

Линия почв как индикатор неоднородностей почвенного покрова¹

Е.Ю. Кирьянова^{1,2}, И.Ю. Савин^{1,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева*

³ *Почвенный институт имени В.В. Докучаева РАСХН*

E-mail: kiryan4ik@mail.ru

Неоднородности почвенного покрова являются важным фактором, определяющим ресурсный потенциал земель и возможности их сельскохозяйственного использования. При этом вопрос оперативного и низкокзатратного картографирования неоднородностей почвенного покрова на сегодняшний день все еще остается нерешенным. В статье рассматривается возможность применения спутниковых данных для оценки неоднородностей почвенного покрова пахотных земель на примере тестовых участков Саратовского Поволжья. Предлагаемый подход основан на концепции почвенной линии (Richardson, Wiegand, 1977) и зависимости между параметрами почвенной линии и свойствами почвенного покрова. Он позволяет осуществить попиксельный анализ почвенного покрова, выявить однородные и контрастные компоненты по цвету открытой поверхности почв и таким образом получить информацию о степени неоднородности почвенного покрова пахотных земель. Данный подход может быть также использован в качестве основы для организации многолетнего попиксельного мониторинга почвенного покрова по спутниковым данным.

Ключевые слова: неоднородности почвенного покрова, почвенная линия, Landsat.

Введение

Почвенный покров любой природной зоны в той или иной степени неоднороден. Пространственные неоднородности почв во многих случаях оказывают существенное влияние на возможности их использования и предопределяют ресурсный потенциал земель в большей степени, чем свойства фоновых почв. Поэтому изучению неоднородностей и контрастности почвенного покрова уделяется значительное внимание при любых почвенно-картографических и земельно-оценочных работах (Фридланд, 1972; Белобров, 1973; Кирюшин, 2000). Однако до сих пор, несмотря на развитие методов компьютерного картографирования почв (Столбовой, Савин, 1996; Савин, 1999, 2003; Scull et al., 2003; McBratney et al., 2003 и др.) проблема картографирования и мониторинга неоднородностей почвенного покрова остается не до конца решенной.

В 70-е годы прошлого века была разработана теория признаков дешифрирования почв (Андроников, 1958; Афанасьева, 1965; Толчельников, 1966). Было показано, что дешифрирование почв может быть осуществлено как по прямым (по цвету открытой поверхности почв), так и по косвенным признакам (по характеру изображения растительности, рельефа, ландшафтной специфике). Следует отметить, что при дешифрировании почвенного покрова пахотных земель значительно повышается роль прямых признаков, а именно характера неоднородностей изображения почвенного покрова.

На спектральную отражательную способность (СОС) поверхности пахотных почв оказывает влияние множество факторов. При этом прямая зависимость СОС поверхности

¹ Работа выполнена в рамках ГК Минобрнауки № 16.515.11.5062 и гранта РФФИ 11-04-01376-а

почв с их классификационным положением на настоящий момент не установлена. Однако, с нашей точки зрения, это не является препятствием для использования СОС поверхности почв как индикатора неоднородностей почвенного покрова и основы для его дистанционного мониторинга. Соответственно, цель данной работы состоит в анализе возможности оценки неоднородностей почвенного покрова пахотных земель по спутниковым данным с использованием концепции почвенной линии (soil line).

Спутниковая информация на сегодняшний день достаточно широко используется для дистанционной оценки различных свойств почв по прямым дешифровочным признакам (Barnes, Baker, 1999; Thomasson et al., 2001; Fox, Sabbagh, 2002; Daughtry, Bausch, 2003; Кравцова, 2005; Metternicht, Zinck, 2009; Lesaignoux et al., 2011).

В качестве факторов, оказывающих влияние на СОС почв, наиболее часто выделяют влажность, структурное состояние, гранулометрический состав, валовое содержание железа, содержание органического вещества, содержание легкорастворимых солей, карбонатов, минералогический состав (Bowers, Hanks, 1965; Sinha, 1986; Coleman et al., 1993; Barnes, Baker, 1999; Орлов, 2001; Fox, Sabbagh, 2002; Daughtry, Bausch, 2003; Brown et al., 2006; Metternicht, Zinck, 2009; Belinaso et al., 2010; Lesaignoux et al., 2011).

