суммарная точность дешифрирования сельскохозяйственных культур по исходному снимку и картограммам спектральных индексов

Выводы

Анализ точности дешифрирования сельскохозяйственных культур по многозональным снимкам позволил установить следующее, что точность дешифрирования культур очень сильно варьирует, от 100 % (ячмень яровой) до 10 % (пшеница с очень высоким проективным покрытием). Большинство культур дешифрируется наиболее достоверно по снимкам, преобразованным в 1, 2, 3 главные компоненты или в компоненты Tasseled Cap. Общая точность дешифрирования культур составили 57,1 % с максимумом 100 % для ячменя ярового. Установлено, что преобразование снимка в первые три главные компоненты или компоненты Tasseled Cap значительно повышает точность автоматического дешифрирования большинства культур.

Литература

1. *Ершов Д.В.* Методика оценки покрытой лесом площади по спутниковым изображениям спектро-радиометра MODIS среднего пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4. № 2. С. 217–225.
2. *Ефременко В.В., Чимитдориев Т.Н.* Об использовании различных индексов вегетации в дистанционном зондировании экосистем // Исследование Земли из космоса. 1998. № 3. С. 49–56.
3. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Крупномасштабные изменения в бореальных лесах Евразии и методы их оценки с использованием космической информации // Лесоведение. 2003. № 2. С. 3–9.
4. *Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Федченко П.П.* Аэрокосмические исследования почв и растительности. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 360 с.
5. *Плотников Д.Е., Барталев С.А., Жарко В.О., Михайлов В.В., Просяникова О.И.* Экспериментальная оценка распознаваемости агрокультур по данным сезонных спутниковых измерений спектральной яркости // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Вып. 8. Т. 1 С. 199–208.
6. *Савин И.Ю., Барталев С.А., Лузян Е.А., Толтин В.А., Хвостиков С.А.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Вып. 7. Т. 3 С. 275–285.
7. *Терехин Э.А.* Анализ каналов спутниковых данных LANDSAT TM для оценки характеристик лесных насаждений Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности // Исследование Земли из космоса. 2012. № 2. С. 53–61.
8. *Терехин Э.А.* Повышение эффективности мониторинга земель лесного фонда Белгородской области методами дистанционного зондирования: Автореф. ... дис. канд. геогр. наук: 25.00.26. Белгород, 2011. 23 с.
9. *Терехов А.Г.* Эмпирические зависимости между элементами продуктивности яровой пшеницы Северного Казахстана и спектральными характеристиками полей по данным EOS MODIS в сезонах 2005–2009 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Вып. 3. Т. 7. С. 305–314.
10. *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 Ecology and Biogeography. 2001. V. 10. P. 379–387.
11. *Freitas S., Mello V., Cruz C.* Relationships between forest structure and Vegetation indices in Atlantic Rainforest // Forest Ecology and Management. 2005. V. 1–3. N. 218. P. 353–362.

The Efficiency of Spectral Indices for Interpretation Agricultural Vegetation

E.A. Terekhin

*Belgorod State University,
Federal and Regional Centre For Aerospace Monitoring of Natural Resources
308015, Belgorod, Pobedy, 85
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

The results of studies of the effectiveness of the spectral transformation of multispectral imagery for the automated interpretation of crops typical of the Belgorod region. The accuracy of interpretation of certain crops on the original image and cartograms of the indices derived from it has been compared. It is established that the most informative for the interpretation of most crops are converting the image according to the method of principal components and transformation Tasseled Cap.

Keywords: crops, interpretation, classification learning, spectral vegetation indices.