

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ SOIL SURVEY and SOIL QUALITY ASSESSMENT

УДК 631.4:528.8

Ідентифікація солонцюватості чорноземів південних методами багатоспектрального супутникового сканування

С.Г. Чорний*, Д.А. Абрамов

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 26.04.2017 Отримано після доопрацювання 12.08.2017 Затверджено до друку 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p><i>Супутникове зображення; Вторинне осолонцювання; Спектральна яскравість; Обмінний Na⁺; Обмінний K⁺; Спектральна крива</i></p>	<p>Проведено процедуру ідентифікації ознак природного і вторинного осолонцювання ґрунтів за допомогою спектральних характеристик супутникових зображень, виконаних багатоспектральною камерою ETM+, яка знаходиться на борту супутника «Landsat 7». Порівняльним аналізом даних наземних польових та лабораторних досліджень солонцюватих чорноземів південних та спектральних характеристик зображень цих ґрунтів встановлено наявність найтіснішого зв'язку між умістом обмінних Na⁺ та K⁺ у ґрунтовому вбирному комплексі та яскравістю зображень каналів 2 («Green»), 3 («Red») та 5 («SWIR1»). Кількісний аналіз дозволив описати ці зв'язки двома статистично значущими рівняннями регресії, якими, за допомогою інформації із супутникових зображень, можна визначити наявність солонцюватості ґрунтів без польових та лабораторних досліджень. Статистичний аналіз параметрів спектральних кривих показав, що зрошувані вторинно осолонцювані ґрунти характеризуються статистично доведеними більш високими яскравостями за всіма каналами, порівняно з фоновими солонцюватими чорноземами південними.</p>

* E-mail: s.g.chornyy@gmail.com

1. Вступ

Площа солонцевих ґрунтів в Україні, згідно з опублікованими даними [1], становить 2,8 млн га, з яких 1,9 млн га є ріллею. Виділяють власне солонці, з великим умістом обмінного Na⁺ у ґрунтовому вбирному комплексі (ГВК) та екстремально негативними властивостями, та солонцюваті ґрунти, які є, по суті, солонцюватими відмінами зональних ґрунтів (чорноземів південних, каштанових, темно-каштанових). Прояв солонцюватості спричинює зниження родючості ґрунту. Насиченість ГВК ґрунту натрієм та калієм (у солонцевих ґрунтів) обумовлює пептизацію колоїдів, що призводить до їх вимивання з верхнього шару ґрунту та утворення ілювіального (солонцевого) горизонту з край негативною фізичними та хімічними властивостями. У сухому стані такі ґрунти мають високу щільність, тріщинуватість, низьку водопроникність, а у вологому стані ґрунт стає в'язким та злитим. У безструктурних солонцевих ґрунтах мало повітря. Солонцевий процес інколи призводить до утворення соди, яка визначає вкрай сильну лужну реакцію ґрунтового розчину (рН=10-11), що робить такий ґрунт абсолютно неродючим [1].

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва обумовила широке застосування поливів водами високої мінералізації, де переважають лужні солі натрію. У випадку насиченості ГВК натрієм та калієм до 2-5 % відбувається пептизація органічно-мінеральних колоїдів та розвиток дуже специфічного іригаційного або вторинного осолонцювання. Цей процес супроводжується поступовою агрофізичною деградацією ґрунтів, яка проявляється в переущільненні, утворенні кірки на поверхні та у загальному погіршенні якості макроструктури [1, 2]. Площа вторинно осолонцюваних зрошуваних ґрунтів в Україні налічує близько 380 тис. га [1].

Традиційні методи ідентифікації солонців та солонцевих ґрунтів та їх картування включають такі етапи: маршрутне ознайомлення зі станом земель певної території; фіксація проявів солонцюватості на поверхні ґрунту (наявність кірок, специфічних бурих плям, вицвітів); закладання ґрунтових розрізів, шурфів, прикопок; відбирання проб ґрунту; лабораторний аналіз зразків; виділення контурів на карті. Враховуючи витрати коштів та часу, а також територіальну строкатість процесу осолонцювання, альтернативою традиційним наземним дослідженням може бути використання дистанційних методів, зокрема, супутникових зображень.

Спроби використання даних дистанційного зондування [3, 4, 5, 6, 7], освітлені у науковій літературі, вказують на можливість використання багатоспектральних супутникових зображень для картування та моніторингу галогенних ґрунтів.

Кравцова В.І. [3] зазначає, що високою інформативністю для виявлення засолених земель відрізняються дані у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. У статті J. Fariften та ін. [4] викладено концепцію метода у якому дані, отримані з датчиків дистанційного зондування, повинні бути інтегровані з результатами імітаційних моделей для прогнозування різних рівнів солонцюватості та засолення, а також для відслідковування засолення як педогенного процесу.