Изменение указанных выше почвенных свойств выражается в изменении спектральной кривой. Говоря о видимой и ближней инфракрасной областях спектра можно выделить две группы свойств почвы, приводящих к двум типам изменений (Карманов, 1970; Савин, 1997; Орлов, 2001). Изменение первой группы свойств выражается лишь в изменении величины интегрального отражения, при этом распределение энергии по спектру не меняется, соответственно не меняется сама форма спектральной кривой. К таким свойствам относятся влажность, структурное состояние, гранулометрический состав почв. Изменения второй группы свойств выражаются в изменении характера (формы) спектральной кривой. В данную группу входят химический и минералогический состав почвы, определяющие ее цвет.

Существуют различные подходы к анализу спектральных кривых почв (Карманов, 1970; Richardson, Wiegand, 1977; Орлов, 2001; Lesaignoux et al., 2011). В ходе нашего исследования мы использовали концепцию почвенной линии (Richardson, Wiegand, 1977). Почвенная линия представляет собой зависимость между отражательной способностью открытой поверхности почвы в ближнем инфракрасном (NIR) и красном (R) участках спектра:

$$\text{NIR}=\beta_1\text{R}+\beta_0,$$

где β_1 – угловой коэффициент и β_0 – смещение (величина отрезка, который отсекает прямая на оси ординат, считая от начала координат) (рис.1).

В большинстве случаев почвенная линия используется в основном для оценки состояния растительного покрова, а именно для того чтобы минимизировать влияние почвенного фона на вегетационные индексы (Richardson, Wiegand, 1977; Huete, Jackson, 1984; Bausch, 1993; Yoshioka et al., 2009, 2010; Heute, Yoshioka, 2010).

Richardson, Wiegand (1977) указывали на существование общей почвенной линии. Также общая почвенная линия была получена Huete et al. (1984) для 20 почв, Galvaо и Vitorello (1998) для 14 почвенных типов.

Согласно же Baret et al. (1993), невозможно получить глобальную почвенную линию, характеризующую все почвенные типы, потому что такая линия будет линейной только на

некоторых участках диапазона вследствие колебаний, вызываемых различными почвенными свойствами. Это вполне согласуется с изложенной выше концепцией разделения свойств почв на две группы в соответствии с их влиянием на СОС почв.

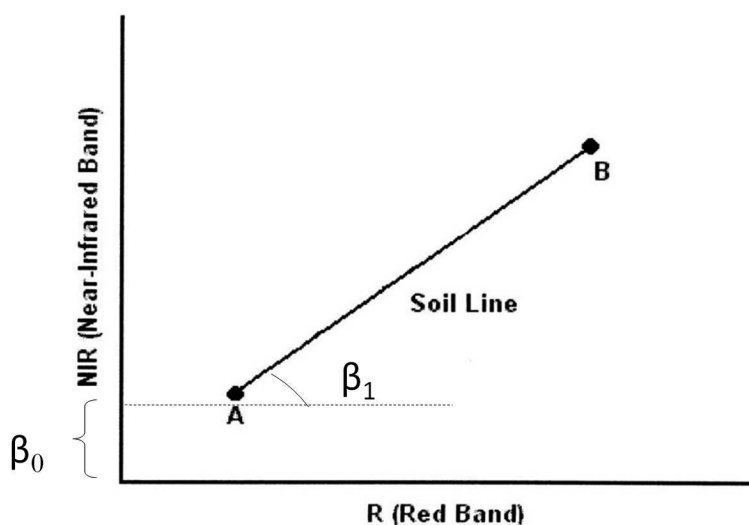


Рис. 1. Почвенная линия (Richardson, Wiegand, 1977)

Объект и методы

Исходя из изложенных выше закономерностей изменения СОС при изменении свойств почв, в качестве теоретической основы для наших исследований было выбрано следующее: результатом изменения первой группы свойств почв (см. выше) будет пропорциональное изменение величин отражения во всех участках спектра, что будет выражаться в изменении положения почвы на почвенной линии. Изменение же формы спектральной кривой, определяющееся свойствами второй группы, должно приводить к переходу почвы с одной почвенной линии на другую. Таким образом, выделяя участки с одинаковыми параметрами линии почв, тем самым мы выделяем однородные по СОС поверхности почв выделы, разница же в параметрах будет свидетельствовать о контрастности и неоднородности СОС открытой поверхности почв. В свою очередь неоднородности СОС могут быть использованы в качестве индикатора неоднородностей и контрастности почвенного покрова региона.

