УДК 528.88

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ ЛИНИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Украинский П.А., Землякова А.В.

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: ukrainski@bsu.edu.ru

Исследованы спектральные свойства почв Белгородской области по космическому снимку Landsat 5TM. Проанализировано положение яркостей открытой поверхности почвы в двумерном пространстве спектральных признаков. Установлено, что для зональных типов и подтипов почв лесостепи можно построить единую почвенную линию. Наклон этой линии составляет 1,51, а координата пересечения почвенной линией оси ординат равна -0,20. При дешифрировании открытой поверхности пахотных почв наибольшую эффективность имеет индекс WDVI. Он дает самый высокий показатель отделимости (М-статистика) почвы от сельскохозяйственной растительности. Для дешифрирования применен метод квантования полутонового изображения. Достигнута высокая точность распознавания открытой почвы, полученная на основе матрицы ошибок (92,8%).

Ключевые слова: дешифрирование, мониторинг, космические снимки, открытая почва, пашня, почвенная линия, спектральные индексы, Landsat

DETERMINATION OF THE SOIL LINE PARAMETERS FOR AUTOMATED DETECTION OF BARE SOIL ON SPACE PICTURE

Ukrainskiy P.A., Zemlyakova A.V.

Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: ukrainski@bsu.edu.ru

The investigation of the spectral properties of the soils of the Belgorod region by satellite images Landsat. Analyzed the position of bare soils in the two-dimensional space of spectral features (NIR/RED scatter plot). Been established that for zonal soil types and subtypes can build a single soil line. The slope of the soil line is 1.51, and the coordinate of the soil line crossing the y-axis is equal to -0.20. On the basis of these parameters can be calculated a series spectral indices: PVI, WDVI, MSAVI, TSAVI and RVIc. With recognition of bare soils has the highest efficiency index WDVI. It has the highest indicator of soil separability (M-statistics) from agricultural vegetation. Practical testing of the index, calculated on the basis of parameters derived by us soil line held during the automated recognition of bare soil. For this used the method of density slice of grayscale image. Accuracy of recognition assessed by constructing a confusion matrix. Been achieved recognition accuracy of bare soil equal to 92.8%.

Keywords: image interpretation, monitoring, space picture, bare soil, arable land, soil line, spectral indices, Landsat

Дешифрирование открытой поверхности почвы является одной из ключевых задач в аэрокосмическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения. Оно предваряет все направления дистанционных исследований почвенного покрова. В Белгородской области сведения о площади и расположении свежераспаханных полей востребованы в рамках дистанционного мониторинга землепользования. Наличие этих данных позволит контролировать внедрение безотвальной вспашки, консервацию земель на крутосклонах и в водоохранных зонах, соблюдение почвозащитных севооборотов [3, 6]. Все эти мероприятия предусмотрены рядом областных программ, интегрированных в концепции бассейнового природопользования [1].

На современном этапе развития методов обработки космических снимков актуальным является автоматизация выделения участков открытой почвы. Среди методов автоматизированного дешифрирования особенно перспективен метод спектральных индексов. В отличие от контролируе-

мой и неконтролируемой классификации он дает возможность задавать четкие количественные критерии выделения искомого объекта на снимке. Тем самым создается возможность для наиболее полной формализации и стандартизации методики дешифрирования.

Среди всего разнообразия спектральных индексов особый интерес для дешифрирования открытой почвы представляют индексы, основанные на параметрах почвенной линии, концепцию которой впервые предложили Richardson и Wiegand. Почвенная линия — это линия, описывающая вариации яркостей почвы в двумерном пространстве спектральных индексов. Осями этого пространства являются отражение в красной и ближней инфракрасной части спектра [10].

