

ДИСТАНЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАСОЛЕНИ ПОЧВИ

Румяна Кънчева, Деница Борисова

Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, 1113 София; rumik@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Почвената покривка несъмнено заема едно от първостепенните места при дистанционните изследвания. Сред причините са необходимостта както от детайлизация и обновяване на почвените карти, така и от оценка на състоянието на обработваемите земи. От изключително значение е откриването и следенето на процеси, водещи до деградация на почвените ресурси. Един от тях е засоляването, което зависи от редица природни и антропогенни фактори – високи температури, слаб дренаж, повишена минерализация на подпочвените води, усилено напояване и наторяване. Почвеното засоляване е един от основните проблеми, свързани с "износването" и деградацията на почвените ресурси. Засоляването силно се отразява върху плодородието на почвите. Затова от практическа гледна точка е важно да се установи както наличието и разпространението му, така и интензивността на процеса, т.е. да се направи количествена оценка на степента и скоростта на засоляване. Целта на настоящата работа е на базата на експериментален материал да покаже използването на спектрометрични данни за идентификацията на засолен почви и оценка на степента на засоляване. Приложени са различни методи за обработка на многоспектрални данни във видимия и близкия инфрачервен диапазон, получени при наземни и дистанционни изследвания на почви с различно засоляване.

REMOTE SENSING OF SALT-AFFECTED SOILS

Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Science, 1113 Sofia; rumik@abv.bg

ABSTRACT. Soil cover is with no doubt among the priorities of remote sensing investigations. The reason is the need for fine-scale detailization and updating of soil maps as well as the state assessment of agricultural lands. The detection and monitoring of degradation processes is of significant importance for soil and crop management planning. Salinization is one of these processes depending on climatic and anthropogenic factors. Soil salinization is becoming an increasing problem, especially in arid and semi-arid regions and wherever irrigation is practiced. It is considered as a serious "soil threat" to agriculture. Salinity is an ecological factor of considerable importance which imposes the necessity of detection, monitoring and mapping salt-affected soils and also the evaluation of the degree of salinization. Recognition and classification of soil salinity is the first step to combat against salinization. Recent advances in the application of remote sensing technology in monitoring degraded lands, especially salt-affected soils, have shown some success. The objective of this work is to show the implementation of multispectral data acquired in the visible and near infrared bands for the identification of saline soils and to evaluate the utility of saline soils spectra for characterizing soil salinization. Different techniques have been applied for processing spectral data from field-derived and airborne measurements of different classes of saline soils.

Въведение

Прецизно и устойчиво земеделие са понятия, които от концепция доскоро, сега са на път да се превърнат в технология (Pierce, Nowak, 1999; Cowan, 2000). Често ги характеризират като еволюционна стъпка в селското стопанство. Те включват стратегически въпроси, касаещи вида на отглежданите култури, почвените свойства, наторяването, проследяване на вегетационното развитие, прогнозиране на добивите. Освен необходимостта от нарастване на производството обаче, тук стои и въпросът за опазване на природните ресурси. Една от основите, върху която се гради концепцията за прецизно и устойчиво земеделие, са новите информационни възможности, предоставяни от дистанционните средства за наблюдение.

Почвената покривка е особено важен компонент и ресурс на природната среда. Тя отразява взаимовръзките между останалите компоненти (скали, води, климат,

растителност, дейност на човека) и представлява индикатор за екологичното състояние на ландшафта. Прецизното земеделие изисква по-точно характеризиране на почвата и променливите ѝ свойства, като оценката на състоянието на почвата е от значение за следене на почвената деградация и мерките за нейното оздравяване. В този смисъл почвената покривка несъмнено заема едно от първостепенните места при дистанционните изследвания (Manchanda et al., 2002; Anderson, Croft, 2009; Anderson, Kuhn, 2008; Gomez et al., 2008; Meléndez-Pastor et al., 2008). Сред причините за това са необходимостта както от детайлизация и обновяване на почвените карти, така и от оценка на състоянието на обработваемите земи. От изключително важност е откриването и следенето на процеси, водещи до деградация на почвените ресурси. Един от тях е засоляването, което зависи от редица природни и антропогенни фактори – високи температури, слаб дренаж, повишена минерализация на подпочвените

