

УДК 629.78 : 004.77

## МЕТОД КАЛИБРОВКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2018 А.В. Галицкая, Е.В. Симонова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 12.12.2018

Рассматривается проблема необходимости калибровки мультиспектральных снимков беспилотных летательных аппаратов. Предложен метод калибровки, позволяющий учесть влияние условий съемки на отражательные способности поверхностей. Приведены результаты расчета вегетационного индекса для снимка, откалиброванного с использованием описанного метода и без него.

**Ключевые слова:** мультиспектральная съемка, БПЛА, индексные изображения, калибровка изображений, вегетационный индекс.

### ВВЕДЕНИЕ

Современное сельское хозяйство в мире и в России все больше переориентируется на интенсивный тип развития, одним из наиболее перспективных инструментов которого является точное земледелие. Точное земледелие – это система управления продуктивностью посевов, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий [1]. В основе всей системы точного земледелия лежит использование точных карт полей со всеми их характеристиками (химический состав почвы, уровень ее влажности, количество получаемой солнечной радиации, рельеф поля и т.п.). Учет большого количества факторов позволяет получить подробную карту поля, оценить его состояние, причем не всего поля в целом, а отдельных его участков, и при необходимости оперативно скорректировать производственный процесс. Благодаря таким картам фермер получает возможность более рационально распределять ресурсы между участками поля. Таким образом, удается избежать перерасхода ресурсов там, где они прежде использовались в избытке, и повысить продуктивность тех участков, которые ранее недополучали в удобрениях, вспашке или поливе. Также появляется возможность обнаружить участки, пораженные вредителями или болезнью, на начальном этапе. Одним из способов оценки состояния полей является использование мультиспектральных снимков и расчет вегетационных индексов.

### 1. ПОСТРОЕНИЕ ИНДЕКСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКЕ

При мультиспектральной съемке каждый пиксель изображения – это интенсивность отраженного света при определенной длине волны.

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние.

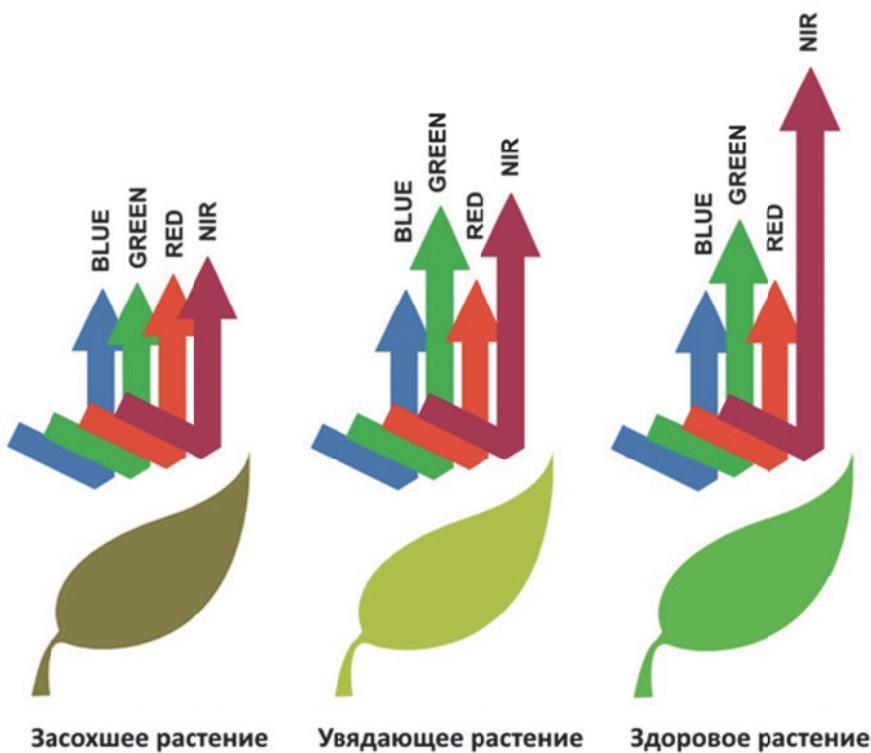
Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62-0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75-1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Т. е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной (рисунок 1). Однако, когда растение становится обезвоженным или болезненным, губчатый слой разрушается, и растение перестает отражать столько света в ближней инфракрасной зоне (NIR) [2].