Почвенная линия может быть выражена в виде уравнения линейной функции. Но коэффициенты этого уравнения (параметры почвенной линии) не являются универсальными и различаются по крупным географическим регионам. Поэтому для ис-

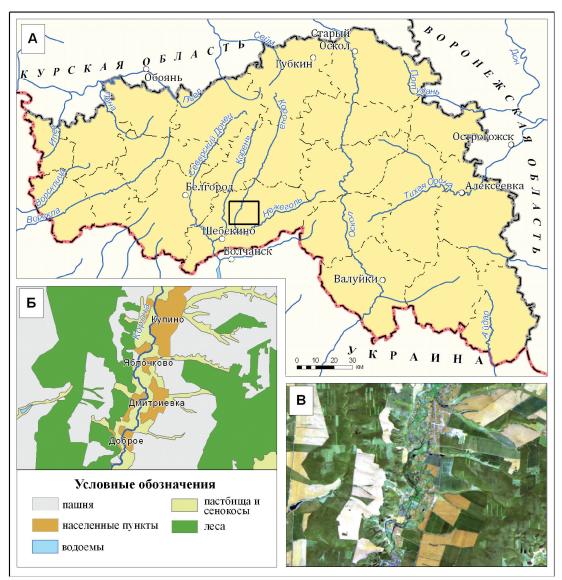
пользования описанного подхода к дешифрированию открытой почвы на территории Белгородской области необходимо решить две задачи:

- определить параметры почвенной линии (наклон, координата пересечения с осью абсцисс, угол наклона почвенной линии, координата пересечения с осью ординат);
- определить наиболее эффективный спектральный индекс, использующий параметры почвенной линии.

Материалы и методы исследования

Для изучения параметров почвенной линии выбран исследуемый участок в Шебекинском районе Белгородской области, представляющий собой прямоугольник площадью 156 км², который расположен в междуречье рек Нежеголь, Корень и Короча (рис. 1 А, Б). В почвенном покрове здесь имеются все зональные типы и подтипы почв лесостепи: серые лесные почвы, темно-серые лесные, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы [7]. Геоморфологически эта территория достаточно разнообразна, чтобы охватить связанные с рельефом вариации почвенных свойств, характерные для Белгородской области[5].

Для дешифрирования почвенного покрова использовался снимок со спутника Landsat 5TM (от 6 мая 2007 г, номер кадра (path/row) в системе нумерации WRS-2 – 177/025). Пространственное разрешение снимка составляет 30 м/пиксель. Спектральное разрешение – 6 каналов в видимой, средней и ближней инфракрасной части спектра. Радиометрическое разрешение – 8 бит, что соответствует 256 градациям яркости.



Puc. 1. Расположение исследуемого участка:

A – исследуемый участок на территории области; Б – структура землепользования на исследуемом участке; В – космический снимок Landsat 5TM на исследуемый участок

На снимке визуально четко разделяются подтипы почв (рис. 1 В). В комбинации каналов 7:5:3 для черноземов характерен карамельный цвет. Типичные черноземы отличаются от оподзоленных и выщелоченных более темным оттенком. Лесные почвы имеют серовато-сизый цвет. Для серых лесных почв характерны более светлые его оттенки, а для темно-серых – более темные оттенки, с примесью карамельного цвета [7].

Весь цикл обработки снимка выполнялся в программе ENVI 4.8. Предварительная обработка заключалась в его радиометрической калибровке (пересчет цифровых значений яркости в отражение, в процентах). Тематическая обработка состояла из следующих этапов:

- 1) создание маски открытой поверхности почвы;
- 2) извлечение данных о спектральной отражательной способности;
 - 3) определение параметров почвенной линии;
- 4) оценка эффективности спектральных индексов, основанных на параметрах почвенной линии и определении самого эффективного индекса;
- 5) экспериментальная проверка точности дешифрирования открытой поверхности почвы с использованием выбранного индекса.

На основе визуального дешифрирования была создана область обработки — маска полей с открытой поверхностью почвы. Из нее извлечена информация о спектральной отражательной способности для каждого канала и сохранена в виде текстового файла. Затем эти данные были экспортированы в программу Excel, где был построен график рассеивания с линейным трендом и описывающим его уравнением.