води, усилено напояване и наторяване. Почвеното засоляване е един от основните проблеми, свързани с "износването" на почвените ресурси и се счита за сериозна заплаха за земеделието, отразявайки се силно върху плодородието на почвите. Затова от практическа гледна точка е важно да се установи както наличието и разпространението му, така и интензивността на процеса, т.е. да се направи количествена оценка на степента и скоростта на засоляване.

Множество работи са посветени на използването на различни данни от дистанционните изследвания за характеристика на засолените земи (Metternicht, Zinck, 1996; Wim et al., 2000; Dehaan, Taylor, 2002; Fouad, 2003; Metternicht, Zinck, 2003; Dutkiewicz et al., 2004; Schmid et al., 2005; Leone et al., 2007; Schmid et al., 2009; Meléndez-Pastor et al., 2010), като отбелязват трудностите, които състоят в сложността, взаимосвързаните фактори и динамичността на този процес, зависещ от климатичните условия, свойствата на почвите и аграрната дейност. Ярък пример за сериозния екологичен проблем, какъвто е засоляването на почвите, особено когато е в резултат на човешка дейност, е изчезването на големия воден басейн на Аралско море (<http://www.sciam.ru/2008/7/ecology.shtml>) и появата на огромни площи със засолените почви (фиг.1). Освен непригодността им за използване за стопански цели, те се явяват и замърсители на околните пространства. Според световната статистика засоляването засяга близо 10% от почвените ресурси и 50% от напояваните земи в света. В България засоляването съпътства най-плодородните почви, използвани за интензивно земеделие (Сливенски, Бургаски, Пловдивски и Великотърновски региони).

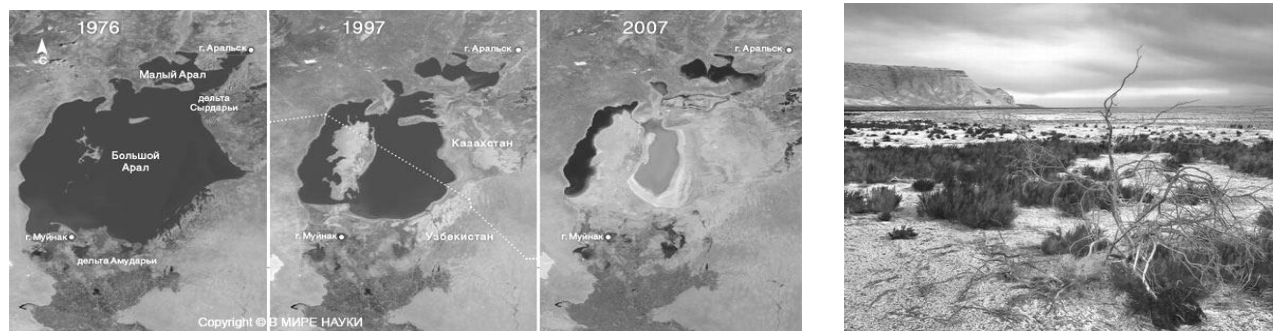
При дистанционните изследвания за оценка на засолеността на почвата често се използват растителни индикатори поради различната толерантност на различни растителни видове към почвеното засоляване (Dehaan, Taylor, 2002). Докато при слабо засолените почви индикатор е инхибираният растеж, при по-силно засолените това е наличието на халофити. Използването на такива вторични индикатори за мониторинг и картиране на засолените площи дава в някои случаи добри резултати, но е ограничен при средно и слабо засоляване, където толерантните култури виреят сравнително добре. Обикновено се правят опити да се различат солево-толерантни и солево-чувствителни растителни видове на базата на многоспектрални