Lin Bai зі співавторами [5] вивчали розповсюдження і зміну солонцюватості та засоленості ґрунтів Сонгненської рівнини Китаю, використовуючи при цьому дані Landsat 8 OLI. Автори встановили, що для визначення солонцюватості ґрунту найбільш чутливими є канали з короткою довжиною хвилі, при цьому солонцюватість була пов'язана із засоленістю.

Досліджуючи за допомогою даних Landsat MSS зміни у засолених ґрунтах північного індійського штату Уттар-Прадеш R.S Dwivedi і K. Sreenivas [6] виявили значну динаміку площ засолених та солонцюватих ґрунтів.

Інші індійські дослідники [7] зробили спробу оцінити засоленість ґрунту кількісно та просторово з використанням даних супутника IRS-1B LISS II у чотирьох діапазонах. У польових та лабораторних дослідженнях вони здійснили інтеграцію супутникових та польових даних для створення карт солонцюватих зон і визначення рівня солонцюватості.

Метою нашої роботи було виявлення можливості використання методів багатоспектрального космічного сканування для ідентифікації солонцюватості чорноземів південних. Для досягнення поставленої мети вирішували такі задачі: розробити методичні підходи щодо ідентифікації солонцюватості чорноземів південних за допомогою багатоспектральних супутникових зображень; розробити математичні моделі визначення вмісту обмінних натрію та калію у ГВК за даними спектральних супутникових зображень; порівняти між собою спектральні криві зрошуваних і незрошуваних чорноземів південних.

2. Об'єкти, матеріали і методи

Об'єктом дослідження для пошуку зв'язку між наявністю солонцюватості і спектральною яскравістю супутникових знімків, були незрошувані солонцюваті чорноземи південні важкосуглинкові і чорноземи південні важкосуглинкові вторинно осолонцювані зрошувані мінералізованими водами з річки Інгулець. Як стаціонарні тестові ділянки обрано землі на східній околиці села Шевченкове Вітовського району Миколаївської області. Об'єкт дослідження знаходиться у межиріччі Південного Бугу та Дніпра у зоні Правобережного Степу України. Координати північно-східного кута території, де проводили дослідження, такі: 46° 51' 52,6" п.ш. і 32° 15' 28,9" сх.д. На цій території, загальна площа якої становить 104 га, було відібрано 25 проб ґрунту з шару 0-20 см; у точках відбору було виконано географічну прив'язку за допомогою GPS навігатора.

У кожній пробі ґрунту в лабораторних умовах визначили вміст обмінних основ – Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} за стандартизованими методиками [8, 9, 10]. Розрахували частку суми обмінних Na^+ та K^+ у ємності вбирання, як критерій ступеня солонцюватості ґрунту [11]. Для процедури класифікації ступеня солонцюватості окремо було відібрано зразки з орного шару ґрунту, в яких визначили вміст карбонатів об'ємним методом [12].

Як дані дистанційного зондування використовували знімки багатоспектральної камери ETM+, що знаходиться на борту американського супутника «Landsat 7» і здатна проводити знімання у семи спектральних, двох теплових та панхроматичному каналах. Для аналізу використовували супутникові знімки у безхмарні часи весною 2012 року з даними шістьох спектральних каналів: 1-й «Blue» (0,45-0,52 мкм); 2-й «Green» (0,53-0,61 мкм); 3-й «Red» (0,63-0,69 мкм); 4-й «Near Infrared» або «NIR» (0,78-0,90 мкм); 5-й «Short-wave Infrared» або «SWIR1» (1,55-1,75 мкм); 7-й «Short-wave Infrared» або «SWIR2» (2,09-2,35 мкм). Просторова роздільна здатність на місцевості 30×30 м в одному пікселі зображення. Кількісне визначення величини яскравості спектрального каналу для кожного пікселя, що потрапляв на місце відбирання проб ґрунту, здійснювали за допомогою спеціального програмного забезпечення – GIS SAGA.

Для перевірки гіпотези про відсутність (або наявність) статистичних зв'язків використовували критерій Фішера, а перевірку гіпотези щодо рівності середніх значень спектральної яскравості здійснювали за критерієм Ст'юдента. Для цього використовували програму Excel 2010 Microsoft Office, зокрема, пакет «Аналіз даних».

