

20. Шибут, Л.И. Учет неоднородности почвенного покрова при кадастровой оценке земель в Беларуси / Л.И. Шибут, Г.С. Цытрон, В.А. Калюк // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 21–28.

EFFICIENT USE OF MATERIALS OF REMOTE SENSIN TO UPDATE SOIL MAPS

M.F. Kuryanovich, A.F. Chernysh, F.E. Shalkevich

Summary

The results of analysis conducted researches on adjustment of large-scale soil maps were given. Experience in the use of materials of remote sensing adjusting medium-soil maps and mapping of soil structure was stated.

Поступила 26.10.2015

УДК 631.47:631.471

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИСТАНЦИОННОЙ ФИТОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Т.Ю. Бындыч, Л.П. Коляда, С.Р. Трускавецкий

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость решения широкого спектра прикладных задач почвоведения, агрохимии и рационального использования почвенных ресурсов актуализирует дальнейшее совершенствование методов дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. При этом особый интерес представляет разработка новых подходов к использованию данных космической съемки сельскохозяйственной растительности, развитие которой зачастую осложняет прямую диагностику состояния почвенного покрова (ПП). В целом же, наличие значительного фонда высококачественных космических снимков, постоянное совершенствование методов их компьютерной обработки, а также высокая оперативность получения результирующих материалов в геоинформационных системах (ГИС), способствуют дальнейшему повышению эффективности использования данных дистанционного зондирования (ДЗ), как источника точной пространственной информации о состоянии земной поверхности. Системы ДЗ можно использовать для дифференциации ПП и выделения почвенных ареалов, отличающихся почвенными свойствами, которые определяют условия произрастания сельскохозяйственных растений. Необходимо также отметить, что использование данных ДЗ для обследования угодий значительных площадей и, особенно, в условиях

недостаточного применения инструментальных методов наземных исследований, способствует повышению достоверности и точности определения элементов ПП, что ведет к снижению стоимости, трудоемкости и продолжительности полевых работ.

Теоретическое и практическое значение всестороннего использования данных космического сканирования сельскохозяйственных культур подчеркивалось во многих научных работах, описывающих опыт дистанционной индикации генетически обусловленных свойств почв по отражающей способности растений [1–3]. При этом, исследователи отмечают важность использования данных ДЗ и ГИС для агроэкологического зонирования территории, при котором информация об отдельных почвенных свойствах, формирующих отражательную способность растений, обязательно учитывается для их выращивания и оптимизации рабочей карты конкретных угодий [4–5]. На наш взгляд, с данным научным направлением во многом перекликаются и современные подходы по разработке систем точного земледелия, в которых данные ДЗ рассматриваются в качестве надежной информационной основы для выделения «management units» – территориальных единиц с подобными параметрами неоднородности почвенных свойств, для которых предлагается использовать однотипные технологии возделывания сельскохозяйственных культур [6–7]. В частности, В.В. Медведев подчеркивает необходимость создания комплекса карт сельскохозяйственной растительности (карты урожайности, «хлорофилловой» карты) для определения неоднородности ПП на таком важном территориальном уровне как отдельное поле [7].

В связи с этим, актуальным заданием является дальнейшее усовершенствование методических подходов к использованию данных многоспектрального космического сканирования сельскохозяйственной растительности для определения и агроэкологического оценивания элементов локальной структуры ПП.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная цель исследований достигалась путем анализа данных космической съемки одного из опытных полей, расположенного в Ясиноватском районе Донецкой области Украины, общей площадью 100 га. Согласно действующему физико-географическому районированию Украины, данная территория относится к Донецкой физико-географической области Левобережно Днепровской северо-степной провинции, Северной степной подзоны [8]. В орографическом отношении, поверхность этой территории относится к слабо волнистым, с плотностью овражно-балочной сети от 0,50 до 1,0 км/км². Тестовый полигон представляет собой вытянутое с севера на юг поле прямоугольной формы. Рельеф поля представляет собой ровную поверхность с небольшим уклоном (до 2 градусов) северо-западной экспозиции. Со всех сторон поле окружено почвозащитными лесополосами.

Согласно результатам крупномасштабного почвенного обследования, на территории опытного поля выделены три почвенных ареала, представляющие чернозем обыкновенный среднегумусный с различиями по степени эродированности и почвообразующим породам.