Полученные значения были использованы для расчета ряда спектральных индексов [9]:

$$WDVI = NIR-g \times RED \tag{1}$$

$$PVI = \sin(a) \times NIR - \cos(a) \times RED$$
 (2)

$$MSAVI = ((NIR-RED)/(NIR+RED-L))\times(1+L)$$
 (3)

TSAVI =
$$(g \times (NIR-g \times RED-b))$$
:
: $(b \times NIR+RED-g \times b + X(1+g^2))$ (4)

$$RVIc = (NIR-b)/RED,$$
 (5)

где NIR — отражение в ближней инфракрасной части спектра; RED — отражение в красной части спектра; g — почвенной линии; b — координата пересечения почвенной линией оси ординат; а — угол между почвенной линией и осью абсцисс; X — коэффициент коррекции, для уменьшения почвенного шума равный 0,08; L — это корректировочный коэффициент который равен L=1-2×g×NDVI×WDVI.

При оценке эффективности спектральных индексов было учтено, что легче всего поддаются дешифрированию объекты, однородные по своим спектральным признакам и имеющие значительный спектральный контраст с соседними объектами. К таковым относятся водные объекты на фоне суши или снег и лед рядом с незаснеженными поверхностями [2, 4].

Для оценки отделимости дешифрируемого объекта на индексном изображении использована М-статистика, предложенная Kaufman и Remer в 1994 году [8]:

$$M = |(\mu_s - \mu_v) / (\sigma_s + \sigma_v)|, \tag{6}$$

где μ_s — среднее значение для почвы; μ_v — среднее значение для сельскохозяйственной растительности; σ_s — стандартное отклонение для почвы; σ_v — стандартное отклонение для сельскохозяйственной растительности.

Значение М-статистики более 1,0 указывает на хорошую разделимость дешифрируемых классов объектов.

Индекс, показавший наибольшую эффективность, был применен для дешифрирования открытой поверхности почвы на исследуемом участке. При этом была применена маска населенных пунктов для исключения из расчетов оголенной почвы на приусадебных участках. Дешифрирование выполнено автоматизировано, с помощью процедуры квантования. Для оценки его точности была построена матрица ошибок. В качестве эталона была использована маска открытой поверхности почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования получено следующее уравнение, описывающее почвенную линию:

$$NIR = 1.51 \cdot RED - 0.20$$
 (7)

Коэффициент 1,51 — это наклон почвенной линии (g). Его arctg дает нам угол между почвенной линией и осью абсцисс (а), который равен 56°. Угол между почвенной линией и осью ординат равен, соответственно 34°. Число –0,20 — это координата пересечения почвенной линией оси ординат (b). Координата пересечения оси абсцисс равна 0,13.

Облака значений для различных типов и подтипов располагаются вдоль этой линии, т.е. ее параметры для всех рассмотренных типов и подтипов почв будут близкими (рис. 2). Этот вывод подтверждается и высоким коэффициентом детерминации для уравнения почвенной линии (R² = 0,94). Следовательно, эти параметры можно использовать для выделения открытой поверхности почвы, и неоднородность почвы на уровне типов и подтипов не будет сказываться на качестве дешифрирования.

Близкое к почвам расположение в двумерном пространстве спектральных признаков имеют выходы горных пород и поверхности искусственных материалов. Поэтому они могут ошибочно распознаваться как оголенная почва при дешифрировании. Также с облаком значений яркостей почвы частично пересекается облако значений яркостей водоемов (рис.°2). Вероятность ошибок дешифрирования здесь меньше и ошибочно распознаваться могут небольшие по площади и мелководные водоемы.

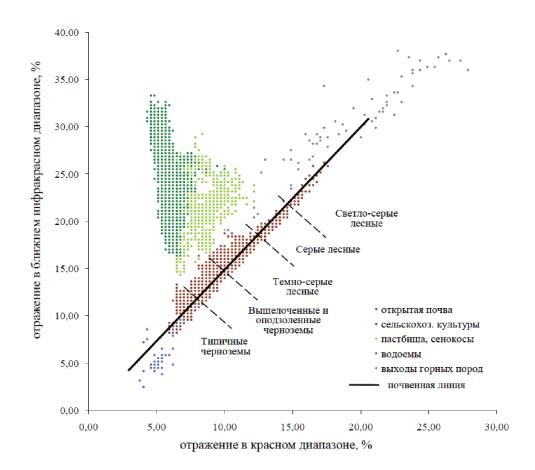


Рис. 2. Положение почвенной линии в двумерном пространстве спектральных признаков

Показатель отделимости оголенной почвы от сельскохозяйственнию растительности приведен в таблице. Самое высокое его

значение характерно для индекса WDVI, что теоретически указывает на высокую точность дешифрирования с помощью этого индекса.