В качестве объекта исследований выступает изображение почвенного покрова пахотных земель Саратовского Поволжья на спутниковых данных Landsat.

Территория исследований представляет собой два ключевых участка, расположенных в северо-восточной части Саратовской области: 1 – ОП «Кручи» (Екатериновский район); 2 – ОП «Татищево» (Татищевский район).

Из-за сложного геологического строения и маломощного чехла четвертичных отложений территория характеризуется достаточно контрастным почвенным покровом.

Для дешифрирования неоднородностей почвенного покрова использовалась информация со спутников Landsat TM 5 (<http://glovis.usgs.gov/>). Всего для анализа было отобрано 17 сцен, полученных Landsat TM 5 с 1984 по 2010 гг. В работе использовались каналы съемки 1, 2, 3 (видимый диапазон) и 4 (ближний инфракрасный участок спектра).

На первом этапе работ проводилась идентификация пикселей, относящихся к открытой поверхности почв. В качестве критериев выделения участков с открытой поверхностью почв был использован набор вегетационных индексов: NDVI, RVI, NRV и TTVI (Jordan, 1969; Rouse et al., 1973; Baret, Guyot, 1991; Thiam, 1997). Предварительно была сделана выборка из 250 пикселей, поверхность которых заведомо лишена растительности. Пиксели были отобраны по 17 сценам Landsat TM 5 (1984-2010 гг.). Затем с использованием данной выборки для каждого вегетационного индекса были установлены критические диапазоны значений, характеризующие открытую поверхность почв (табл. 1).

Таблица 1. Диапазоны значений вегетационных индексов, соответствующие открытой поверхности почвы

Индекс	Формула расчета	Открытая поверхность почвы
NDVI	$(NIR-RED)/(NIR+RED)$	-0,04673-0,05882
RVI	RED/NIR	0,88889-1,09804
NRVI	$(RVI-1)/(RVI+1)$	-0,05882-0,04673
TTVI	$(\sqrt{\text{abs}\{(NIR-RED)/(NIR+RED)\}}+0,5$	0,68041-0,74755

Далее с использованием этих диапазонов для каждого участка была построена карта открытой поверхности почв для каждой отобранной сцены Landsat.

После этого, для каждого участка было отобрано по две сцены Landsat, на основе которых была рассчитана почвенная линия открытой поверхности почв (сцены Landsat TM 5, полученные 19.05.07 и 07.08.07 – для ОП «Татищево», и Landsat TM 5, полученные 15.08.10 и 16.09.10 – для ОП «Кручи»).

В первую очередь, на основе уравнения почвенной линии определялся угловой коэффициент линии почв (β_1) и такой параметр как смещение линии над осью абсцисс (β_0). После этого был проведен анализ полученных результатов для обоих тестовых участков.

Результаты и обсуждение

Результаты расчета углового коэффициента линии почв для обоих участков представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета углового коэффициента (β_1)

	Минимальное значение	Максимальное значение	Преобладающее значение
ОП «Кручи»	-2	4	1,00 (25,49 %)
ОП «Татищево»	0	4	1,07 (17,82 %); 1,11 (17,5 %); 1,10 (15,31 %); 1,03 (11,48 %); 1,06 (11,46 %)

В ОП «Кручи» выделяется преобладающая группа почв с угловым коэффициентом почвенной линии равным 1. Почвенный покров ОП «Татищево» характеризуется большим разнообразием.

Полученный массив значений β_1 был разбит на классы, исходя из анализа гистограмм. За границу между классами принимается значение углового коэффициента, которому соответствует локальный минимум на гистограмме. В результате для ОП «Кручи» было выделено 25 классов, для ОП «Татищево» – 10 классов.