3. Результати та їх обговорення

Аналіз даних, отриманих лабораторними методами, показав (Табл. 1), що середній вміст суми обмінних катіонів Na^+ та K^+ в орному шарі для суходільного осолонцюваного ґрунту становить 2,32 %, а для вторинно осолонцюваного ґрунту зрошуваної ділянки – 4,28 %. Як видно з таблиці, вміст обмінних Na^+ та K^+ в ГВК суходільних ґрунтів практично не змінюється, коливання вмісту невеликі, дисперсія ряду спостережень мінімальна (0,01). Значно більшою дисперсією (0,57) характеризуються дані вмісту Na^+ та K^+ у вторинно осолонцюваних ґрунтах.

Таблиця 1

Характеристика рядів спостережень за вмістом суми катіонів Na^+ та K^+ в ГВК

Статистичні характеристики	Ряди спостережень		
	Загальний	Чорноземи південні важкосуглинкові вторинно осолонцювані, зрошувані	Чорноземи південні важкосуглинкові солонцюваті, суходіл
Кількість членів ряду	25	12	13
Середнє значення	3,26	4,28	2,32
Мінімальне значення	2,18	2,89	2,18
Максимальне значення	5,56	5,56	2,46
Інтервал	3,38	2,67	0,28
Стандартна помилка	0,22	0,22	0,02
Стандартне відхилення	1,12	0,75	0,08
Дисперсія	1,26	0,57	0,01

Враховуючи той факт, що вміст CaCO_3 у ґрунтах, що вивчаються, коливався у межах 2-5 % (Табл. 2), тобто, ґрунти були середньобуферними, згідно з групуванням, представленим у ДСТУ 3866-99 [11], зрошувані вторинно осолонцювані чорноземи південні у більшості випадків мають слабкий ступінь солонцюватості (частка Na^+ становить 3-6 % від ємності ГВК). Слід зазначити, що, незважаючи на незначну частку суми Na^+ та K^+

у ємності ГВК, суходільні ґрунти мають всі ознаки фізичної солонцюватості.

Таблиця 2

Вміст карбонатів в орному шарі ґрунтів полігону

Шар ґрунту, см	Вміст карбонатів (%) у чотирьох точках полігону			
	1	2	3	4
0-20	3,24	4,32	2,16	4,32

Величина спектральної яскравості кожного з шести каналів була перевірена на наявність кореляційного зв'язку з сумарним вмістом обмінних Na^+ та K^+ . Результати представлено у таблиці 3. Як видно з параметрів коефіцієнтів кореляції, найтісніший зв'язок між сумою обмінних Na^+ та K^+ і спектральною яскравістю виявлено для каналів 2 («Green»), 3 («Red») та 5 («SWIR1»).

Коефіцієнти кореляції становили -0,59, -0,64 та -0,66, відповідно. А отже, для використання даних дистанційного зондування для ідентифікації наявності осолонцювання ґрунтів можливо використовувати рівняння множинної регресії між сумою вмісту обмінних катіонів Na^+ та K^+ і спектральною яскравістю цих каналів.

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між вмістом суми обмінних Na^+ та K^+ і яскравістю спектральних каналів зображень багатоспектральної камери ETM+

Спектральний канал	Коефіцієнт кореляції
1 (Blue)	-0,44
2 (Green)	-0,59
3 (Red)	-0,64
4 (NIR)	-0,41
5 (SWIR1)	-0,66
7 (SWIR2)	-0,47

Ми розглянули два варіанти такої регресії. Регресійна модель для зв'язку між сумою вмісту обмінних катіонів Na^+ та K^+ ($\text{Na}+\text{K}$) та яскравістю 3-го («Red») та 5-го («SWIR1») спектральних каналів описується таким рівнянням:

$$\text{Na} + \text{K} = -0,047 \cdot \text{Red} - 0,053 \cdot \text{SWIR1} + 11,417 \quad (1)$$

У цьому випадку регресії виявлено, що множинний коефіцієнт кореляції становить 0,67, коефіцієнт детермінації дорівнює 0,45, а стандартна помилка – 0,87. Перевіркою гіпотези про відсутність зв'язку між сумою вмісту Na^+ та K^+ в ГБК і спектральною яскравістю двох спектральних каналів, за ступенів свободи $k_1 = 2$, $k_2 = 22$, та заданого рівня значущості 0,001, встановлено, що критичне значення критерію Фішера становить $F_{0,001} = 3,44$. Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{спост}} = 8,97$, що означає можливість відкидання гіпотези про відсутність зв'язку між сумою Na^+ та K^+ в ГБК і спектральною яскравістю двох спектральних каналів (3-го («Red») та 5-го («SWIR1»)), оскільки $F_{0,001} < F_{\text{спост}}$. Таким чином, регресійна модель (1) є статистично значущою.