измервания. В други работи за откриване и характеризане на засолените почви по данни от дистанционни изследвания се използват емпирични зависимости между спектралните характеристики и полеовото измерване на електро-проводимостта на почвата, свързвана със степента на засоленост (Dehaan, Taylor, 2002; Dutkiewicz et al., 2004). В редица публикации се отбелязва възможността за различаване по дистанционни данни на силно засолените от незасолените почви, като не се разграничава слабо и умерено засоляване (Metternicht, Zinck, 1996; Fouad, 2003). Заслужава внимание потенциалът за използването на синергетични измервания в различни спектрални диапазони – видим, инфрачервен, топлинен, микровълнов (Wim et al., 2000).

Целта на настоящата работа е да изследва връзката между спектралните отражателни характеристики и засолеността на различни почви и на базата на експериментален материал да покаже използването на спектрометрични данни във видимия и близкия инфрачервен диапазон за идентификация на засолените почви и оценка на степента на засоляване.

Материали и методи

Подобно на приведените по-горе примери, засоляването с различна степен се наблюдава в околностите и по-обширни райони на други солени езера, като например езерото Аджиноур на територията на Азербайджан (фиг. 2), където са проведени голяма част от използваните в настоящата работа изследвания. Засоляването там в зависимост от вида на солончака варира от 6-7 до 15-20%. В работата са използвани също спектрометрични данни от по-слабо засолените почви (до 1-2%) във Виетнам (върху древна морска платформа), Монголия (естествен солонец, ливаден содов солончак) и България (белозем, ливаден солонец, солончак-солонец). Извършеният анализ се отнася за гола почва. Приложени са различни методи за обработка на многоспектралните данни, получени при наземни и дистанционни изследвания на почви с различно засоляване. Измерванията са извършени с многоканални спектрометрични системи в полеви условия и от борда на авионосители (самолет, хеликоптер).



Фиг. 1. Постепенното изчезване на Аралско море и появата на големи площи със засолените почви



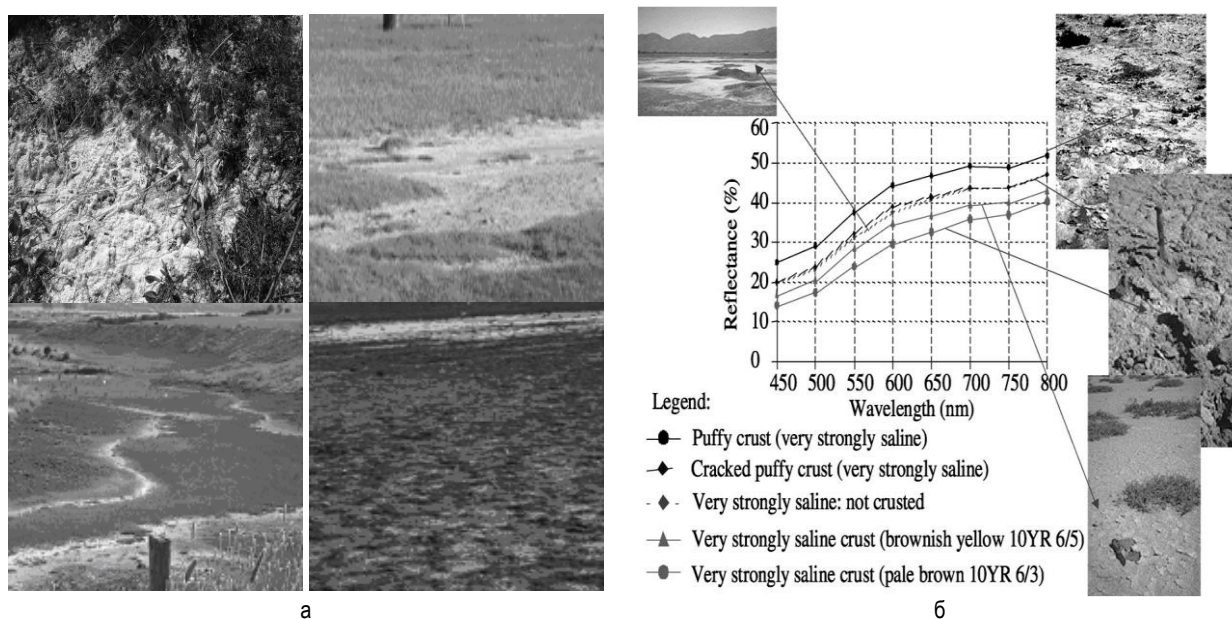
Фиг. 2. Наземно и самолетно спектрометриране на засолені почви в района на езерото Аджиноур, Азербайджан

