

УДК 631.4

## О ТОНЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ КАК ПРЯМОМ ДЕШИФРОВОЧНОМ ПРИЗНАКЕ\*

© 2013 г. И. Ю. Савин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7*

На основе анализа изображения открытой поверхности пахотных черноземных почв ключевого участка на спутниковых данных LANDSAT, полученных в разные сезоны и разные даты съемки, изучена вариабельность тоновых неоднородностей изображения почв. Тон изображения нестабилен и значительно изменяется от одного срока съемки к другому даже в пределах одного сезона года. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что при автоматизированном дешифрировании почв по космическим снимкам анализ тонового пространства единичного изображения не может служить надежной основой для составления почвенных карт.

*Ключевые слова:* дешифрирование почв, дешифровочные признаки, LANDSAT.

В 70-е годы прошлого века была разработана теория так называемых 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). При этом указывалось, что наибольшую часть информации для распознавания почв удается получать по косвенным признакам, так как поверхность почв редко открыта для непосредственного наблюдения, «а рассмотрение поверхности почв недостаточно для определения ее вида и разновидности даже при наземных исследованиях» (Симакова, Савин, 1998, с. 1341).

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 11-01-91159-ГФЕН\_а, 11-04-01376-а, 12-01-97504-р\_центр\_а) и Минобрнауки РФ (гранты 8674 и 2012-1.3.2-12-000-2012-055).

Однако при дешифрировании почвенного покрова пахотных почв роль прямых признаков значительно повышается. Это связано, во-первых, с тем, что индикационная роль культурной растительности гораздо меньше, чем естественной, а во-вторых, пахотные почвы продолжительное время в течение года имеют открытую поверхность почв. Кроме того, уровень развития космической техники в настоящее время позволяет часто получать изображение Земной поверхности с хорошим пространственным разрешением, чего не было во времена зарождения дистанционных методов картографирования почв.

На цвет поверхности пахотных почв оказывает влияние множество факторов (Bowers and Hanks, 1965; Sinha, 1986; Baret et al., 1993; Coleman et al., 1993; Орлов, 2001; Fox and Sabbagh, 2002; Daughtry and Bausch, 2003; Metternicht and Zinck, 2005; Brown et al., 2006; Савин, Столбовой, 1997; Belinaso et al., 2010), и прямая зависимость цвета поверхности почв с их классификационным положением на настоящий момент не установлена. Однако это не является, с нашей точки зрения, препятствием для использования цветовых характеристик поверхности почв как индикатора контрастности почвенного покрова и основы для его дистанционного мониторинга.

Современные технологии позволяют анализировать тон изображения более детально, чем это было возможно при визуальном дешифрировании почв. Это теоретически открывает широкие перспективы для автоматизации дешифрирования почв и их отдельных свойств, а также для организации спутникового мониторинга почв на основе анализа многолетней динамики их изображения на спутниковых данных.

В настоящее время наиболее перспективным и доступным источником данных для этих целей является информация, получаемая со спутников серии LANDSAT, архив которых имеется как минимум с 1984 г.

Целью настоящей статьи является анализ возможностей использования данных LANDSAT или подобных им данных с других спутников для дешифрирования почв с использованием такого дешифровочного признака, как тон изображения их открытой поверхности.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследований выступает изображение открытой поверхности почв одного из полей, расположенных в Татищевском районе Саратовской области, на спутниковых данных LANDSAT.

Из-за сложного геологического строения и маломощного чехла четвертичных отложений территория исследований характеризуется достаточно контрастным почвенным покровом. Фоновым компонентом почвенного покрова поля являются черноземы южные на песках и супесях. Почвенный покров поля осложнен в различной степени смытыми разностями фоновых почв, а также полугидроморфными почвами потяжин (Кириянова, Савин, 2012). Пестрота почвообразующих пород и различное содержание гумуса в верхних горизонтах почв выражаются в большом разнообразии цвета поверхности пахотных почв региона, что предопределяет хорошие потенциальные возможности их дешифрирования по спутниковым данным. Поле используется для возделывания сельскохозяйственных культур. Поэтому поверхность почв открыта для непосредственного наблюдения в весенний и осенний период.

