
REMOTE METHODS OF SOIL INVESTIGATION



S. G. Chornyiy Dr. Sci. (Agric.), Professor
D. O. Abramov

UDK 631.445.41

*Mykolayiv National Agrarian University,
Mykolayiv, Ukraine,
e-mail: s.g.chornyiy@gmail.com*

DETERMINATION OF SOIL LINE PARAMETERS OF RIGHT-BANK UKRAINE CHORNOZEMS BY MEANS OF "LANDSAT-7" SPECTRAL SATELLITE IMAGES

Abstract. Identification of soil properties and soil processes using remote sensing satellite methods is necessary technology in the procedures of soil mapping and soil monitoring, by intensive development of various processes of soil degradation – erosion, salinization, solonchification, underflooding, etc.

A spectral reflectance is important color characteristic of the bare soil. Spectral reflectance can be related to site-specific soil conditions within a field, especially organic C content, mineralogical composition of the parent material, as well as, CaCO₃ soluble salts, oxides of iron content, etc.

New interpretation of spectral reflectance data is the concept of the soil line - linear relationship between the near-infrared (NIR) and red (R) reflectance of bare soil as characterized by slope (β_1) and intercept parameters (β_0). For identification of soil line parameters Right-Bank Ukraine black soil ("chornozem") a data of multispectral scanning by American satellite «Landsat-7» was used. Five scenes of 2011 and 2012 spring were used. Analysis of the structure of crop area in the region showed that the end of March - beginning of May is the most favorable period for remote sensing of the soil surface, as during this period the soil as not covered agricultural vegetation.

The presence of vegetation on the surface of the soil and its density is generally determined through various vegetation indices. The most often used indicators - NDVI, RVI, NRVI. The analysis of the published data showed that the critical values of these indices, showing the almost complete absence of vegetation on the surface of the soil following - to NDVI = -0,05 - +0,05, RVI = +0,90 - +1,10, NRVI = -0,06 - +0,05. Using these criteria 752 pixel with the bare soil were selected.

For the southern and ordinary chornozem a linear equation of the soil line had the coefficient of determination (r^2) 0.89 (n=306) and 0.92 (n=446), respectively. A value by slope (β_1) for southern chornozem 1.05 and ordinary chornozem 1.01 were corresponded. The intercept parameter (β_0) had a value -3.83 and -3.68, respectively.

Organic C content, which, as it is known, determines the reflectance of the soil surface in the red and (or) the near-infrared range, is not only the color basis for southern chornozems soil line have shown. The soil line parameters of southern chornozem by the combination of organic C content, qualitative composition of soluble salts and presence solonchicity in the top soil's layer was defined.

At the same time, the parameters of ordinary chornozems soil line, against background monotonous bedrock, only the organic C content (humus content) determining. The change under the influence of soil erosion, when plowing lower horizons with low content of humus led to the clarification of the soil surface the parameters of the line soils.

© S. G. Chornyiy, D. O. Abramov, 2013

A strong similarity of southern and ordinary chernozems soil lines visual analysis shows however.

For a quantitative estimation of differences (similarity) equations describing line soils ordinary and southern chernozems the following procedure was performed. Randomly selected arguments allowed simulating by these equations and getting two sample values NIR separately for southern chernozems and separately for ordinary chernozems. Then was determined by the degree of the differences (and similarities) of these samples using the nonparametric criterion χ^2 (Pearson criterion). Calculations showed that the empirical value of criterion χ^2 (0,62) much less than its theoretical (standard) values at 95% probability (12,59, at $v=6$). I.e., differences at the specified level of significance between samplings not observed.

Use of Pearson criterion and graphical analysis to admit the possibility of obtaining for both subtypes of chernozem the single soil line. The generalizing soil line has the following parameters: $r^2 = 0.88$ ($n = 752$), $\beta_1 = 1.01$, $\beta_0 = -2.96$.

Line soils with these settings and allows its use for the identification of chernozems in satellite images, use in procedures mapping of soil cover, as well as to make assessment of the degree of heterogeneity of the soil cover.

Keywords: soil line, multispectral scanning, vegetation indices, soil erosion, southern chernozem, ordinary chernozem.

УДК 631.445.41

С. Г. Чорний

д-р с.-г. наук, проф.