При интерпретацията на дистанционни многоспектрални данни и изображения се използват характерни особености в отражателната способност на наблюдаваните обекти. За приложение на данните при мониторинг на засолені почви е необходимо детайлно познаване на спектралните им характеристики като функция от засоляването и други физични и химични почвени свойства. Състоянието на засолените почви е комплексно явление, чиято неоднородност, пространствена и сезонна динамика затруднява изследването им както с конвенционални полеви методи, така и по данни от дистанционни наблюдения. Структурата на повърхностния слой, минералния състав, органичното съдържание, влажността и цветът на засолените почвите също са причина за значителни вариации в отражателните им свойства. При анализа на данните са използвани различни дистанционни индикатори, представляващи характерни признаци на отражателната способност на засолените почви като стойности на коефициентите на отражение и техни отношения за различни дължини на вълните, ъгъл на наклона на спектралната отражателна характеристика в различни участъци на разглеждания спектрален диапазон 400-800 nm, представяне в двумерно пространство от приципаци, в което се решава задачата за клъстеризация, множествена регресия и др. В настоящата работа са приведени част от получените резултати.

Резултати и дискусия

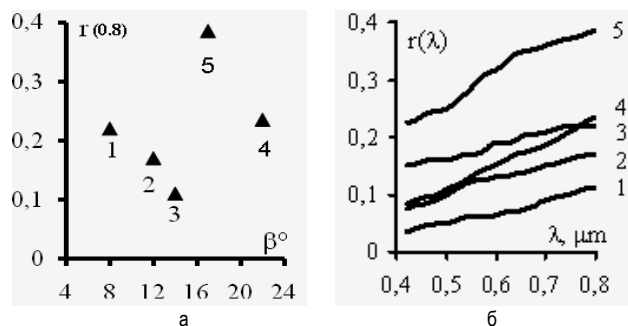
Засолените почви проявяват тенденция за акумулиране на солите на повърхността, локална концентрация и депозирането им в светла кора, белезникави солни петна, ивици и кристали (фиг. 3а), което създава спектрални смеси и затруднения при интерпретацията на дистанционните спектрометрични данни. Освен това те се различават значително по структура от гладка до по-груба, както и по цвят от бяло до тъмно. За цвета роля играе и хумусното съдържание, което може да е по-високо при солонците например и алкалните засолені почви, и води до значителни вариации на отражението. Отбелязва се например, че намаляването на две цветови единици от каталога на Мунсел причинява намаляване на почвеното отражение в целия диапазон. Това се илюстрира от фигура 3б (Metternicht, Zinck, 2003), представяща спектралните отражателни характеристики на силно засолені почви с различна повърхностна структура и цвят, подобно на фигура 3а.

Като цяло всички почви се характеризират с нарастване на отражателната способност в диапазона от 0.4 до 0.8 μm . На фигура 4а са показани измерените спектрални характеристики на няколко почвени типа. Различията в коефициентите на отражение и градиента на спектралните криви служат като опознавателен признак.