В ходе исследований использованы разновременные данные многоспектрального космического сканирования космического аппарата Landsat 7, обеспечившего получение высококачественных изображений полигона в безоблачную погоду, с пространственным разрешением 28,5 м. Фитоценоз полигона представляет собой посе́вы кукурузы на начальных стадиях вегетации – всходы, 2–3 листа и в фазу кущения соответственно.

Для решения поставленных задач использовались, в основном, статистические методы и методы геоинформационной обработки данных. Так, для географической привязки, учета оптической яркости каждого элемента изображения сельскохозяйственных угодий в различных диапазонах съемки, основной обработки, преобразований, общего анализа и числовой таксономии космического изображения использовали ГИС TNT-lite и ENVI. Полученные в ходе дешифрирования материалы сопоставлялись с данными полевого обследования территории, которое предусматривало инструментальное определение содержания азота в листьях тестовой культуры и отбор ее растительных образцов для дальнейшего определения отдельных показателей качественного состава растений и аналитического определения хлорофилла с использованием фотоколориметрического метода [9–10]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что дальнейшее совершенствование дистанционного определения агроэкологических условий выращивания культур следует связывать с детализацией оптической яркости листовой поверхности сельскохозяйственных растений на различных фазах их вегетации. Следует отметить, что площадь листовой поверхности является одним из важнейших фитометрических показателей растений, а количество листов и их размеры зависят от условий произрастания посевов и играют важную роль в их фотосинтетической деятельности. По данным фундаментальных исследований, листовая покров является интегральным показателем степени обеспеченности посевов влагой, удобрениями, и определенным образом отражает соблюдение агротехнических приемов, а значит, объективно характеризует состояние растений, что объясняет его широкое использование во многих моделях продукционного процесса [11]. На наш взгляд, эта информация обосновывает целесообразность использования кукурузы в качестве основного индикатора агроэкологических условий выращивания зерновых культур и ее выбора как тест-культуры для дифференциации ПП полигона. На долю листьев этой культуры приходится до 87% фитоплощади растения, а из органических веществ, которые изначально формируются в листьях, создается до 95% сухой массы растения [12]. В связи с этим, листовая диагностика питания растений на основе этой культуры является наиболее обоснованной при использовании данных космической съемки в видимом диапазоне спектра, в частности, для определения обеспеченности почв необходимыми элементами питания растений и влагой.

С целью обоснования критериев и принципов классификации изображения, позволяющей перейти к качественной характеристике отдельных элементов локальной структуры ПП полигона, проведена предварительная обработка изобраа-

жения и общий статистический анализ его цифровой информации с использованием алгоритма, описанного в наших более ранних работах [13]. На этом этапе были рассчитаны общие статистические показатели изображения для зеленого, красного, ближнего и среднего инфракрасного диапазонов сканирования, в интервале от 0,52 до 2,35 мкм [14]. Проанализированы кривые распределения оптических яркостей кукурузы во всех диапазонах сканирования и сделан вывод о том, что оптимальная степень дискретизации изображения составляет 3 класса, предположительно соответствующих почвенным ареалам, отличающихся по уровню обеспеченности основными элементами питания растений и по отдельным агрофизическим показателям.

На следующем этапе, с использованием метода K-средних кластерного анализа [15], в ГИС, проведена числовая таксономия космического изображения полигона, в результате которой получена уточненная картосхема ПП полигона (рис. 1), поскольку на ранних фазах развития посевов растительность, зачастую, подчеркивает контуры элементов структуры ПП со значительной детальностью. Так, космическое изображение молодых растений кукурузы в фазе 2–3 листьев позволило выделить почвенные контуры, характеризующиеся различным уровнем влагообеспеченности, и функционально связанных с ней показателей агрофизического состояния почв. Сопоставление полученной картосхемы с данными крупномасштабных почвенных обследований и агрохимической паспортизации земель позволили установить соответствие ареала 1 – чернозему обыкновенному, легкосуглинистому, слабосмытому на рыхлых песчаных породах, ареала 2 – чернозему среднесуглинистому на лессовидных породах и ареала 3 – чернозему обыкновенному среднегумусному тяжелосуглинистому слабосмытому на лессовидных породах.