Интересно отметить, что при расчете значений углового коэффициента в некоторых случаях были получено значение «0» для обоих анализируемых хозяйств. Исходя из формулы расчета углового коэффициента, он может принимать значение 0, только при условии, что отражательная способность пикселя двух анализируемых сцен в ближнем инфракрасном участке спектра одинакова. При этом значения отражения света в красном канале этих сцен не обязательно равны друг другу.

Совместный анализ пикселей с нулевым угловым коэффициентом, полученных для ОП «Кручи», с почвенной картой и картой форм и элементов рельефа (Проект..., 2009; Башкирев, 2010) показал, что эта группа включает в себя очень контрастные почвы. Но выделение их на основе данного параметра оказалось невозможным. Что касается ОП «Татищево», появление группы пикселей с нулевым угловым коэффициентом связано с разницей в характере состояния поверхности почв (свежая вспашка на одной из сцен) между сценами Landsat, выбранными для исследования.

Анализ смещения линии почв по оси ординат дал следующие результаты. Для ОП «Кручи» выделяется преобладающее значение смещения $\beta_0=0$, в ОП «Татищево» выделяются два преобладающих значения $\beta_0=0$ и $\beta_0=-0,1$ (табл. 3).

Таблица 3. Результаты расчета смещения (β_0)

	Минимальное значение	Максимальное значение	Преобладающее значение
ОП «Кручи»	-83	87	0 (25,36 %)
ОП «Татищево»	-104	35	0 (14,38 %) -0,1 (12,49 %)

Полученный массив значений β_0 также разбился на классы по тому же принципу, который использован при разбиении на классы угловых коэффициентов линии почв. Для ОП «Кручи» выделен 121 класс, для ОП «Татищево» – 22 класса.

Из полученных данных следует, что класс преобладающего смещения включает лишь около 20% проанализированных пикселей, что свидетельствует о достаточно большой гетерогенности свойств поверхности пахотных почв территории обоих участков.

Наложением карты классов углового коэффициента на карту классов смещения была получена карта комбинаций данных параметров для каждого пикселя открытой поверхности почв, которая, по сути, является картой классов почвенных линий пахотных земель каждого хозяйства (рис. 2).

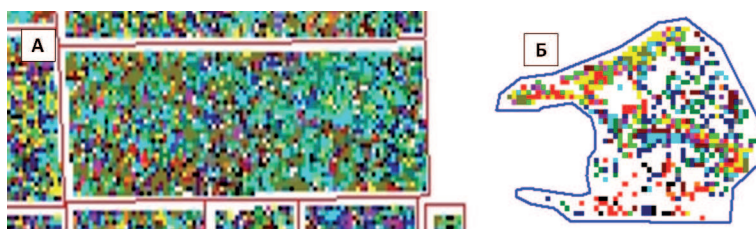


Рис. 2. Примеры карт почвенных линий пахотных земель: а) ОП «Кручи»; б) ОП «Татищево»

Анализ гистограмм классов почвенной линии позволяет выделить преобладающие классы значений. На основе данного анализа можно количественно оценить степень неоднородности СОС поверхности пахотных почв. Так, для ОП «Кручи» установлено 486 комбинаций параметров почвенной линии, рассчитанных для 61597 пикселей открытой по-

верхности почвы, т.е. 127 пикселей на 1 комбинацию. Для ОП «Татищево» получено 48 комбинаций для 4068 пикселей открытой поверхности почвы, т.е. 85 пикселей на комбинацию. Данная информация может быть использована для общей оценки степени неоднородности почвенного покрова территории. Так, по этим критериям почвенный покров ОП «Кручи» более однороден по сравнению с почвенным покровом ОП «Татищево».

Согласно результатам попиксельного расчета почвенной линии, для почвенного покрова ОП «Кручи» можно выделить одну преобладающую почвенную линию ($y=0,96x$) и, соответственно, одну преобладающую почвенную группу. При этом данная почвенная линия является фоновой, или базовой линией. Пиксели, характеризующиеся данной почвенной линией, относительно равномерно расположены на пахотных землях хозяйства.