Друга регресійна модель зв'язку між сумою вмісту Na^+ та K^+ в ГБК та яскравістю 2-го («Green»), 3-го («Red») та 5-го («SWIR1») спектральних каналів описується рівнянням:

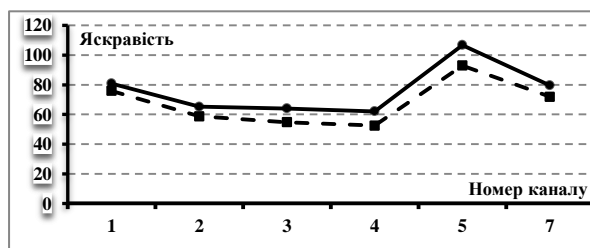
$$\text{Na} + \text{K} = 0.118 \cdot \text{Green} - 0,143 \cdot \text{Red} - 0,146 \cdot \text{SWIR1} + 9.074 \quad (2)$$

У випадку регресії між вмістом Na^+ та K^+ в ГБК та яскравістю 2-го, 3-го та 5-го каналів виявлено, що множинний коефіцієнт кореляції становив 0,68, коефіцієнт детермінації дорівнював 0,46, а стандартна помилка – 0,88.

У процесі перевірки гіпотези про наявність зв'язку між вмістом Na^+ та K^+ в ГБК та спектральними яскравостями трьох спектральних каналів, за степенями свободи $k_1 = 3$, $k_2 = 21$ та заданого рівня значущості у 0,001, було встановлено, що критичне значення критерію Фішера становило $F_{0,001} = 3,07$. Розрахункове значення критерію Фішера дорівнювало $F_{\text{спост}} = 5,97$, що означає можливість відкидання гіпотези про відсутність зв'язку між сумою вмісту Na^+ та K^+ в ГБК ґрунту та спектральними яскравостями трьох спектральних каналів (2-го («Green»), 3-го («Red») та 5-го («SWIR1»)), оскільки $F_{0,001} < F_{\text{спост}}$. Таким чином, і ця регресійна модель (2) також є статистично значущою.

А отже, рівняння (1) і (2) можна використовувати для ідентифікації ознак солонцюватості ґрунту та його картування за допомогою супутникових зображень, виконаних багатоспектральною камерою ETM+, що знаходиться на борту супутника «Ландсат-7». Перевагу, на нашу думку, слід віддавати рівнянню, що має вищий множинний коефіцієнт кореляції, а саме, моделі 2.

Окрім кількісного аналізу зв'язків між яскравостями супутникових зображень певних каналів та параметрами солонцюватості, іншим можливим способом інтерпретації даних дистанційного зондування осолонцьованих ґрунтів є побудова спектральних кривих та статистичний аналіз їх параметрів. Графік спектральної кривої є відображенням зв'язку між довжиною хвилі і значеннями спектральної яскравості ґрунтового об'єкта, що аналізується. У нашому випадку до аналізу залучено дані яскравостей за всіма каналами окремо для зрошуваних вторинно осолонцьованих ґрунтів та для незрошуваних солонцюватих чорноземів південних суходолу (рисунк).



- - Чорноземи південні важкосуглинкові вторинно осолонцьовані, зрошені;
- - Чорноземи південні важкосуглинкові солонцюваті, суходіл

Рис. Спектральні криві

На рисунку на осі X – номери спектральних каналів, в яких проводили вимірювання, а на осі Y – значення спектральної яскравості за розглянутими каналами спектру. Як видно з рисунка, зрошені вторинно осолонцьовані ґрунти мають більші значення яскравостей за всіма каналами. Ця різниця підтверджується і статистичним аналізом. Порівняння середніх значень яскравостей за критерієм Ст'юдента показало, що для першого каналу критерій $T_{st} = 3,6$, для другого $T_{st} = 5,4$, для третього $T_{st} = 6,5$, для четвертого $T_{st} = 3,3$, для п'ятого $T_{st} = 5,6$, для сьомого $T_{st} = 3,0$. Це при тому, що стандартні значення ($T_{st(ct)}$) цього критерію дорівнюють, на рівні значності в 99 %, – 2,8. У всіх випадках $T_{st} > T_{st(ct)}$, тобто, різниця середніх значень яскравості зрошуваних вторинно осолонцьованих ґрунтів та незрошуваних солонцюватих південних чорноземів суходолу за кожним із каналів істотна та достовірна з 99 % вірогідністю.