Для дешифрирования неоднородностей почвенного покрова использовалась информация со спутника LANDSAT TM 5, который был выведен на орбиту 01.03.1984. Основные характеристики съемочной аппаратуры данного спутника представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные характеристики сканера TM (Landsat)<sup>1</sup>

Номера канала	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Повторяемость съемки одной территории
1	0.45–0.515	30	185	16 суток
2	0.525–0.605	30		
3	0.63–0.69	30		
4	0.75–0.90	30		
5	1.55–1.75	30		
6	10.4–12.5	120		
7	2.09–2.35	30		

<sup>1</sup> <http://www.nrcgit.ru/aster/inform/landsat/tm.htm>

Для анализа были отобраны 12 сцен LANDSAT, которые были получены во время, когда поверхность почв на тестовом поле была лишена растительного покрова. Даты получения отобранных сцен приведены в табл. 2.

Спутниковая информация получена из архива Института космических исследований РАН.

Отсутствие растительности на поле определялось визуально по цветному композиту, созданному из каналов съемки 3, 4 и 5, и затем подтверждалось анализом величины вегетационного индекса NDVI. В качестве порога для детектирования открытой поверхности почв использовалась величина NDVI, равная 0.15, которая была определена экспериментальным путем. Для упрощения анализа в качестве информации о тоне изображения открытой поверхности почв использовались данные одного канала съемки LANDSAT, а именно канала 3 (0.63–0.69 мкм).

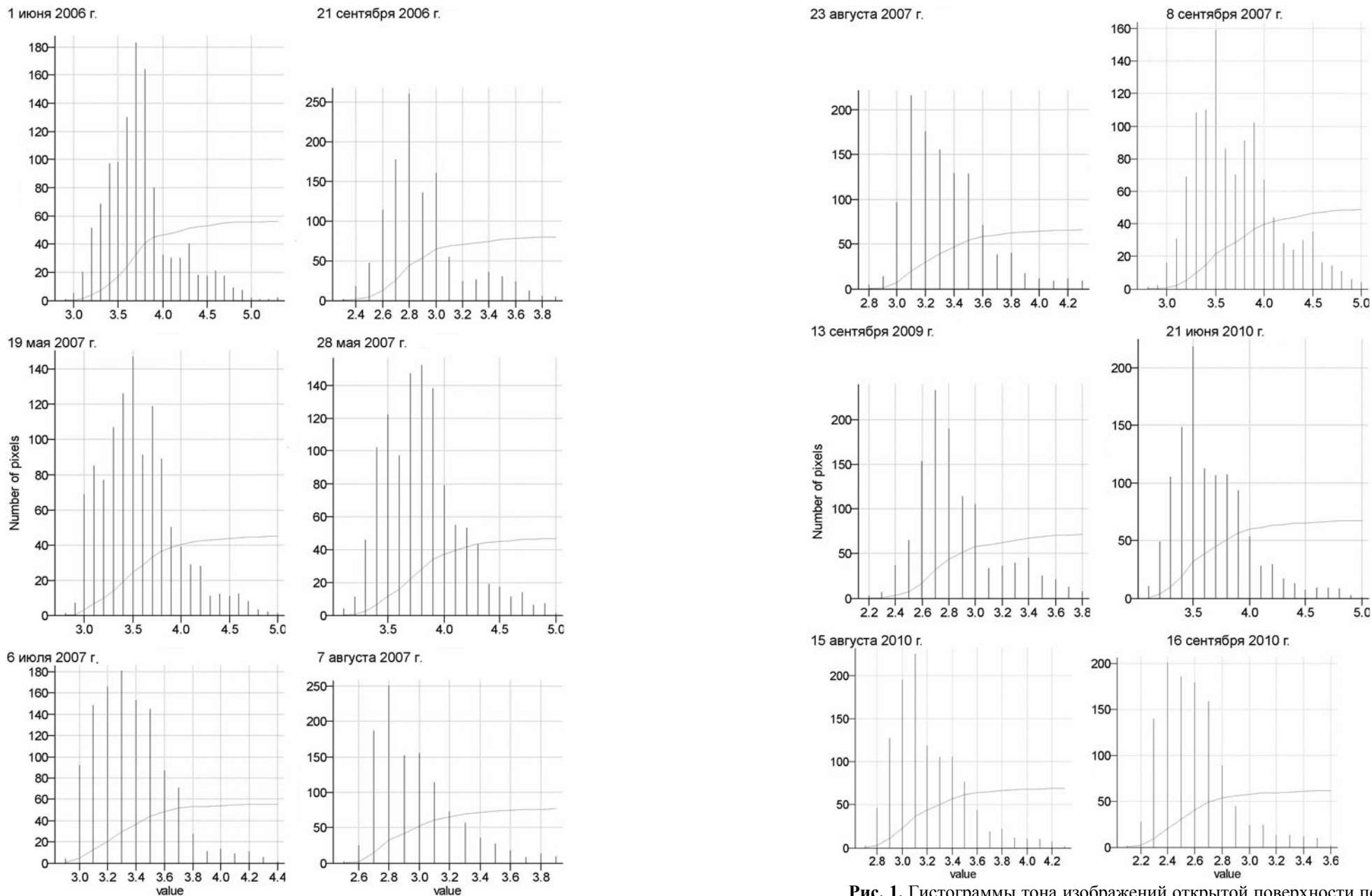
Перед осуществлением анализа была проведена коррекция спутниковых данных на влияние атмосферных условий во время съемки (на основе подходов, заложенных в модуль FLAASH ENVI). После этого, изображение тестового поля было вырезано из третьего канала каждой отобранной сцены LANDSAT и подвергнуто анализу тоновых неоднородностей.