Из трех сопутствующих почвенных линий ($y=0,96x-1,01$; $y=0,96x+1,01$; $y=1,05x$), две являются параллельными основной почвенной линии, при этом друг от друга они отличаются только знаком величины смещения. Следует также отметить, что распределение пикселей трех сопутствующих почвенных линий хорошо коррелирует с рельефом.

Базируясь на знаниях специфики почвенного покрова региона можно утверждать, что выявляемые по спутниковым данным вариации СОС поверхности почв индицируют ареалы в различной степени эродированных почв и неоднородности почвообразующих пород, которые также меняются в соответствии с рельефом местности.

Также следует отметить, что сочетания пикселей двух почвенных линий $y=0,96x-1,01$ и $y=0,96x+1,01$ в ряде случаев соответствуют комбинациям солонцеватых и несолонцеватых почв.

Что касается ОП «Татищево», то здесь можно выделить три преобладающих группы почвенных линий: 1) группа почвенных линий с угловым коэффициентом 1,11; 2) группа почвенных линий с угловым коэффициентом 1,07; 3) почвенная линия с угловым коэффициентом 1,04.

Из них доминируют две почвенные линии, и соответственно, две почвенные группы, которые отличаются только значением смещения.

Как уже отмечалось выше, поверхность пахотных почв ОП «Татищево» характеризуется высокой неоднородностью СОС почв. Обработка поля в большинстве случаев не сглаживает данные неоднородности, а наоборот, даже усиливает, добавляя дополнительно переходные смешанные участки.

Размеры таких неоднородностей часто могут быть меньше размера пикселя Landsat TM 5 или сопоставимы с ним. Таким образом, один пиксель дает нам представление об определенном пространственно ограниченном сочетании неоднородностей. Логично предположить, что три выделенные ранее группы почвенных линий соответствуют трем преобладающим комбинациям неоднородностей. Деление внутри этих групп может быть обусловлено положением данных пикселей на определенном элементе рельефа.

Интересен анализ экстремальных значений параметров почвенной линии и их сочетаний. Поскольку необычно высокие или низкие значения могут свидетельствовать о недостаточно качественном отборе пикселей с открытой поверхностью почв и примешивании пикселей с растительностью, смешанных пикселей, или о влиянии облачности (при ее наличии).

Для ОП «Кручи» выделены следующие сочетания экстремальных значений параметров почвенных линий: $y=-2x+87$; $y=-x+60$; $y=2,5x-22,12$; $y=2,5x-30$; $y=4x-30$; $y=4x-61$. Для ОП «Татищево» получены следующие экстремальные сочетания параметров почвенной

линии: $y=2,5x-20,78$; $y=2,5x-30$; $y=2,5x-40,9$; $y=4x-40,9$; $y=4x-90$. При дальнейшем анализе были выявлены четкие закономерности приуроченности «экстремальных» пикселей к микро и мезо элементам рельефа пашни.

Таким образом, в обоих случаях экстремальные классы почвенных линий не связаны с «техническими проблемами», а являются индикаторами неоднородностей СОС поверхности пахотных почв.

Выводы

Проведенный анализ показал, что почвенная линия не является единой для всех типов почв, а изменяется с изменением СОС их поверхности.

Сопряженный анализ пары сцен, полученных со спутника Landsat TM 5, позволяет на основе анализа параметров почвенной линии попиксельно оценить степень неоднородности цветовых свойств поверхности пахотных почв. В качестве показателей неоднородности СОС поверхности можно использовать угол наклона линии почв и величину ее смещения по оси ординат. Привлечение для анализа большего количества сцен должно потенциально привести к более надежным и устойчивым результатам.

Для перехода от оценки СОС поверхности почв к дешифрированию непосредственно почвенного покрова необходимы дополнительные исследования взаимосвязей классификационного положения почв со СОС их поверхностного горизонта. Несмотря на отсутствие подобных исследований, выявляемые неоднородности без сомнения могут служить показателем неоднородностей почвенного покрова пахотных угодий любой территории. Причем, вместо данных Landsat TM 5 могут быть использованы спутниковые данные другого типа, на основании которых возможен расчет параметров почвенной линии.