Д. О. Абрамов

Миколаївський національний аграрний університет,

м. Миколаїв, Україна,

e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЇ ҐРУНТІВ ЧОРНОЗЕМІВ ПРАВОБЕРЕЖНОЇ УКРАЇНИ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ «ЛАНДСАТ-7»

Параметри ліній ґрунтів звичайних і південних чорноземів Правобережної України, які отримані за даними багатоспектрального сканування, що виконувалося супутником «Ландсат-7» залежить від складної комбінації спектральних здібностей до відбивання поверхні цих ґрунтів. При цьому суттєвої, статистично достовірної різниці між параметрами лінії ґрунтів південних чорноземів та лінії ґрунтів звичайних чорноземів не виявлено та запропоновано використовувати єдину для чорноземів регіону лінію.

Ключові слова: лінія ґрунтів, багатоспектральне сканування, вегетаційні індекси, ерозія ґрунтів, південний чорнозем, звичайний чорнозем.

УДК 631.445.41

С. Г. Черный

д-р с.-х. наук, проф.

Д. А. Абрамов

Николаевский национальный аграрный университет,

г. Николаев, Украина,

e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ПОЧВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ УКРАИНЫ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ «ЛАНДСАТ-7»

Параметры линий почв обыкновенных и южных черноземов Правобережной Украины, полученные по данным многоспектрального сканирования спутником «Ландсат-7» зависят от сложной комбинации спектральных отражательных способностей поверхности этих почв. При этом существенной, статистически достоверной, разницы между параметрами линии почв южных черноземов и линии почв обыкновенных черноземов не обнаружено и предложено использовать единую для черноземов региона прямую.

Ключевые слова: линия почв, многоспектральное сканирование, вегетационные индексы, эрозия почв, южный чернозем, обыкновенный чернозем.

ВВЕДЕНИЕ

Идентификация свойств почв и почвенных процессов с помощью дистанционных спутниковых методов – необходимая технология в процедурах почвенного картирования и почвенного мониторинга, в частности, в условиях интенсивного развития различных процессов деградации почв – эрозии, засоления, осолонцевания, подтопления и т.п.

Работы последних 20 лет показывают (Baret et al., 1993; Garey et al., Huete et al., 2004; Кравцов, 2005; Fox, Sabbagh, 2008), что почвенные свойства при применении дистанционных методов чаще всего идентифицируются как по косвенным признакам – состоянию растительности, микро- и мезоформ рельефа, так и по прямым признакам. В последнем случае речь, как правило, идет о цветовых параметрах почвенного покрова.

Важной цветовой характеристикой почвы является их спектральная отражательная способность (СОС), которая определяется рядом почвенных параметров – минералогическим составом почвообразующих пород, влажностью почвы, шероховатостью ее поверхности, а также содержанием гумуса, карбонатов, водорастворимых солей, соединений железа, марганца и т.п. (Караванова, 2003, Кравцова, 2005). В настоящей работе речь пойдет об относительно новой интерпретации данных СОС почв, а именно – использовании концепции линии почв (Baret et al., 1993; Кирьянова, 2006).

Линия почв или почвенная линия (*soil line*) – это линейная зависимость между отражательной способностью открытой от растительности поверхности почвы в ближнем инфракрасном (NIR) и красном (R) участке спектра:

$$NIR = \beta_1 \cdot R + \beta_0, \quad (1)$$

где β_1 – угловой коэффициент и β_0 – величина отрезка, который отсекается прямой линией на оси ординат.

На первых этапах использования дистанционных методов при изучении природных и антропогенных ландшафтов в 80-е и 90-е годы XX века концепция линии почв и значение ее параметров, чаще всего, применялись для расчетов так называемых «вегетационных индексов». Последние использовались для минимизации влияния цветовых характеристик почвенного покрова в процедурах оценки состояния растительности дистанционными, в том числе, спутниковыми, методами.

В последнее время предпринимаются попытки применить концепцию почвенной линии в контексте почвенных исследований. Считается, что линия почв и ее параметры имеют определенное прикладное назначение. В частности, ее параметры могут использоваться для идентификации отдельных почвенных свойств на спутниковых изображениях, в процедурах картирования почвенного покрова, оценок его неоднородности и т.п.