На первом этапе анализа проводилось сравнение гистограмм тона тестового поля для разных сроков съемки. Затем изображение поля на данных разных сроков съемки разбивалось на фиксированное количество классов в пределах тонового диапазона каждого изображения, а также на фиксированное количество классов в диапазоне от абсолютно минимального значения до абсолютно максимального для всех отобранных для анализа изображений.

Кроме того, для каждого изображения проводился анализ перепадов тонов путем использования метода фильтрации по лапласиану.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 приведена общая статистическая характеристика тона изображения открытой поверхности почв поля на данных, полученных в разное время съемки. На рис. 1 приведены соответствующие гистограммы тона.



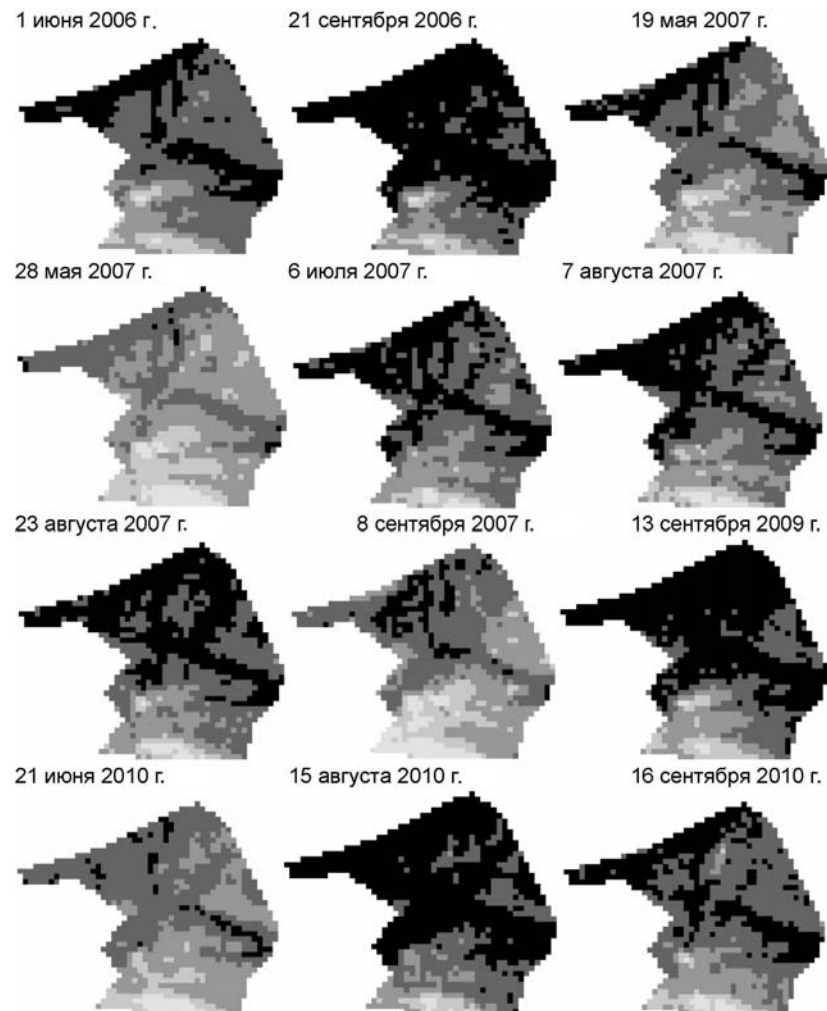
**Рис. 1.** Гистограммы тона изображений открытой поверхности почв тестового поля.

**Таблица 2.** Основные характеристики тона изображения открытой поверхности почв

Дата съемки	Среднее значение	Медиана	Стандартное отклонение
1 июня 2006 г.	3.75	3.7	0.39
21 сентября 2006 г.	2.89	2.8	0.28
19 мая 2007 г.	3.56	3.5	0.38
28 мая 2007 г.	3.80	3.7	0.34
6 июля 2007 г.	3.37	3.3	0.26
7 августа 2007 г.	2.98	2.9	0.27
23 августа 2007 г.	3.34	3.2	0.28
8 сентября 2007 г.	3.71	3.6	0.42
13 сентября 2009 г.	2.86	2.7	0.30
21 июня 2010 г.	3.66	3.5	0.33
15 августа 2010 г.	3.21	3.1	0.28
16 сентября 2010 г.	2.59	2.5	0.26

Анализ таблиц и гистограмм показывает, что характер изображения открытой поверхности почв сильно меняется от даты к дате даже в пределах одного года съемки. Причем эти изменения не являются простым сдвигом изображения по тону. Судя по изменению гистограмм тоновое пространство по-разному меняется во времени в различных частях поля.

На рис. 2 представлены результаты кластеризации всех изображений на 5 равномерных классов относительно минимального и максимального значений тона на каждом изображении. Из рисунка следует, что самые контрастные неоднородности почвенного покрова четко выделяются практически на всех изображениях, но их границы на изображениях разных сроков съемки не совпадают. Наиболее вероятной причиной подобного несовпадения границ является разная влажность поверхности почв. При повышенной влажности (например, через небольшое время после выпадения дождя перед датой съемки) днища потяжин с полугидроморфными почвами характеризуются более низкими значениями тона изображения. В результате тоновый диапазон изображения в целом изменяется, и это приводит к сдвигу границ выделенных по этому методу классов. Положение границы должно сильно зависеть от стадии обсыхания поверхности почв в момент съемки. Кроме влажности, на специфику тоновой неоднородности изобра-



**Рис. 2.** Классификация тона изображения открытой поверхности почв тестового поля на 5 равномерных классов от абсолютного минимума каждого изображения до абсолютного максимума.