### 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для проведения измерений и расчетов в дистанционном зондировании, главным обра-

Галицкая Анастасия Вячеславовна, магистрант.  
E-mail: an14215@yandex.ru

Симонова Елена Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий. E-mail simonova.elena.v@gmail.com



**Рис. 1.** Зависимость спектральных отражательных способностей от состояния растительности

зом, в сельском хозяйстве, биологии и других геонауках, может использоваться NDVI – нормализованный относительный вегетационный индекс [3]:

$$NDVI = \frac{nir - red}{nir + red},$$

где *nir* – интенсивность отраженного света в ближнем инфракрасном свете,

*red* – интенсивность отраженного света в видимом красном.

Индекс может принимать значения от -1 до 1. Области без растительности, (бесплодная земля, скалы, песок) показывают очень низкие значения NDVI (менее 0,1), районы низкой и редкой растительности, такие как кустарники и травы, показывают значения в диапазоне 0,2-0,5, а деревья во время их пиковой стадии роста показывают самый высокий диапазон (0,6-0,9), вода показывает отрицательные значения NDVI.

Важно проводить точный расчет индексов, т.к. знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектральными отражательными способностями позволяют использовать снимки для картографирования и идентификации

типов растительности и их стрессового состояния.

Поэтому при получении снимков с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) возникает необходимость их калибровки, чтобы учесть влияние интенсивности света, атмосферных условий и характеристик датчика.

### 3. МЕТОД РЕШЕНИЯ

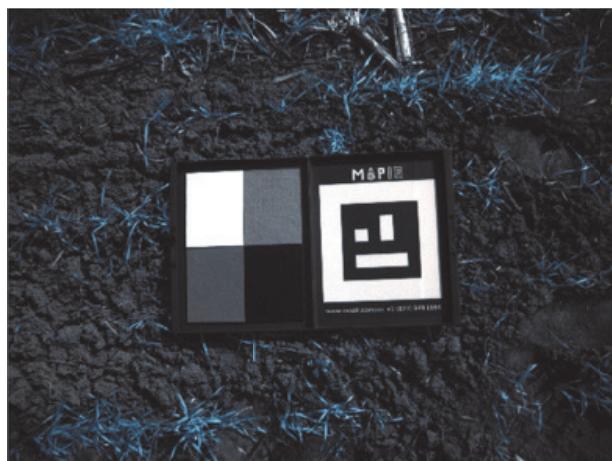
Калибровка – это процедура корректировки значений пикселей с учетом условий съемки. В данной работе для расчета параметров калибровки использовалась калибровочная пластина, содержащая четыре поверхности с известными спектральными характеристиками, фирмы MAPIR [4]. Значения отражательной способности для длин волн, соответствующих 660 нм и 850 нм (красный и инфракрасный соответственно), для каждой из поверхностей представлены в таблице 1.

Для проведения калибровки необходимо перед каждой съемкой сделать отдельный снимок калибровочной пластины (рисунок 2).

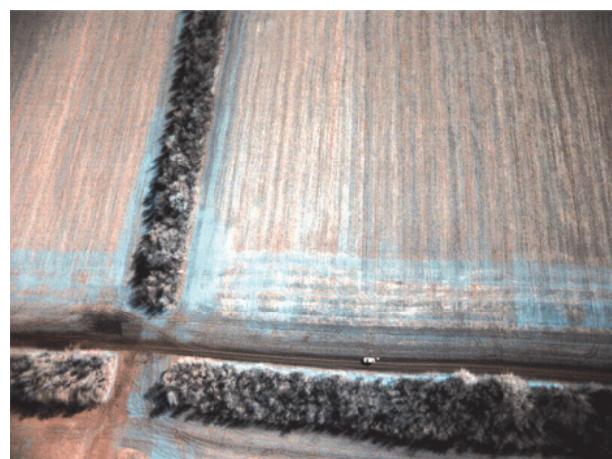
Алгоритм работы метода калибровки заключается в следующем:

**Таблица 1.** Спектральные характеристики целевых поверхностей

| Длина волны, нм | Белая (83%) | Светло серая (27%) | Темно серая (21%) | Черная (2%) |
|-----------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|
| 660             | 87,21       | 26,23              | 19,83             | 1,93        |
| 850             | 86,20       | 27,62              | 22,93             | 1,94        |