Отделимость открытой поверхности почвы при использовании различных спектральных индексов

Индексы	Диапазон значений для открытой почвы	Отделимость от растительности (М-статистика)
PVI	-0,70 2,00	1,71
WDVI	-2,00 2,50	3,00
MSAVI	0,00 0,50	2,63
TSAVI	-0,30 0,70	0,06
RVIc	1,30 2,00	2,47

Практическая оценка эффективности индекса WDVI получена на основе анализа

результатов дешифрирования открытой почвы на снимке Landsat 5TM (рис. 3).



Рис. 3. Результаты классификации открытой почвы: зеленый цвет – верно распознанные пиксели; голубой цвет – ошибки пропуска; желтый цвет – ошибки приписки

Точность дешифрирования открытой поверхности почвы составила 92,8%. Из пикселей, распознанных, как оголенная почва, 7,3% приходится на ошибки пропуска и 4,8%— на ошибки приписки. Такой точностью дешифрирования подтверждается предварительный вывод об эффективности индекса WDVI для распознавания открытой поверхности почвы.

Выводы

- 1. Для зональных типов и подтипов почв лесостепи можно построить единую почвенную линию.
- 2. Спектральные индексы, рассчитываемые на основе параметров почвенной линии, могут успешно применяться для дешифрирования оголенной пашни.
- 3. Наиболее эффективным спектральным индексом при дешифририровании открытой поверхности почвы является WDVI.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям социально-экономического развития Белгородской области (договор № Г-03 от 10.11. 2013 г.)

Список литературы

1. Бассейновый подход к организации природопользования в Белгородской области: монография / Ф.Н. Лисецкий, А.В. Дегтярь, А.Г. Нарожняя, О.А. Чепелев, Я.В. Кузьменко, О.А. Маринина, А.В. Землякова, Ж.А. Кириленко,

- О.М. Самофалова, Э.А. Терехин, П.А. Украинский; под ред. Ф.Н. Лисецкого. Белгород: Константа, 2013. 88 с.
- 2. Изучение связи запыленности снега с его спектральной отражательной способностью / О.А. Чепелев, О.М. Ломиворотова, П.А. Украинский, Э.А. Терехин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. С. 1162-1166.
- 3. Особенности дистанционного выявления залежных участков и проблемы целевого использования земель сельскохозяйственного назначения / О.А. Маринина, Э.А. Терехин, Ж.А. Кириленко, Д.М. Курлович, Н.В. Ковальчик // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: http://www.science-education.ru/111-10211 (дата обращения: 03.06.2014).
- 4. Применение современных информационных технологий для изучения динамики берегов Белого моря / А.Е. Цыганкова, П.А. Украинский, О.В. Цыганкова, С.В. Бердников // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 5. С. 110-114.
- 5. Смирнова Л.Г., Украинский П.А., Новых И.Е. Закономерности пространственного распределения гумуса в почвах эрозионных агроландшафтов // Достижения науки и техники АПК. 2010. N2 9 С. 19-21.
- 6. Терехин Э.А. Методические основы оценки площади чистых паров на основе данных дистанционного зондирования // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. -2014. -T. 26. -№ 3 (174). -C. 148-156.
- 7. Украинский П.А. Оценка земель сельскохозяйственного назначения по показателям плодородия для дистанционного мониторинга: автореф. дисс. канд. геогр. наук. Белгород, 2011. 23 с.
- 8. Kaufman Y.J., Remer L.A. Detection of forests using mid-IR refl ectance: an application for aerosol studies // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1994. V.32. P. 672-683.
- 9. Ray T.M. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing // Yale Center for Earth Observation. URL: http://www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html (дата обращения: 2.07.2014).
- 10. Richardson A.J., Wiegand C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. // Photogramm. Eng. Remote Sens. 1977. V.43. P. 1541-1552.