жений, полученных для одной и той же территории в разные сроки, может оказывать характер состояния поверхности почв (после боронования, свежая вспашка, трансформированная дождем поверхность и т.п.) (Савин, 1995).

На рис. 3 показаны результаты кластеризации изображения на 7 равномерных классов с фиксированными границами тона от абсолютного минимума до абсолютного максимума для изображений всех сроков съемки.

В этом случае общий тоновой диапазон изображения также меняется в зависимости от срока съемки: количество классов на снимках разных сроков съемки варьирует. При этом границы выделяемых классов на изображениях разных сроков съемки не совпадают. Причины подобных несовпадений, вероятно, те же, о которых было сказано выше. Необходимо отметить, что результаты кластеризации, полученные с использованием этого подхода, хуже отражают неоднородности почвенного покрова по сравнению с результатами, показанными на рис. 2. Анализ результатов градиентной лапласианной фильтрации изображений (рис. 4) показывает, что зоны тоновых перепадов изображений разных сроков съемки также не постоянны, хотя их сдвиг не является слишком большим. По сути, результаты этого анализа подтверждают выводы, полученные при кластеризации изображений. Наблюдается смещение резких границ изображения от одного срока съемки к другому. Результаты всех проанализированных изображений не совпадают друг с другом полностью ни в одном случае.

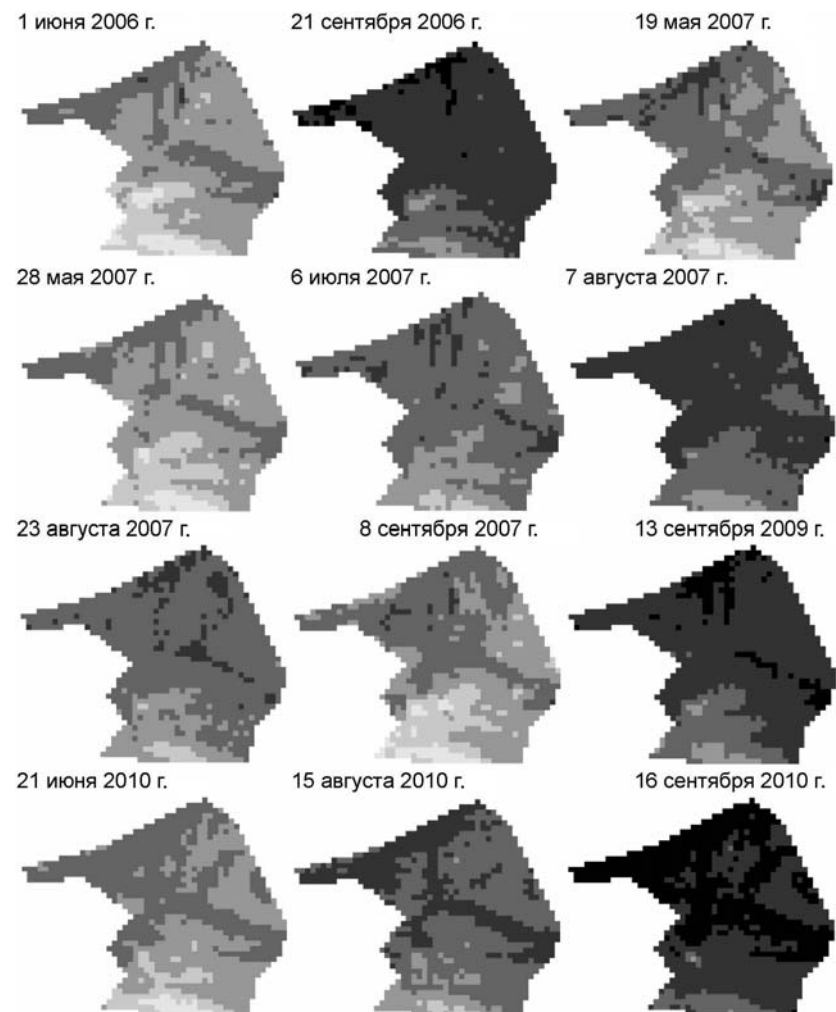
### ВЫВОДЫ

Основываясь на полученных результатах исследований можно сделать следующие выводы.