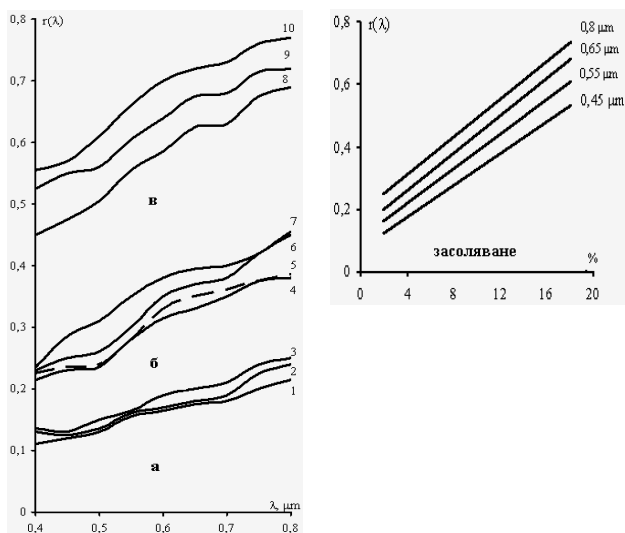
Фиг. 3. Солончак с различна проява на засоляването на повърхността (а): солна кора, петна, ивици, тъмен алкален; спектрални отражателни характеристики на силно засолені почви с различна структура и цвят на повърхностния слой (б)

Засолените почви (4, 5) се отличават с повишена яркост в тази част на спектъра и по-голям наклон. По тези два признака те добре се разделят от незасолените почви, както се вижда и на фигура 3б, където почвите са представени в двумерното пространство на ъгъла на наклона на спектралните криви β° и коефициента на отражение $r(\lambda)$ за дължина на вълната $0.8 \mu\text{m}$.



Фиг. 4. Спектрални отражателни характеристики на различен тип почви (а): 1 – излужен чернозем, 2 – кафява горска, 3 – алувиално-ливадна, 4 – ливаден солонец, 5 – солончак; (б) разположението им в двумерното пространство на ъгъла на наклона на кривата и коефициента на отражение за дължина на вълната $0.8 \mu\text{m}$

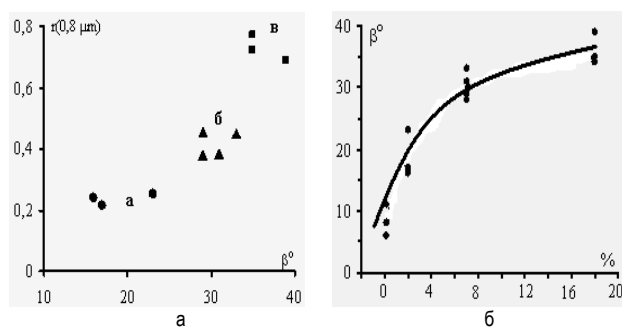
Казаното се допълва от фигура 5, на която са показани спектралните характеристики на почви с различно засоляване. Спектрометричните данни са от наземни измервания, а пунктирната линия е по въртолетни данни. В зависимост от коефициентите на отражение тези почви различимо са групирани по степен на засоленост в слабо (а), средно (б) и силно (в) засолен. Построена е също зависимостта на коефициентите на отражение за различни дължини на вълните от процентното съдържание на соли.



Фиг. 5. Спектрални отражателни характеристики на почви с различна засоленост: а – 1-2% (ливадни солонци), б – 6-8 % (солончак), в – 15-20% (солончак) и зависимост на коефициентите им на отражение за различни дължини на вълните от степента на засоленост

Освен със стойностите на спектралните коефициенти на отражение засолените почви сме характеризирали и с ъгъла на наклона на апроксимиращата права в диапазона

$0.44\text{-}0.66 \mu\text{m}$ (както и в други спектрални участъци и в целия диапазон $0.4\text{-}0.8 \mu\text{m}$). На фигура 6а изчислените му стойности и коефициентите на отражение за дължина на вълната $0.8 \mu\text{m}$ са представени в двумерното пространство на тези опознавателни признаци. Очевидна е възможността за разделяне на разглежданите почви, които оформят три непресичащи се в случая клъстера. Вижда се, че с увеличаване на съдържанието на соли (от група “а” към група “в”) отражателната способност на почвите силно се увеличава, както и наклонът на спектралната крива. Разглеждането на почвите в двумерно пространство от опознавателни признаци позволява по-добро разделяне на засолени от незасолени почви в случаите, когато почвите не могат да бъдат различени само по един от тези индикатори.