На этапе дешифрирования снимка, полученного в фазу 2–3 листьев, проведен анализ преобразования исходных спектральных данных, который позволяет определить вклад зеленой растительности в формирование спектрального образа полигона. Для этого рассчитаны спектральные и вегетационные индексы, в частности NDVI, NDWI, MSI, GI, SAVI и SIPI, хорошо известные по научным источникам [2, 16]. Аналогичным образом проведена обработка космического изображения полигона на более позднем этапе вегетации посевов кукурузы – в фазе кущения (июньский снимок). Используя результаты дешифрирования более позднего снимка, созданы и сопоставлены разностные изображения посевов кукурузы в каждом из диапазонов сканирования, а также рассчитана разница основных спектральных индексов (рис. 2). Напомним, что интерпретация разностных изображений основана на том, что участки территории, на которых изменения были минимальными, характеризуются низким значением яркости (более темный цвет в оттенках серого), в то время как участки с существенными изменениями растений становятся более заметными и характеризуются более высокими значениями оптической яркости (более светлый оттенок). В целом же, классификация разновременных изображений кукурузы, которая была проведена на этом этапе, позволила детализировать отредактированную картосхему ПП полигона (рис. 1) и определить участки, которые отличаются друг от друга по степени изменений оптического образа посевов кукурузы (рис. 3).

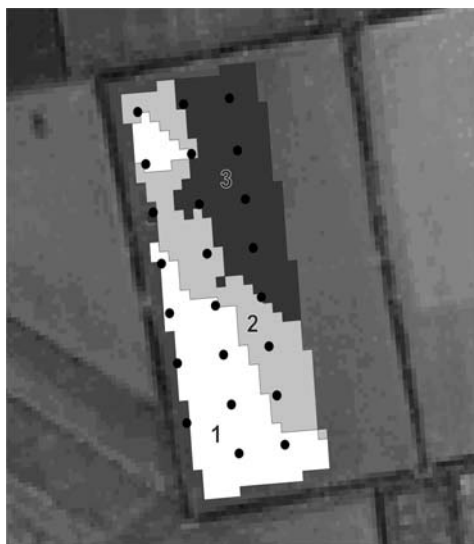


Рис. 1. Картограмма полигона, созданная по данным космической съемки посевов кукурузы на ранних фазах ее развития

Таблица

Сопоставление спектральных индексов посевов кукурузы и отдельных показателей ее качественного состава с почвенными показателями

№ п/п	Исследуемые показатели	Почвенные ареалы (по рис. 1)		
		Ареал 1	Ареал 2	Ареал 3
<i>Основные агрохимические показатели почвы</i>				
1	Общее содержание гумуса, в %	3,38	3,75	4,00
2	Содержание легкогидролизуемого азота, в мг/кг почвы	99,00	117,00	121,00
3	Содержание обменного калия, в мг/кг почвы	145,00	173,00	184,00
4	Содержание подвижного фосфора, в мг/кг почвы	83,00	110,00	108,00
5	Содержание цинка, в мг/кг почвы	0,80	0,73	0,75
6	Содержание марганца, в мг/кг почвы	108,00	112,30	107,10
7	pH водный	7,60	7,90	7,90
8	Агрохимическая оценка, в баллах	46,67	40,10	52,50
<i>Спектральные характеристики посевов кукурузы</i>				
9	NDVI (май)	0,13	0,14	0,14
10	NDWI (май)	-0,07	-0,08	-0,06
11	SIPi (июнь)	7,27	10,07	11,07
12	Разностный NDVI	0,12	0,07	0,06
<i>Показатели качественного состава листьев кукурузы в фазе выхода в трубку</i>				
13	Содержание хлорофилла	12,43	11,54	16,07
14	Содержание сахара, в %	1,76	1,76	2,02
15	Влажность листьев, в %	3,55	4,66	6,08
16	Содержание жиров, в %	1,05	1,04	1,35

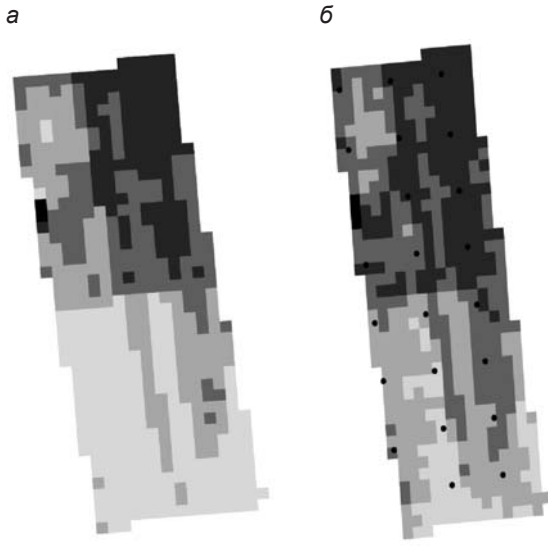


Рис. 2. Картограммы разницы основных спектральных индексов NDVI (а) и NDWI (б)