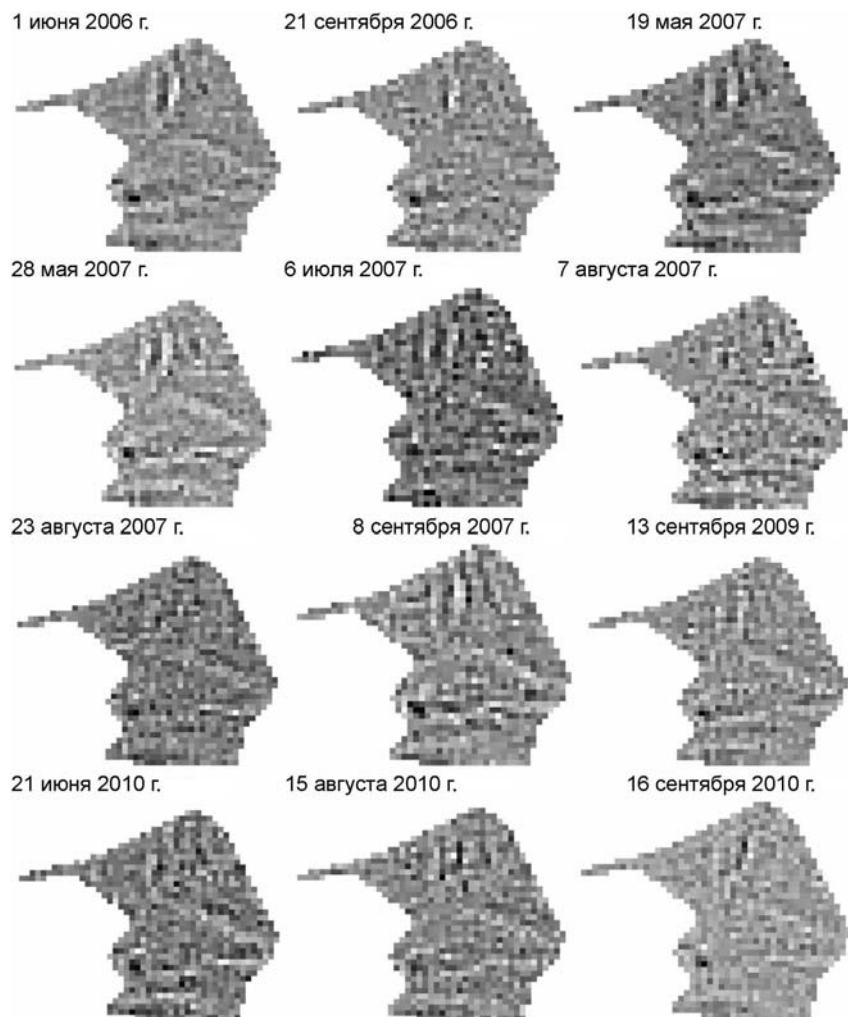
1. Тон изображения открытой поверхности пахотных почв на космических снимках LANDSAT сильно зависит от времени съемки, что, скорее всего, предопределяется состоянием поверхности почв в момент съемки.

2. Наиболее контрастные компоненты почвенного покрова дешифрируются на снимках практически всех проанализированных сроков съемки, но их граница меняется от срока к сроку.

3. Построение алгоритмов автоматизированного дешифрирования неоднородностей почвенного покрова по тоновому контрасту его изображения на космических снимках должно учитывать динамичность отражательных свойств поверхности почв. По-видимому, использование для дешифрирования одного изображения



**Рис. 3.** Классификация тона изображения открытой поверхности почв тестового поля на 7 равномерных классов от абсолютного минимума для всех изображений до абсолютного максимума.



