

ОЦЕНКА СОЛОНЦЕВАТОСТИ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ МЕТОДАМИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ

Черный Сергей, Абрамов Дмитрий, *Николаевский Национальный Аграрный Университет, Украина*

The procedure of identification of natural and secondary solonetzicity of soils for the addition of spectral characteristics of the satellite images which have been received by the multispectral camera ETM+, which is on board the satellite „Landsat 7”. Analysis of data from field and laboratory studies solonetzicity southern chernozem characteristics and spectral indicators of images of these soils showed the close relationship between the absorbed Na^+ and K^+ contents and brightness of images channel 2 („Green”), 3 („Red”) and 5 („SWIR1”). Quantitative analysis of the relationship of these parameters allows to receive statistically reliable regression equation, which allows using information from satellite images to determine the solonetzicity degree of soils without s field and laboratory studies. Construction of spectral curves and statistical analysis of their parameters showed that irrigated second solonetzicity soils have statistically proved increase of brightness for all channels compared with background natural solonetzicity southern chernozem.

Key words: *solonetzicity southern chernozem, spectral indicators, satellite image, absorbed Na spectral curve.*

ВСТУПЛЕНИЕ

Площадь солонцовых почв в Украине по оценкам *Государственного земельного кадастра* (Мелиорация, 2015) составляет 2,8 млн. га, из которых 1,9 млн. га является пашней. Выделяют

собственно солонцы с большим содержанием Na^+ в почвенном поглощающем комплексе (ППК) с экстремально негативными свойствами и солонцеватые почвы, которые являются, по сути, солонцеватыми вариантами зональных почв (черноземов, каштановых, темно-каштановых), в которых тоже наблюдается ухудшение плодородия, однако оно не столь катастрофично. В солонцах насыщение ППК почвы натрием и калием вызывает пептизацию коллоидов, что приводит к их вымыванию из верхнего слоя почвы и образования иллювиального (солонцового) горизонта с крайне негативными физическими и химическими свойствами. В сухом состоянии такие почвы имеют высокую плотность, трещиноватость, низкую водопроницаемость, а во влажном состоянии солонцы становятся вязкими. Солонцовый процесс иногда приводит к образованию в почвенном растворе соды, которая определяет крайне сильную щелочную реакцию почвенного раствора ($\text{pH}=10-11$), что делает такую почву абсолютно неплодородной [3].

Интенсификация сельскохозяйственного производства в последние 30-40 лет привела к широкому распространению в Украине орошаемых земель, которые поливаются водами высокой минерализации с высоким содержанием солей натрия. При насыщении ППК натрием и калием до 2-5% происходит пептизация органо-минеральных коллоидов и развитие весьма специфического ирригационного или вторичного осолонцевания. Этот процесс сопровождается постепенной агрофизической деградацией почв, которая проявляется в уплотнении, образовании корки и ухудшении качества макроструктуры [1, 3]. Площадь вторично осолонцованных орошаемых почв в Украине насчитывает примерно 380 тыс. га [3].

Традиционные методы идентификации и картирования солонцов и солонцовых почв включают маршрутное ознакомление с состоянием земель определенной территории, фиксацию проявлений солонцеватости на поверхности почв в виде корок, специфических бурых пятен, выцветов, закладка почвенных разрезов, прикопок, отбор проб почвы, их лабораторный анализ и вынесение выделенных контуров на карту. Учитывая затраты средств и времени, а также исключительную территориальную пестроту процессов осолонцевания в Украине, альтернативой традиционным наземным исследованиям может быть использование дистанционных методов, в частности, спутниковых изображений.