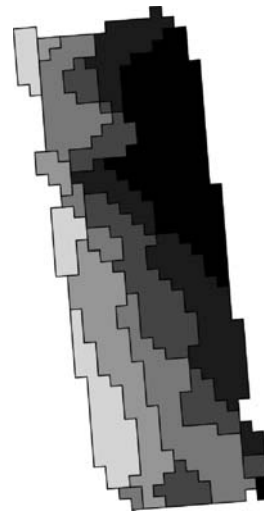


Рис. 3. Картограмма изменения оптического образа посевов кукурузы, полученная путем классификации разностных изображений полигон

Использование именно этого варианта карты оптимизировало систему отбора растительных и почвенных проб для полевого этапа работ с использованием приборов GPS. Уточнение качественного состава растений в пределах полигона проведено на основе растительных образцов, которые отобраны по регулярной сетке в начале фазы выхода в трубку растений (15 июля), когда обычно наблюдается самая высокая пигментация листьев. В связи с этим, проведена листовая диагностика питания растений с использованием прибора N–tester. Сделан вывод, что во время полевых наблюдений следует проводить отбор почвенных проб на каждом из выделенных ареалов, отличающихся по оптической яркости посевов кукурузы, в количестве, позволяющем проводить статистический анализ данных.

На этапе лабораторных, аналитических исследований, в образцах листьев кукурузы определены: содержание хлорофилла, N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, влажность, белок, жиры, протеины, клетчатка, зола, сахара по общеизвестным методам [9].

На последующем этапе исследований проведено сопоставление средних значений спектральных коэффициентов посевов кукурузы, рассчитанных по данным космического сканирования, средних значений основных показателей почв и показателей качественного состава листьев кукурузы для каждого из почвенных ареалов, представленные в таблице. Анализ этих данных показал, что значение спектральных индексов посевов кукурузы, в целом, четко дифференцировано по почвенным выделам, отличающимся основными агрохимическими показателями почвы – содержанием гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и интегральной агрохимической оценкой ареалов для сельскохозяйственного использования.

Например, показатели качественного состава листьев кукурузы в фазе выхода в трубку были выше для ареала чернозема обыкновенного среднегумусного тяжелосуглинистого слабосмытого на лессе, для которого показатель агрохимической оценки является самым высоким и составляет 52,5 балла. Разностный индекс NDVI кукурузы для этого ареала имеет низкое значение, что интерпретировано как отсутствие стресса молодых растений кукурузы в результате недостатка элементов питания и влаги, которые вызывают снижение пигментации листьев и их недостаточное развитие. Однако более показательным и информативным отличием между ареалами оказались количественные значения пигментного индекса SIPI, который имеет низкие значения для ареала чернозема обыкновенного среднесуглинистого слабосмытого на рыхлых песчаных породах (ареал 1). Сделан вывод, что индекс SIPI, в отличие от разностного NDVI, обнаружил исходное состояние физиологического стресса для наиболее плодородной почвы полигона (ареал 3). Это можно объяснить как автоморфными условиями расположения данного ареала, так и сравнительно низким содержанием подвижных форм питательных веществ в почве, например содержание подвижного фосфора и отдельных микроэлементов.

Полученные результаты и картосхемы рекомендуются для специалистов агрохимической службы и агрономов в качестве современной картографической основы, позволяющей обоснованно проводить учет и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур, разрабатывать и принимать решения по корректировке системы агрохимических приемов (нормы внесения удобрений и подкормок, их химические формы и т.д.), а также для отдельных участков поля дифференцированно планировать количество и месторасположение точек отбора растительных и почвенных образцов для агрохимического обследования территорий.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе проведенных исследований разработан и апробирован методический подход, который позволяет значительно расширить сферу практического применения данных многоспектрального космического сканирования для диагностики и мониторинга почв на землях сельскохозяйственного назначения, за счет детального учета физиологических особенностей сельскохозяйственной растительности и использования системы спектральных индексов.

Исследования в области применения спутниковой съемки сельскохозяйственной растительности позволили сделать следующие выводы:

1. Для определения уровня обеспеченности почв необходимыми элементами питания растений можно использовать методы листовой диагностики с помощью космической съемки посевов.