**Рис. 4.** Результат градиентной фильтрации изображения открытой поверхности почв тестового поля.

недостаточно. Использование для дешифрирования почв результатов анализа нескольких изображений должно приводить к более кондиционным и устойчивым результатам.

4. Выявленные особенности динамичности изображения открытой поверхности почв должны приниматься во внимание при использовании космических снимков для организации мониторинга почвенного покрова.

Автор благодарен сотрудникам лаборатории технологий спутникового мониторинга Института космических исследований РАН за предоставленные космические изображения, использованные в работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андроников В.Л. Методика дешифрирования почвенного покрова территории лесостепи по аэрофотоматериалам: Автореф. дис. ... к. геол.-мин. н. М., 1958. 17 с.
2. Афанасьева Т.В. Использование аэрометодов при картировании почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. 158 с.
3. Кирьянова Е.Ю., Савин И.Ю. О возможностях оценки контрастности почвенного покрова Саратовского Поволжья по спутниковым данным LANDSAT // Цифровая картография почв: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 189–208.
4. Орлов Д.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 175 с.
5. Савин И.Ю. Влияние ливневого дождя на интегральную отражательную способность поверхности черноземных почв // Почвоведение. 1995 № 8. С. 976–980.
6. Савин И.Ю., Столбовой В.С. Спектрально-отражательная способность красноцветных почв Сирии // Почвоведение. 1997. № 4. С. 427–434.
7. Симакова М.С., Савин И.Ю. Использование материалов аэро- и космической съемки в картографировании почв (пути развития, состояние, задачи) // Почвоведение. 1998. №11. С. 1339–1347.
8. Толчельников Ю.С. Дешифрирование по аэроснимкам почв Северного Казахстана. М.–Л.: Наука, 1966. 184 с.
9. Varet F., Jacquemoud S., Hanocq J.F. About the soil line concept in remote sensing // Remote Sens. Rev. 1993. № 5. P. 281–284.

10. *Belinaso H., Demattê J.A.M., Remerio S.A.* Soil spectral library and its use in soil classification // R. Bras. Ci. Solo. 2010. № 34. P. 861–870.
11. *Bowers S.A., Hanks R.J.* Reflectance of radiant energy from soils // Soil Sci. 1965. V. 100. P. 130–138.
12. *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.
13. *Coleman T.L., Agbu P.A., Montgomery O.L.* Spectral differentiation on surface soils and soil properties: Is it possible from space platforms? // Soil Sci. 1993. V. 155. № 4. P. 283–293.
14. *Daughtry C.S.T., Bausch W.C.* Remote- and Ground-Based Sensor Techniques to Map Soil Properties // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2003. V. 69. № 6. P. 619–630.
15. *Fox G.A., Sabbagh G.J.* Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line Euclidian distance technique // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. № 66. P. 1922–1928.
16. *Metternicht G., Zinck J. A.* Remote Sensing of soil salinization. Impact on land management. N.Y.: CRC Press, 2009.
17. *Sinha A.K.* Spectral reflectance characteristics of soil and its correlation with soil properties and surface conditions// J. of the Indian Society of Remote Sensing. 1986. V. 14. № 1. P. 1–9.
18. <http://www.nrcgit.ru/aster/inform/landsat/tm.htm>.

## **OPEN SOIL SURFACE BRIGHTNESS AS A DIRECT SIGN FOR SOIL RECOGNITION ON LANDSAT IMAGES**

**I. Yu. Savin**

The variability of the brightness heterogeneities of the open chernozemic soil surface on LANDSAT images obtained in different seasons and different dates of survey were investigated. The brightness of the images (3 band) was unstable and considerably changes from one period of survey to another even within the one season of the year. Obtained results lead to the conclusion that during the automated recognition of soils on the satellite images the analysis of brightness of single image cannot serve as reliable basis for the digital soil mapping.

*Key words:* soil recognition on satellite images, soil recognition signs, LANDSAT.