9. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Ч. 4. Фундаментальная агрохимия: учеб. пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
10. Самсонова Н.Е. Агрохимия: удобрения и основы их применения. – Смоленск: Смоленская ГСХА, 2018. – 106 с.
11. Давлетшина М.Р. Анализ устойчивости почв методами математического моделирования: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. – Уфа: Башкирский ГАУ. 2003. – 24 с.

УДК 63.631.471:52.528.873.041.3

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-97-99

*Павлова А.И.,
СФНЦА РАН, Новосибирская область, р.п. Краснообск*

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПОЧВЕННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

В статье рассматриваются вопросы цифрового картографирования сельскохозяйственных земель с применением географических информационных систем и данных дистанционного зондирования, полученных в результате аэрофотосъемки местности с применением беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: цифровая пространственная модель землепользования, цифровая почвенная карта, географические (геоинформационные) системы, данные дистанционного зондирования Земли, беспилотные технологии, мультиспектральная аэрофотосъемка.

Для разработки цифровых пространственных моделей землепользований актуально применение данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). Аэрофотосъемка местности с применением беспилотного летательного аппарата позволяет получать актуальную информацию о пространственных границах земельных участков, о состоянии почв и растительности. Это необходимо для разработки пространственных баз данных. При этом наиболее трудоемкая работа связана с цифровой обработкой снимков, связанной с построением орфотопланов и дешифрированием различных объектов природного и антропогенного происхождения. Для целей сельского хозяйства требуется разработка электронных карт полей, почвенных карт и карт агрохимического состояния почв. В ходе цифрового почвенного картографирования привлекаются вегетационные индексы (ВИ).

Наиболее известные ВИ основаны на вычислениях с использованием двух участков электромагнитного диапазона длин волн: красной и ближней инфракрасной, как наиболее информативных участках кривой спектральной отражательной способности растений и почвенного покрова. В красном диапазоне электромагнитного спектра (от 0,62 до 0,75 мкм) фиксируется максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, в ближней инфракрасной зоне (от 0,75 до 1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким показателям спектральной отражательной способности в красной области спектра и большим показателям в ближней инфракрасной. Это позволяет распознавать на снимках растительность [1]. Основное достоинство ВИ состоит в относительной простоте их вычисления с помощью ГИС и программ, предназначенных для обработки ДДЗЗ. Области применения ВИ разнообразны. В работе выполнен анализ наиболее известных ВИ для цифрового почвенного картографирования.

Работы выполнены на территории опытной станции «Элитная» – филиала СФНЦА РАН (Новосибирский район, Новосибирской области). Территория исследований расположена на плоской равнине. В качестве исходных материалов в работе использована почвенная карта-схема, космический снимок Sentinel-2A, а также цифровые снимки, полученные в ходе выполнения аэрофотосъемки местности с середины мая по июнь 2021 г.

В результате исследований была выполнена аэрофотосъемка местности с применением беспилотного летательного аппарата самолетного типа Supercam S250F, оснащенного мультиспектральной фотокамерой Parrot Sequoia с четырьмя спектральными каналами: зеленый

(530-570 нм), ближний инфракрасный (770-810 нм), красный (640-680 нм), красный край (red_edge) (730-740 нм).

Фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков выполнена с использованием Pix4Dmapper Professional. С помощью программного комплекса ENVI 5.5 были созданы карты индексов вегетации.

В литературе при использовании мультиспектральных космических снимков для цифрового почвенного картографирования применяются следующие ВИ: нормализованный относительный индекс вегетации (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI); нормализованный относительный водный индекс (Normalize Difference Water Index, NDWI); оптимизированный почвенный вегетационный индекс (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index, OSAVI); вегетационный индекс растительности с поправкой на почву (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI); преобразованный вегетационный индекс с поправкой на почву (Tranformed Soil-Adjusted Vegetation Index, TSAVI); улучшенный вегетационный индекс (Enhanced vegetation index2, EVI2).

Часто используемый вегетационный индекс NDVI изменяется в диапазоне от -1 до $+1$. Для растительности имеет положительные значения. Чем выше проективное покрытие и высота растительного покрова, тем выше значения индексов. Значения индексов существенно зависят от видового состава растительности, проективного покрытия, цвета почвы, угла наклона и экспозиции поверхности. NDVI применяют для картографирования почв, оценки состояния посевов, прогнозирования урожайности культур и др. Для открытых почв NDVI принимает небольшие значения – менее 0,1 (рисунок 1).

Рисунок 1. Карта индекса вегетации NDVI

Вегетационный индекс SAVI часто используется при дешифрировании пустынных областей, имеющих незначительное покрытие растительностью. Почвенный ВИ SAVI служит для распознавания растительности и уменьшения влияния почвы (влажность почвы, цвет почв и др.) с помощью коэффициента коррекции спектральной яркости почвы:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1+L), \quad (1)$$

где NIR – значение спектральной яркости в ближней инфракрасной зоне спектра;

RED – значение спектральной яркости в красной зоне спектра;

L – значение покрытия зеленой растительностью.

Значения показателя L непостоянны. Для расчета SAVI использован почвенный фактор $L=0,2$.

В работе получены карты индексов OSAVI, TSAVI, EVI2, используемых для дешифрирования почвенного покрова и сельскохозяйственных земель. Преобразованный почвенный вегетационный индекс TSAVI использован для минимизации влияния яркости почвы. При его вычислении считают, что линия почвы имеет произвольный уклон [3].

В ходе исследований были также рассчитаны ВИ, основанные на использовании зеленого участка спектра и края красного участка (red edge): NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), CI red_edge (Chlorophyll Index Red Edge), GNDVI. На рисунке 2 приведена карта индекса вегетации NDRE.

Рисунок 2. Карта индекса вегетации GNDVI

Таким образом, применение беспилотных технологий выполнения аэрофотосъемки позволило оперативно получить растровые карты ВИ, пригодные для дешифрирования сельскохозяйственных земель и почв.

Достоинством методики дешифрирования почв на основе ВИ является относительная простота математических вычислений. Однако для ВИ в большинстве случаев не разработаны стандартизированные шкалы. Поэтому дальнейшие исследования направлены на обоснование выбора ВИ для цифрового почвенного картографирования и их интерпретацию для разных типов почв.

Использованные источники:

1. Miura T., Huete A., Yoshioka H. An empirical investigation of cross-sensor relationships of NDVI and red/near-infrared reflectance using EO-1 Hyperion data // *Remote Sensing of Environment*. – 2006. – Vol. 100. – Is2. – pp. 223–236.
2. Huete A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) // *Remote sensing of Environment*. – 1988. – № 25. – pp. 295–309.
3. Baret F., Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment // *Remote Sensing of Environment*. – 1991. – Vol. 35. – pp. 161–173.