Что касается универсальности или уникальности линий почв, то в этом плане существует два подхода. Часть ученых считают, что существует общая универсальная почвенная линия. Например, об общей линии почв со стабильными параметрами β_1 и β_0 (1,166 и 0,042, соответственно) сообщил Хост с соавторами (1984) в работе, посвященной 20 американским почвам с широким диапазоном физических и химических свойств. Гальвао и Виторелло (1998) получили общую линию почв для 14 наиболее распространенных типов почвы в юго-восточной Бразилии с параметрами $\beta_1=1,36$, $\beta_0=0,0117$. Однако ряд авторов (Кирьянова, 2006; Dematté et al., 2009) утверждают, что, скорее всего, каждому типу (подтипу) почв соответствует своя линия почв с индивидуальными величинами параметров (β_1 , β_0). Уникальность линии почв конкретного типа (подтипа) определяется по присущему только этой почве набору относительно стабильных почвенных свойств. Это определенный диапазон содержания гумуса, количество и качественный состав солей в верхнем слое почвы, минералогический состав почвообразующих пород и т.п. В то же время, лабильные свойства верхнего слоя почвенного покрова – содержание влаги

и, определяемая обработкой почвы, шероховатость поверхности, которые также влияют на отражательную способность в ближней инфракрасной составляющей спектра и видимой его части, скорее всего, не определяют количественные параметры линии почв (β_1, β_0).

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения параметров линии почв черноземов Правобережной Украины использовались данные многоспектрального сканирования (МСС), которое осуществляется камерой ЕТМ+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), которая находится на борту американского спутника «Ландсат-7». Камера ЕТМ+ работает в семи частях спектра (спектральных каналах): голубой – 0,45–0,52 мкм, зеленый – 0,53–0,61 мкм, красный – 0,63–0,69 мкм, ближний инфракрасный – 0,78–0,90 мкм, два средних инфракрасных – 1,55–1,75 мкм и 2,09–2,35 мкм, а также тепловой инфракрасный канал – 10,4–12,5 мкм. Элементарная пространственная единица (пиксель на экране дисплея), с которой камера ЕТМ+ получает данные по каждому из семи каналов, равна на местности квадрату в 30×30 м или 0,09 га.

Для получения линии черноземных почв использовались пять сцен весны 2012 года (21.04, 30.04, 09.05) и весны 2011 года (5.04 и 23.05) двух спектральных каналов – 3-го (красный) и 4-го (ближний инфракрасный). Анализ структуры посевных площадей региона показал, что конец марта – начало мая является наиболее благоприятным периодом для дистанционного зондирования поверхности почвы, так как в этот период почва максимально не покрыта сельскохозяйственной растительностью. Снимки загружались с сервера Геологической службы США (USGS) (www.glovis.usgs.gov). Для спектрального анализа снимков использовалось специальное программное обеспечение – ENVI 4.8. Значение СОС или величины яркости в каждом из спектральных каналов определяется по масштабированной шкале от 0 до 255. Значение 0 соответствует минимальной величине отражения поверхностей.

В качестве стационарных тестовых участков использовались несколько полей с разными почвами. Это поля №6 и №7 УНПЦ (учебно-научно-практического центра) Николаевского национального аграрного университета (ННАУ), площадью в 328 га и расположенные в Николаевском районе Николаевской области, с модальными черноземами южными средне- и тяжелосуглинистыми. Здесь также имеются эродированные варианты южных черноземов. С координатами северо-восточного угла участка – 46°55'20,4" с.ш. и 31°40'57,9" в.д. (участок 1 на рис. 1). Следующим объектом для получения информации были фермерские земли на восточной окраине села Шевченково Жовтневого района Николаевской области, с черноземами южными солонцеватыми тяжелосуглинистыми площадью в 104 га, с координатами северо-восточного угла участка – 46°51'52,6" с.ш. и 32°15'28,9" в.д. (участок 2 на рис. 1). И наконец, СОС черноземов обыкновенных изучались на двух полях в Братском районе Николаевской области. Это земли фермерского хозяйства «Олена» с модальными черноземами обыкновенными тяжелосуглинистыми, а также с черноземами обыкновенными разной степени эродированности, площадью в 149 и 88 га, с координатами крайне северного угла участков 47°46'04,0" с.ш., 31°46' 09,2" в.д. и 48°03'15,9" с.ш., 31°40' 09,2" в.д., соответственно (участки 3 и 4 на рис. 1).

Известно (Кирьянова, 2006), что плотный растительный покров не позволяет изучать СОС почвенного покрова. Наличие растительности на поверхности почв и его плотность, как правило, рассчитывается через различные вегетационные индексы. Наиболее часто применяются следующие показатели (Кирьянова, 2006) – NDVI, RVI, NRVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

$$RVI = \frac{RED}{NIR}, \quad (3)$$

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}. \quad (4)$$

В (2–4) NIR – значение яркости ближнего инфракрасного канала, RED – значение яркости красного канала.