Недостатком использованного подхода является недостаточная надежность метода выделения пикселей, полностью лишенных растительности, по сценам Landsat TM 5. Возможно, использование спутниковых данных более высокого пространственного разрешения позволит разрешить эту проблему. Кроме того, подобный анализ возможен лишь для открытой поверхности почв. То есть, его можно использовать лишь на пахотных угодьях.

Данный подход может быть использован в качестве основы для организации многолетнего попиксельного мониторинга СОС поверхности пахотных почв по данным Landsat, архив которых имеется как минимум с 1982 года. Результаты подобного мониторинга могут быть надежным индикатором динамичности почвенного покрова и показателем даже незначительных изменений свойств поверхности почв.

Литература

1. Андроников В.Л. Методика дешифрирования почвенного покрова территории лесостепи по аэрофотоматериалам: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 1958. 17 с.
2. Афанасьева Т.В. Использование аэрометодов при картировании почв. М.: Изд-во МГУ, 1965. 158 с.
3. Башкирев В.Д. Проектирование агротехнологий в степной зоне Саратовского Поволжья на основе ГИС агроэкологической оценки земель (на примере СХП «Татищево» ЗАО «Русский гектар урожай»): дис. магистра. М., 2010. 121 с.

4. *Белобров В.П.* Об определении контрастности почв и почвенного покрова // Структура почвенного покрова и методы ее изучения. М., 1973. С.89-95.
5. *Карманов И.И.* Изучение почв по спектральному составу отраженных излучений // Почвоведение. 1970. № 4. С. 34-47.
6. *Кирюшин В.И.* Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 473 с.
7. *Кравцова В.И.* Космические методы исследования почв. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
8. *Орлов Д.С.* Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 175 с.
9. Проект адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий для первичного производственного предприятия «Екатериновское» ЗАО «Русский гектар» Екатериновского района Саратовской области. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. 457 с.
10. *Савин И.Ю.* Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Черноземного района по среднemasштабным космическим снимкам: Дисс. канд. геогр. н. М., 1990. 300 с.
11. *Савин И.Ю., Столбовой В.С.* Спектрально-отражательная способность красноцветных почв Сирии // Почвоведение. 1997. № 4. С. 427-434.
12. *Савин И.Ю.* Компьютерная инвентаризация почвенного покрова // Почвоведение. 1999. № 7. С. 899.
13. *Столбовой В.С., Савин И.Ю.* Опыт использования технологии SOTER для создания цифровой базы данных почв и суши России // Почвоведение. 1996. № 11. С. 1295.
14. *Толчельников Ю.С.* Дешифрирование по аэроснимкам почв Северного Казахстана. М., Л.: Наука, 1966. 184 с.
15. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.
16. *Baret F., Guyo, G.* Potentials, limits of vegetation indices for LAI, APAR assessment // Remote Sens. Environ. 1991. Vol. 35. P. 161-173.
17. *Baret F., Jacquemoud S., Hanocq J.F.* About the soil line concept in remote sensing // Remote Sens. Rev. 1993. № 5. P. 281-284.
18. *Barnes E.M., Baker M.G.* Multispectral data for soil mapping: possibilities, limitations // ASAE Paper. 1999. № 99. P. 1138-1153.
19. *Bausch W.C.* Soil Background Effects on Reflectance-Based Crop Coefficients for Corn // Remote Sens. Environ. 1993. № 46. P. 213-222.
20. *Belinaso H., Demattê J.A.M., Remerio S.A.* Soil spectral library, its use in soil classification // R. Bras. Ci. Solo. 2010. №34. P. 861-870.
21. *Bowers S.A., Hanks R.J.* Reflectance of radiant energy from soils // Soil Sci. 1965. Vol.100. P. 130-138.
22. *Brown D.J., Shepherd K.D., Walsh M.G., Mays M.D., Reinsch T.G.* Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy // Geoderma. 2006. №132. P. 273-290.
23. *Coleman T.L., Agbu P.A., Montgomery O.L.* Spectral differentiation on surface soils, soil properties: Is it possible from space platforms? // Soil Sci. 1993. Vol.155. № 4. P. 283-293.
24. *Daughtry C.S.T., Bausch W.C.* Remote-, Ground-Based Sensor Techniques to Map Soil Properties // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2003. Vol. 69. № 6. P. 619-630.
25. *Fox G.A., Sabbagh G.J.* Estimation of soil organic matter from red, near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidian distance technique // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. №66. P. 1922-1928.
26. *Galvao L.S., Vitorello I.* Variability of laboratory measured soil lines of soils from southeastern Brazil // Remote Sens. Environ. 1998. № 63. P. 166-181.
27. *Huete A.R., Jackson R.D., Post D.F.* Soil spectra effects on 4-space vegetation discrimination // Remote Sens. Environ. 1984. №15. P. 155-165.
28. *Jordan C.F.* Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor // Ecology. 1969. Vol. 50. P. 663-666.
29. *Lesaignoux A., Fabre S., Briotter X., Oliosio A.* Influence of surface soil moisture on spectral reflectance of bare soil in the 0.4-15µM domain / Geosciences and Remote Sensing Letters. 2011. Vol. 8, № 1. p. 143-147.
30. *Metternicht G., Zinck J.A.* Remote Sensing of soil salinization. Impact on land management. New York: CRC Press. 2009.
31. *McBratney A.B.; M.L. Mendonça Santos, B. Minasny.* «On digital soil mapping». Geoderma (Elsevier B.V., Amsterdam) 117 (1-2): 3-52, 2003.
32. *Richardson A.J., Wiegand C.L.* Distinguishing vegetation from soil background information // Photogramm. Eng. Remote Sens. 1977. № 43. P. 1541-1552.