Следует отметить, что подобные попытки использования спутниковых снимков хорошо освещены в научной литературе. В частности, ряд авторов указывают на возможность использования данных дистанционного зондирования, в частности, многоспектральных спутниковых изображений для картирования и мониторинга галогенных почв [2, 4, 5, 6 и др.].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Объектом исследования были неорошаемые солонцеватые черноземы южные тяжело суглинистые Правобережной Степи Украины, а также орошаемые вторично осолонцованные аналоги этих почв. При этом орошаемые почвы орошаются минерализованными водами реки Ингулец. В качестве стационарных тестовых участков избрали земли междуречья Южного Буга и Днепра восточнее села Шевченково Витовского района Николаевской области. Координаты северо-восточного угла территории, где проводились исследования следующие - $46^{\circ} 51' 52,6''$ с. ш. и $32^{\circ} 15' 28,9''$ в. д. На этих территориях было отобрано 25 образцов орошаемой и неорошаемой почвы из слоя 0-20 см. В точках отбора была выполнена географическая привязка с помощью GPS навигатора. Для каждого образца в лабораторных условиях определили содержание поглощенных оснований Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} по стандартизованным методикам (ГОСТ 26950-86 и ГОСТ 26487-85) и рассчитывался процент суммы поглощенного Na^+ и K^+ от емкости ППК, как критерия степени солонцеватости почвы (ДСТУ 3866-99). Для процедуры идентификации степени солонцеватости почвы еще определялось и содержание карбонатов объемным методом (ДСТУ ISO 10693:2001).

В качестве данных дистанционного зондирования использовали снимки многоспектральной камеры ETM+, которая находилась на борту американского спутника „Landsat 7” и которая способна проводить съемку в семи спектральных, двух тепловых и панхроматическом каналах. Для исследований использовали безоблачные спутниковые снимки весны 2012 года с данными по шести спектральным каналам – 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” или „NIR” (0,78 - 0,90 мкм); 5-й „Shortwave Infrared” или „SWIR1” (1,55-1,75 мкм) и 7-й „Shortwave Infrared” или „SWIR2” (2,09-2,35 мкм) с пространственным разрешением на местности в 30×30 м в одном пикселе изображения. Количественное определение величины яркости спектрального канала для каждого пикселя, что попадал на точку отбора почвенных образцов, осуществлялись с помощью специального программного обеспечения – GIS SAGA.

Для проверки гипотез об отсутствии (или наличии) статистических связей использовали критерий Фишера, а проверку гипотез о равенстве средних значений спектральной яркости осуществляли по критерию Стьюдента. Для этого использовали программу MS Excel 2010 Microsoft Office, в частности, пакет „Анализ данных”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных по содержанию обменного Na^+ и K^+ показал (табл. 1), что среднее содержание суммы катионов Na^+ и K^+ в пахотном слое неорошаемого осолонцованного почвы составляет 2,32%, а для вторично осолонцованной почвы орошаемого участка этот параметр был значительно больше - 4,28%. Как видно из таблицы, содержание поглощенного Na^+ и K^+ в ППК неорошаемых почвенных образцов практически не изменяется, а дисперсия ряда наблюдений минимальная (0,01). Значительно большая дисперсия (0,57) наблюдается при определении суммы содержания Na^+ и K^+ во вторично осолонцованных почвах. Учитывая Как видно из таблицы, содержание поглощенного Na^+ и K^+ в ППК неорошаемых почвенных образцов практически не изменяется, а дисперсия ряда наблюдений тот факт, что содержание CaCO_3 в этих почвах колеблется в пределах 2-5%, то есть эти почвы являются средне буферными, то, согласно классификации, представленной в ДСТУ 3866-99, орошаемые вторично осолонцованные южные черноземы в большинстве случаев имеют слабую степень солонцеватости (3-6% Na^+ и K^+ от емкости ППК).

Таблица 1. Характеристика рядов наблюдений за содержанием суммы катионов Na та K в ППК.

Величина спектральной яркости каждого из шести спектральных каналов была проверена на наличие корреляционной связи с суммой поглощенных Na^+ и K^+ . Результаты представлены в таблице 2.

| Ряды наблюдений | Количество членов ряда | Среднее | Минимальное значение | Максимальное значение | Интервал | Стандартная ошибка | Стандартное отклонение | Дисперсия |
|------------------------------------|------------------------|---------|----------------------|-----------------------|----------|--------------------|------------------------|-----------|
| Общий ряд | 25 | 3,26 | 2,18 | 5,56 | 3,38 | 0,22 | 1,12 | 1,26 |
| Вторично осолонцованные почвы | 12 | 4,28 | 2,89 | 5,56 | 2,67 | 0,22 | 0,75 | 0,57 |
| Неорошаемые солонцеватые черноземы | 13 | 2,32 | 2,18 | 2,46 | 0,28 | 0,02 | 0,08 | 0,01 |

Таблица 2. Корреляционная матрица между содержанием суммы Na^+ и K^+ и яркостями спектральных каналов изображений многоспектральной камеры ETM+.