Рис. 1. Схема расположения опытных участков:

1 – поля № 6 и № 7 УНПЦ ННАУ; 2 – фермерские земли Жовтневого района;
3, 4 – земли фермерского хозяйства «Олена»

Анализ литературных данных (Кирьянова, 2006) показал, что критическими значениями этих индексов, показывающие на практически полное отсутствие растительности на поверхности почвы следующие – для NDVI = -0,05 – +0,05, для RVI = +0,90 – +1,10, для NRVI = -0,06 – +0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего из пяти сцен было отобрано 306 пикселей без растительности, характеризующие СОС только южных черноземов и 446 пикселей без растительности, характеризующие СОС только черноземов обыкновенных. Полученные линии почв для этих почвенных подтипов показаны на рисунке 2.

Для черноземов южных линия почв будет иметь следующее уравнение (n=306):

$$NIR = 1,05 \cdot R - 3,83, \quad (5)$$

при этом коэффициент детерминации (r^2) равняется 0,89, а стандартная ошибка (σ_0) – 2,99.

Для черноземов обыкновенных уравнение линии почв имеет следующий вид (n=446):

$$NIR = 1,01 \cdot R - 3,68. \quad (6)$$

Коэффициент детерминации (r^2) в этом случае будет равняться 0,92, а стандартная ошибка (σ_0) – 1,46.

Таким образом, для двух подтипов черноземов Правобережной Украины получены достаточно надежные, с высокими значениями коэффициентов детерминации уравнения линии почв.

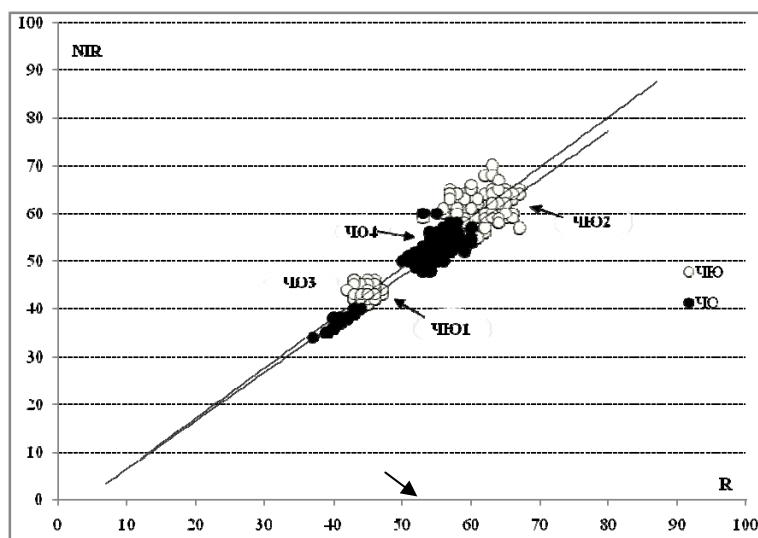


Рис. 2. Линии почв южных и обыкновенных черноземов Правобережной Украины

Анализ данных, на основании которых были построены обе линии почв, показывает, что их параметры при одинаковой подстилающей породе и гранулометрическом составе почвы зависят от сложной комбинации почвенных свойств. Во всяком случае, содержание гумуса, которое, как известно в значительной мере (Орлов, 2001; Караванова, 2003; Кравцова, 2005; Черный, 2013), определяет яркости поверхности почвы в красном и (или) ближнем инфракрасном диапазоне, не является единственной цветовой основой такой прямой. Например, выборка, на основании которой была построена линия почв для южных черноземов, распадается на два массива, скорее всего с разными свойствами почв в верхнем слое. Выборка ЧЮ1 (рис. 2) представлена модальными и эродированными черноземами южными средне- и тяжелосуглинистыми с содержанием гумуса в слое почвы 0–10 см 3,8–6,7 %. Столь большой диапазон связан с наличием почв разной степени эродированности, а также наличием намывных почв в нижних частях склонов. При этом, следует отметить, что относительно линии почв данные по выборке ЧЮ1 не разнесены, а легли достаточно кучно. В таблице 1 представлены статистические параметры рядов значений яркостей в видимых частях спектра и ближнем инфракрасном. Следует отметить, что дисперсии рядов яркостей в красном и инфракрасном частях спектра в выборке ЧЮ1 незначительные и, в частности, они намного меньше значений дисперсий в выборке ЧЮ2. То есть большой перепад в значениях содержания гумуса и, вероятно, содержания карбонатов (для эродированных почв) существенно не повлиял на СОС этих почв – они имеют меньшую яркость по сравнению с почвами выборки ЧЮ.