Фиг. 6. Представяне на засолените почви в двумерното пространство на ъгъла на наклона на спектралната характеристика и коефициента на отражение за дължина на вълната $0.8 \mu\text{m}$ (а); зависимост на ъгъла на наклона от степента на засоленост (б)

На фигура 6б по данни от измерванията е построена зависимостта на ъгъла на наклона на спектралните криви на засолените почви от процентното съдържание на соли. Включени са и незасолените почви от фигура 4. Тенденцията на емпиричната зависимост е очевидна, особено силно изразена при по-засолените почви, но за практическото използването на подобни зависимости като опознавателен признак на почвено засоляване са необходими множество допълнителни измервания, най-вече на почви с по-слабо засоляване.

Литература

- Anderson, K., H. Croft. 2009. Remote sensing of soil surface properties. – *Progress in Physical Geography*, 33, 4, 457-473.
- Anderson, K., N. Kuhn. 2008. Variations in soil structure and reflectance during a controlled crusting experiment. – *International Journal of Remote Sensing*, 29, 3457-3475.
- Cowan, T. 2000. *Precision Agriculture and Site-Specific Management: Current Status and Emerging Policy Issues*. CRS Report: RL30630.
- Dehaan, R. L., G. R. Taylor. 2002. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. – *Remote Sensing of Environment*, 80, 406-417.
- Dutkiewicz, A., M. Lewisa, B. Ostendorf. 2004. Mapping surface symptoms of dryland salinity with hyperspectral imagery. – *The International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, Part XXX.
- Fouad Al-Khaier, 2003. *Soil salinity detection using satellite remote sensing*. <http://www.docstoc.com/docs/49814022/Soil-Salinity-Detection-Using-Satellite-Remote-Sensing>
- Gomez, C., R. A. V. Rossel, A. B. McBratney, 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field VIS-NIR spectroscopy: an Australian case study. – *Geoderma*, 146, 403–411.
- <http://www.sciam.ru/2008/7/ecology.shtml>
- Leone, A. P., M. Menenti, A. Buondonno, A. Letizia, C. Maffei, G. Sorrentino, 2007. Field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity. – *Agricultural Water Management*, 89, 39–48.
- Manchanda, M.L., M. Kudrat, A. K. Tiwari. 2002. Soil survey and mapping using remote sensing. – *Tropical Ecology*, 43, 1, 61–74.
- Meléndez-Pastor, I., J. Navarro-Pedreño, I. Gómez, M. Koch. 2008. Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils. – *Geoderma*, 147, 3–4, 126–132.
- Meléndez-Pastor, I., J. Navarro-Pedreño, M. Koch, I. Gómez. 2010. Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. – *Geoderma*, 158, 1–2, 55–65.
- Metternicht, G. I., J. A. Zinck. 1996. Modelling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semiarid valleys of Cochabamba (Bolivia). – *ITC Journal*, 2, 125–135.
- Metternicht, G. I., J. A. Zinck. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. – *Remote Sensing of Environment*, 85, 1–20.
- Pierce, F. J., P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. – *Advances in Agronomy*, 67, 1–85.
- Schmid, T., J. Gumuzzio, M. Koch, I. Medel. 2005. Field and imaging spectroscopy to determine soil degradation stages in semi-arid terrestrial ecosystems. – *Proceedings of the 4th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Warsaw, Poland, 27–29 April, 2005*.
- Schmid, T., M. Koch, J. Gumuzzio. 2009. Application of hyperspectral imagery to map soil salinity. – In: *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact and Land Management*, 113–139.
- Wim, G. M., D. Molden, I. Makin. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. – *Agricultural Water Management*, 46, 137–155.