4. Заключення

Для моніторингу осолонцьованих ґрунтів та їх картування рекомендується використання даних дистанційного зондування, зокрема, багатоспектральних супутникових зображень. Аналіз наземних даних, отриманих для природно солонцюватих (фонових) чорноземів південних та вторинно солонцюватих чорноземів південних у Вітовському районі Миколаївської області та спектральних характеристик зображень, виконаних багатоспектральною камерою ETM+, показав, що найтісніший зв'язок між часткою суми обмінних Na^+ та K^+ в ГБК та яскравістю зображень існує для каналів 2 («Green»), 3 («Red») та 5 («SWIR1»). Коефіцієнти кореляції такі: -0,59, -0,64 та -0,66 відповідно. Кількісний аналіз зв'язку цих параметрів дозволив опрацювати два статистично значущих рівняння регресії, які можна використати для визначення наявності солонцюватості ґрунтів за супутниковими даними. Статистичний аналіз параметрів спектральних кривих показав, що зрошувані вторинно осолонцьовані ґрунти мають статистично доведене зростання середніх значень спектральних яскравостей за всіма каналами порівняно з фоновими солонцюватими чорноземами південними.

Список цитованої літератури

1. *Меліорація ґрунтів* (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія /за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, Р.С. Трускавецького. Херсон: Грін Д.С., 2015. 668 с.
2. Балюк С.А., Воротинцева Л.І. Трансформація властивостей чорноземних ґрунтів і стійкість їх до антропогенного навантаження. *Вісник Львівського університету*. Серія географічна. Львів. 2013. № 44. С. 8–16.
3. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
4. Fariften J., Farshad A., George R.I. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics. *Geoderma*. 2006. № 3-4. P. 196–206.
5. Remote sensing of soil alkalinity and salinity in the Wuyu'er-Shuangyang river basin, northeast China / Bai L., Wang C., Zang S. [et al.]. *Remote sensing*, 2016, № 8(2). URL: <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/2/163/htm> (дата звернення: 25.01.2017).
6. Dwivedi R.S., Sreenivas K. Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics. *International Journal of Remote Sensing*. 1998. № 19. P. 605–619.
7. Tripathi N.K., Rai B.K. Spatial modelling of soil alkalinity in GIS environment using IRS data [Electronic resource] Electronic data. *Geospatial World*, 2009. URL: <https://www.geospatialworld.net/article/spatial-modelling-of-soil-alkalinity-in-gis-environment-using-irs-data/> (viewed on June 13, 2017). Title from the screen.
8. *Почвы*. Метод определения обменного натрия: ГОСТ 26950-86 [Введ. 1987-07-01] М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 6 с. (Государственный стандарт Союза ССР).
9. *Почвы*. Метод определения обменного калия по методу Масловой: ГОСТ 26210-91 [Введ. 1993-06-30] М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 5 с. (Государственный стандарт Союза ССР).
10. *Почвы*. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО: ГОСТ 26487-85 [Введ. 1986-07-01] М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 13 с. (Государственный стандарт Союза ССР).
11. *Ґрунти*. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості : ДСТУ 3866-99. [Чинний від 2000-01-01]. К. : Держстандарт України 1999. 10с. (Національний стандарт України).
12. *Якість ґрунту*. Визначання вмісту карбонатів. Об'ємний метод. (ISO 10693:1995, IDT) : ДСТУ ISO 10693:2001. [Чинний від 2003-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 18 с. (Національний стандарт України).

UDC УДК 631.4:528.8

ALKALINITY IDENTIFICATION OF CHERNOZEMS SOUTHERN BY METHODS OF MULTISPECTRAL SATELLITE SCANNING

S.G. Chornyj *, D.A. Abramov

The Mykolaiv national agrarian university, Mykolaiv, Ukraine

*E-mail: s.g.chornyj@gmail.com

The procedure for identifying the characteristics of soils' alkalization (natural and secondary) has been carried out using the spectral characteristics of satellite images performed by the ETM+ multispectral camera on board the "Landsat 7" satellite. A comparative analysis of data from ground field and laboratory research of alkalization of chernozems southern and the spectral characteristics of these soil images revealed the closest relationship between the content of exchange Na^+ and K^+ in the soil selection complex and the brightness of the images of Channel 2 («Green»), 3 («Red») and 5 («SWIR1»). Quantitative analysis allowed describing these connections by two statistically significant regression equations, which, with the help of information from satellite imagery, can determine the presence of soil alkalization without field and laboratory researches. The statistical analysis of the parameters of the spectral curves showed that irrigated secondary alkalization soils are characterized by statistically proven higher brightness in all channels compared to the background alkalization southern chernozems.

Keywords: satellite image; secondary alkalization; spectral brightness; exchangeable Na^+ ; exchangeable K^+ ; a spectral curve.