Вторая выборка ЧЮ2 (рис. 2) представлена солонцеватыми южными черноземами с содержанием гумуса в слое 0–10 см 2,9–3,2 %, а также наличием большого содержания натрия в ППК и воднорастворимых солей. При этом точки выборки ЧЮ2 расположены на рисунке 2 менее кучно, с большим разбросом относительно линии почв и по сравнению с выборкой ЧЮ1. Скорее всего, такой разброс определяется влиянием на СОС сложной комбинацией гумусовых параметров, солями и солонцеватостью в верхнем слое почвы.

Значения яркостей в красной и инфракрасной части спектра здесь более высокие по сравнению с данными выборки ЧЮ1. То есть, наличие солей и

солонцеватость делает поверхность почвы более светлой по сравнению с модальными и эродированными южными черноземами, невзирая на наличие среди последних увеличенного содержания карбонатов (*таблица*). При всем этом, следует отметить, что разница между значениями каждой пары яркостей статистически существенна, что подтверждается рассчитанной величиной статистики Т Стьюдента, которая значительно выше теоретических величин на всех известных уровнях значимости.

Статистические параметры рядов наблюдений, характеризующих яркости поверхности почв

Канал камеры ЕТМ+ (длина волны, мкм)	Почва	Среднее (М)	Дисперсия (σ)	Ошибка среднего (m)	Статистика T_{st}^*
Чернозем южный					
3 (0.63–0.69)	ЧЮ1	44,9	0,92	0,06	16,63
	ЧЮ2	61,6	8,09	0,94	
4 (0.75–0.90)	ЧЮ1	42,9	1,15	0,08	19,12
	ЧЮ2	61,4	7,37	0,86	
Чернозем обыкновенный					
3 (0.63–0.69)	ЧО3	40,1	3,02	4,09	18,20
	ЧО4	55,1	0,44	0,24	
4 (0.75–0.90)	ЧО3	36,2	3,17	0,47	19,29
	ЧО4	52,2	3,85	0,22	

* $T_{0,05}=1,97$; $T_{0,01}=2,60$; $T_{0,001}=3,34$.

Разброс точек с обыкновенными черноземами обусловлен тем, что почвы из выборки ЧО4 более эродированы, чем почвы выборки ЧО3. Водная эрозия приводит к смыву поверхностных слоев почвы, что вызывает постепенное снижение мощности гумусовых горизонтов, потере органического вещества. На поверхность выходят малоплодородные нижележащие генетические горизонты. Чернозем обыкновенный характеризуется хорошо дифференцированным по окраске профилем, яркости генетических горизонтов сильно различаются и, следовательно, припахивание нижележащих горизонтов приводит к осветлению поверхности почвы. Этот процесс наиболее точно будет выражен в увеличении яркости каналов, параметры которых наиболее тесно связанных с содержанием гумуса в почве – красный и ближний инфракрасный (третий и четвертый каналы камеры ЕТМ+). Что касается исследуемых данных, то, действительно, в нашем случае, разница в яркостях между выборкой ЧО3 и ЧО4 в красном и инфракрасных каналах максимальная – 15,0 и 16,0 единиц, соответственно. Это и привело к формированию двух разных массивов точек с черноземами обыкновенными относительно линии почв (рис. 2).

Следует отметить, что визуально заметна сильная схожесть линий почв обыкновенных и южных черноземов (рис. 2) между собой. Их угловые коэффициенты (β_1) отличаются на относительно небольшую величину – 0,04, а величина отрезка, который отсекается прямой линией на оси ординат (β_0) лишь на 0,17. Поэтому существует необходимость количественно проверить различие (сходство) уравнений 5 и 6 между собой.

Для этой цели была выполнена следующая процедура. Случайно подобранные аргументы, количеством в 52 значения позволили провести моделирование по этим уравнениям и получить две выборки значений NIR отдельно для южных черноземов и отдельно для обыкновенных черноземов. Затем была определена степень различия (сходства) этих выборок с помощью непараметрического критерия χ^2 . Расчеты показали, что эмпирическое значение критерия χ^2 (0,62) намного меньше его теоретических (стандартных) значений при 95 % вероятности реализации (12,59, при $v=6$). То есть, различия на заданном уровне значимости между выборками нет.