2. Космическое изображение посевов кукурузы именно на ранних стадиях развития дает возможность наиболее точного определения почвенных контуров, характеризующихся различным уровнем влагообеспеченности, а также различными агрофизическими и агрохимическими показателями.

3. На основе классификации разновременных космических снимков удалось детализировать картосхему почвенного покрова полигона и определить участки,

которые отличаются друг от друга степенью изменений оптического образа посевов кукурузы.

4. Значения спектральных индексов посевов кукурузы четко дифференцированы по почвенным выделам, отличающихся интегральной агрохимической оценкой сельскохозяйственного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кондратьев, К.Я.* Аэрокосмические исследования почв и растительности / К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 231 с.
2. *Войнов О.А.* Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами / О.А. Войнов. – К.: ИТГИП, 2005. – 392 с.
3. Clevers J.G.P.W., 1994 Imaging spectrometry in agricultural plant vitality and yield indicators. In: Imaging Spectrometry a Tool for Environmental Observations. – Brussels and Luxembourg: Printed in the Netherlands, 1994. – P. 193–219.
4. Nurmiaty, 2013 Spatial Based Assessment of Land Suitability and Availability for Maize (*Zea mays* L.) development in Maros Region, South Sulawesi, Indonesia / Nurmiaty, S. Baja // Open Journal of Soil Science, 2013, 3, 244–251. – Published Online <http://www.scirp.org/journal/ojss>; <http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2013.35029>
5. *Kandari A.M.*, 2013 Agroecological zoning and land suitability assessment for maize (*Zea mays* L.) development in Buton regency, Indonesia / A.M. Kandari, S. Baja, A. Ala, Kaimuddin // Agriculture, Forestry and Fisheries. 2013. Vol. 2(6), Vol. 202–211. – Published online <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/aff>, doi: 10.11648/j.aff.20130206.11
6. *Selige T.* 2001. Interdisciplinary research for precision agriculture preagro: The German joint project for an integrated management system / T. Selige, A. Werner, T. Muhr, U. Schmidhalter // Precision agriculture symposium: data gathering. Online <http://www.regional.org.au/au/gia/16/507selige.htm#TopOfPage>
7. *Медведев, В.В.* Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. 1. Введение в проблему / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во 13 типография, 2007. – 296 с.
8. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько. – К.: Изд-во Киевского ун-та, 1968. – 683 с.
9. Методи аналізів ґрунтів і рослин: методичний посібник / під ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка, А.Д. Міхновської та Р.А. Розумної. – Харків, 1999. – 158 с. – Кн. 1.
10. *Баславская, С.С.* Практикум по физиологии растений / С.С. Баславская, О.М. Трубецкова. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 291 с.
11. *Выгодская, Н.Н.* Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
12. *Росс, Ю.К.* Радиационный режим и архитектоника растительного покрова / Ю.К. Росс. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 344с.

13. *Бындыч, Т.Ю.* Использование данных дистанционного зондирования с целью изучения неоднородности почвенного покрова / Т.Ю. Бындыч // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С.100–109.

14. Электронный ресурс: <http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html>

15. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215с.

16. *Шадчина, Т.М.* Наукові основи дистанційного моніторингу стану посівів зернових / Т.М. Шадчина. – К., 2001. – 269 с.

MODERN APPROACHES TO REMOTE PHYTOINDICATION OF SOIL COVER CONDITION

T.Yu. Byndych, L.P. Koliada, S.R. Truskavetsky

Summary

To determine the level of required nutrients for crops the methods of leaves cover diagnostic using satellite imagery of crops were studied. By using multispectral satellite imagery with high spatial resolution on maize crops in the early stages of their growing through multi-thematic interpretation were received maps of soils due to the level of stress manifestations. This fact allows us to optimize the study of certain land areas and evaluate soil factors of maize nutrition as an indicator of agrochemical soil conditions, and in this case to extrapolate the results obtained in the analysis on territories with similar spectral images.

Поступила 28.08.2015

УДК 631.6.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НОРМЫ ЭРОЗИИ ДЛЯ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ

С.Г. Черный, Н.В. Поляшенко

*Николаевский национальный аграрный университет,
г. Николаев, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Эрозия является главным процессом деградации почв в Украине [1]. Учитывая, что антропогенная, водная и ветровая эрозия является составной частью глобального процесса денудации, очень важно в практическом плане определить ее допустимую величину. Сравнение реальных темпов эрозии почв с ее допустимым значением является необходимой процедурой, как при конкретном противоэрозионном проектировании, так и при долговременном