33. *Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1973. Vol. 1. p. 309-317.
34. *Savin I. Yu.* Soil Inventory with the use of GIS Technologies // Eurasian Soil Science. 2003. № 10. C. 1189.
35. *Scull P.; J. Franklin O.A. Chadwick D. McArthur.* Predictive soil mapping - a review. Progress in Physical Geography (Sage Publications) 27 (2): 171–197.
36. *Sinha A.K.* Spectral reflectance characteristics of soil, its correlation with soil properties, surface conditions// Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 1986. Vol.14. № 1. P. 1-9.
37. *Thiam A.K.* Geographic Information Systems, Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring Land Degradation in the Sahel: The Case of Southern Mauritania. Doctoral Dissertation, Clark University, Worcester Massachusetts. 1997.
38. *Thomasson J.A., Sui R., Cox M.S., Al-Rajehy A.* Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture // Trans . Am. Soc. Agron. Eng. 2001. № 44. P. 1445-1453.
39. *Yoshioka H., Muira T., Demattê J.A.M., Batchily K., Huete A.R.* Derivation of soil line influence on two-band vegetation indices, vegetation isolines // Remote Sens. 2009. №1. P. 842-857.
40. *Yoshioka H., Muira T., Demattê J.A.M., Batchily K., Huete A.R.* Soil line influence on two-band vegetation indices, vegetation isolines: a numerical study // Remote Sens. 2010. №2. P. 545-561.

Soil Line as an Indicator of Soil Cover Heterogeneity

E. Kiryanova^{1,2}, I. Savin^{1,3}

¹ *Space Research Institute of RAS*

² *K.A. Timiryazev RSAU-MAA*

³ *V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*

E-mail: kiryan4ik@mail.ru

Soil cover heterogeneity is known to be the crucial factor determining land resource potential, the possibility of agricultural land use. However, the issue of operative, low cost soil variability mapping is still considered to be of high concern. The article describes the application of satellite data for estimating the heterogeneity of arable soil cover by the example of test plots in Saratov Povolzhye region. Suggested approach relies on the soil line concept (Richardson, Wiegand, 1977), on the relationship between soil line parameters, soil characteristics. It enables to perform per pixel analysis of soil cover, distinguish homogenous, contrast components using the surface color of bare soil, thus obtain information on inhomogeneity of arable soil cover. Such an approach can be as well applied as the basis of long-term per pixel monitoring of arable soil cover based on satellite data.

Keywords: soil cover heterogeneity, soil line, Landsat.