Поэтому был сделан вывод о возможности получения единой для обоих подтипов черноземов линии почв. Расчеты при $n = 752$ показали, что такая почвенная линия имеет следующие параметры: $r^2 = 0,88$, $\beta_1 = 1,01$, $\beta_0 = -2,96$, $\sigma_0 = 2,39$. Именно линия почв с такими параметрами и позволяет ее использовать для идентификации черноземов на спутниковых изображениях, и использовать полученные данные в процедурах картирования почвенного покрова, а также делать оценки неоднородности почвенного покрова.

ВЫВОДЫ

Параметры линий почв обыкновенных и южных черноземов Правобережной Украины, полученные по данным многоспектрального сканирования, которое осуществлялось камерой ETM+, что находится на борту американского спутника «Ландсат-7» зависят от сложной комбинации спектральных отражательных способностей поверхности этих почв. Отражательные способности, в свою очередь, определяются такими почвенными свойствами как содержанием гумуса, карбонатов, солей, а также наличием или отсутствием солонцеватости. При этом существенной, статистически достоверной, разницы между параметрами линии почв южных черноземов и линии почв обыкновенных черноземов не обнаружено и предложено использовать единую для черноземов региона прямую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Караванова Е. И.** Оптические свойства почв и их природа / Е. И. Караванова. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – 151 с.
Karavanova, E. I., 2003, "Optical soils properties and their origin", Moscow, MGU, 151 p.
- Кравцова В. И.** Космические методы исследования почв / В. И. Кравцова. – М. : Аспект Прогресс, 2005. – 190 с.
Kravschova, V. I., 2005, "Space methods of soils research", Moscow, Aspect Progress, 190 p.
- Кириянова Е. Ю.** Линия почв как индикатор почвенного покрова / Е. Ю. Кириянова, И. Ю. Савин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 4. – С. 310-318.
Kiryianova, E. Yu., Savin, I. Yu., 2011, "Soil line as an indicator of soil cover heterogeneity", Modern problems of remote sensing to Earth from space, Vol. 8, no. 4, pp. 310–318.
- Орлов Д. С.** Спектральная отражательная способность почв и их компонентов / Д. С. Орлов, Н. И. Суханова, М. С. Розанова. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 176 с.
Orlov, D. S., Sukhanova, N. I., Rozanov, M. S., 2001, "Spectral reflectivity of soils and their components", Moscow, MGU, 176 p.
- Черный С. Г.** Мониторинг гумусового состояния чернозема южного с использованием многоспектральных снимков спутника Landsat 7 / С. Г. Черный, Д. А. Абрамов // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1 (50). – С. 97-105.
Chorny, S. G., Abramov, D. A., 2013, "The humus condition monitoring of chernozem southern with using multispectral satellite image Landsat-7", Soil science and agrochemistry, no. 1 (50), pp. 97–105.
- Baret, F., Jacquemoud, S., Hanocq, J. F., 1993,** "About the soil line concept in remote sensing", *Adv. Space Res.*, no. 5, pp. 281–284.
- Demattê, J. A. M., Huete, A. R., Nanni, L. M. R., Alves, M. C., Fiorio, P. R., 2009,** "Methodology for bare soil detection and discrimination by Landsat TM image", *The open remote sensing journal*, no. 2, pp. 24–35.
- Fox, G. A., Sabbagh, G. J., 2002,** "Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidean distance technic", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, no. 66, pp. 1922–1928.
- Galvao, L. S., Vitorello, I., 1998,** "Variability of laboratory measured soil lines of soils from southeastern Brazil", *Remote Sens. Environ.*, no. 63, pp. 166–181.
- Garey, A., Fox, G. A., Sabbagh, G. J., Searcy, S. W., Yang, C., 2004,** "An Automated Soil Line Identification Routine for Remotely Sensed Images", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, no. 68, pp. 1326–1331.
- Huete, A. R., Jackson, R. D., Post, D. F., 1984,** "Soil spectral effects on 4-space vegetation discrimination", *Remote Sens. Environ.*, no. 15, pp. 155–165.

Стаття надійшла в редакцію: 10.05.2013

Рекомендує до друку: д-р с.-г. наук, проф. М. Є. Опанасенко