Как видно из корреляционной матрицы, наиболее тесная связь выявлена между содержанием поглощенного Na^+ и K^+ и спектральной яркостью для канала 2 („Green”), 3 („Red”) и 5 („SWIR1”). Коэффициент корреляции составил - 0,59, -0,64 и - 0,66, соответственно. А значит,

| Данные | Сума Na^+ и K^+ , % | Спектральные каналы | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| Содержание Na^+ , % | 1 | | | | | | |
| Спектральные каналы | 1 | -0,44 | 1,00 | | | | |
| | 2 | -0,59 | 0,91 | 1,00 | | | |
| | 3 | -0,64 | 0,86 | 0,97 | 1,00 | | |
| | 4 | -0,41 | 0,94 | 0,90 | 0,84 | 1,00 | |
| | 5 | -0,66 | 0,65 | 0,84 | 0,90 | 0,59 | 1,00 |
| | 7 | -0,47 | 0,33 | 0,54 | 0,63 | 0,20 | 0,88 |

для использования данных дистанционного зондирования почв для идентификации степени осолонцевания возможно применить уравнение множественной регрессии между суммой содержания поглощенных катионов Na^+ и K^+ и спектральной яркостью этих каналов.

Сделанные расчеты позволили получить регрессионную модель связи между суммой содержания Na^+ и K^+ в ППК и яркостью 2-го („Green”), 3-го („Red”) и 5-го („SWIR1”) спектральных каналов:

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

Количественный анализ параметров уравнения показал, что множественный коэффициент корреляции составляет 0,68, коэффициент детерминации был равен 0,46, а стандартная ошибка - 0,88.

В процессе проверки гипотезы о наличии связи между содержанием Na^+ и K^+ в ППК и спектральными яркостями трех спектральных каналов, по степеням свободы $k_1 = 3$, $k_2 = 21$ по заданному уровню значимости в 0,001, было установлено, что критическое значение критерия Фишера составляло $F_{0,001} = 3,07$. Расчетное значение критерия Фишера составило $F_{\text{набл}} = 5,97$, что означает отрицание гипотезы об отсутствии связи между суммой содержания Na^+ и K^+ в ППК почвы и спектральными яркостями трех спектральных каналов (2-го („Green”), 3-го („Red”) и 5-го („SWIR1”), поскольку $F_{0,001} < F_{\text{набл}}$. Таким образом, и эта регрессионная модель является статистически значимой. А, следовательно, это уравнение можно использовать для идентификации солонцеватости и его картирования с помощью спутниковых изображений, полученных многоспектральной камерой ETM+, которая находится на борту спутника „Ландсат - 7”.

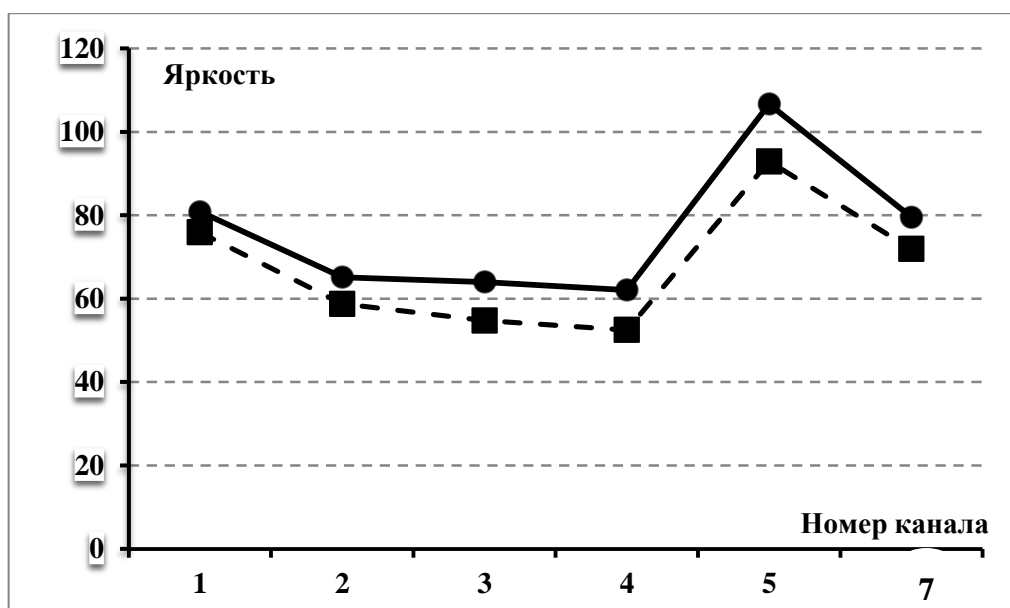


Рисунок. Спектральные кривые (●- вторично осолонцованные южные черноземы на орошении, ■- солонцеватые южные черноземы без орошения).

Кроме количественного анализа связей между яркостями спутниковых изображений определенных каналов и параметрами солонцеватости, другим возможным способом интерпретации данных дистанционного зондирования почв является построение спектральных кривых и статистический анализ их параметров. График спектральной кривой представляет собой отображение связи между длиной волны и значениями спектральной яркости почвенного объекта, который анализируется. В нашем случае до анализа были взяты данные яркостей по всем каналам отдельно для орошаемых вторично осолонцованных почв и для неорошаемых солонцеватых южных черноземов.

На этом рисунке по оси X – номера спектральных каналов, в которых проводились измерения, а по оси Y – значение спектральной яркости. Как видно из рисунка, орошаемые вторично осолонцованные почвы имеют большие значения яркостей по всем каналам. Эта разница подчеркивается и статистическим анализом. Сравнение средних значений яркостей по критерию Стьюдента показал, что для первого канала критерий $T_{st} = 3,6$, для второго $T_{st} = 5,4$, для третьего $T_{st} = 6,5$, для четвертого $T_{st} = 3,3$, для пятого $T_{st} = 5,6$, для седьмого $T_{st} = 3,0$. Это при том, что стандартные значения ($T_{st(ст)}$) этого критерия равны на уровне значимости в 99% – 2,8. То есть во всех случаях $T_{st} > T_{st(ст)}$, а, значит, разница средних значений яркости орошаемых вторично осолонцованных почв и неорошаемых солонцеватых южных черноземов по каждому каналу существенна и достоверна с 99% вероятностью.

ВЫВОДЫ:

1. Для мониторинга осолонцованных почв и их картирования рекомендуется использование данных дистанционного зондирования, в частности, многоспектральных спутниковых изображений.
2. Анализ наземных данных, полученных для первично и вторично солонцеватых южных черноземов Витовского района Николаевской области Украины и спектральных характеристик изображений, полученных многоспектральной камерой ETM+ показал на наличие тесной связи между суммой поглощенных Na^+ и K^+ в ППК и яркостью изображений для каналов 2 („Green”), 3 („Red”) и 5 („SWIR1”). Коэффициент корреляции составил - 0,59 - 0,64 и - 0,66 соответственно. Количественный анализ связи этих параметров позволил получить статистически значимое уравнение регрессии, которые можно использовать для определения степени солонцеватости почв по спутниковым данным. Построение спектральной кривой и статистический анализ ее параметров показала, что орошаемые вторично осолонцованные почвы имеют статистически доказанное увеличение яркостей по всем каналам по сравнению с фоновыми солонцеватыми неорошаемыми южными черноземами.

Библиография:

1. Балюк, С.А. *Трансформація властивостей чорноземних ґрунтів і стійкість їх до антропогенного навантаження*. Балюк, Л.І. Воротинцева. В: Вісник Львівського університету. Серія географічна. Львів, 2013, № 44, с. 8-16.
2. Кравцова, В.И. *Космические методы исследования почв* / В.И. Кравцова. Москва: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
3. *Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації)*: колективна монографія [за ред. С.А. Балюка, І.М. Ромащенко, Р.С. Трусковецького]. Херсон: Гринь Д.С., 2015. 668 с.
4. Fariften, J. *Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics* / Fariften J., Farshad A., George R.I. In: Geoderma, 2006, № 3-4, pp. 196-206.
5. Lin, Bai. *Remote sensing of soil alkalinity and salinity in the Wuyu'er-Shuangyang river basin, northeast China* / Lin Bai, Cuizhen Wang, Shuying Zang, Yuhong Zhang, Qiannan Hao, YuexiangWu. In: Remote sensing, 2016, № 8(2). URL: <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/2/163/htm> (дата обращения: 25.01.2017)
6. Dwivedi, R.S. *Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics* / Dwivedi, R.S., Sreenivas, K. In: International Journal of Remote Sensing, 1998, № 19, pp. 605-619.