**Рис. 2.** Снимок калибровочной пластины, содержащей четыре поверхности с известными спектральными характеристиками



ности могут быть использованы для расчета NDVI:

$$R_{nir} = K_{nir} I_{nir} + b_{nir};$$

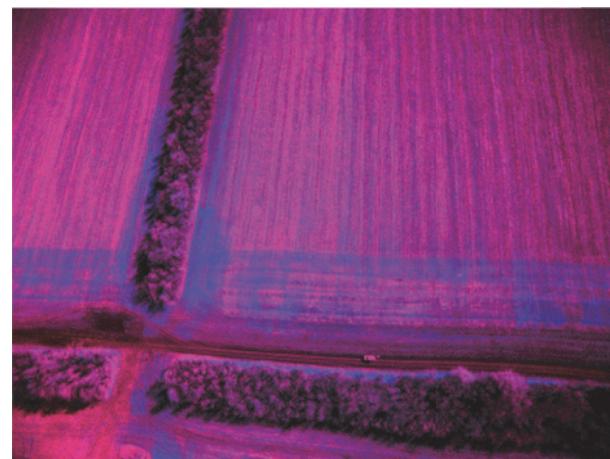
$$R_{red} = K_{red} I_{red} + b_{red}.$$

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ СНИМКОВ

Влияние калибровки на результат обработки мультиспектральных снимков исследовалось путем построения индексного изображения NDVI. При этом использовалась цветовая шкала, представленная на рисунке 4.

На рисунке 5 приведены результаты расчета NDVI для снимка, откалиброванного с использованием калибровочной пластины и без нее соответственно.

Как видно из снимков, изображение справа дает более высокое значение индекса по срав-



**Рис. 3.** Исходный (слева) и откалиброванный снимок поля (справа) в красном и ближнем инфракрасном спектре

1. Исходными данными для работы алгоритма являются папка с необработанными изображениями, полученными после проведения съемки (диапазон значений пикселей в изображениях от 0 до 65535), а также снимок с калибровочной пластиной.

2. Учитывая пластину с известными значениями отражения  $R_1, R_2, R_3, R_4$  и значения необработанных пикселей  $I_1, I_2, I_3, I_4$  мультиспектрального изображения, строятся линейные зависимости. Характеристики линейной функции ( $K$  и  $b$ ) определяются с помощью линейной регрессии [5]:

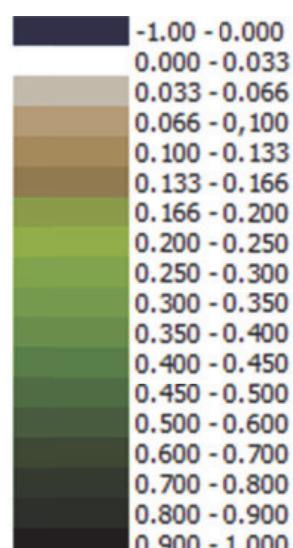
$$R=KI+b.$$

3. Если снимок с калибровочной пластиной не указан, программа автоматически будет использовать заранее заданные значения коэффициентов.

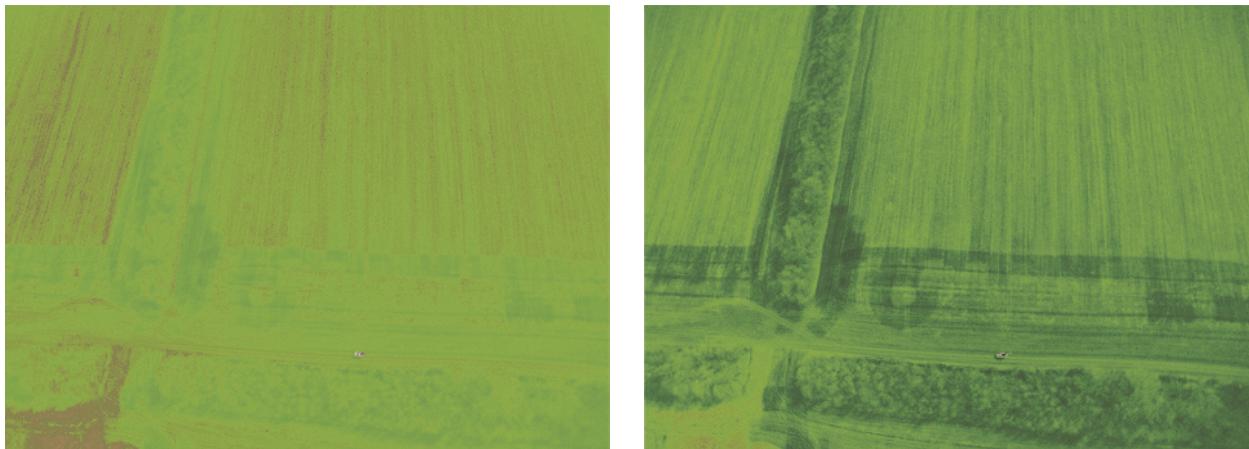
4. Полученные параметры применяются к любому изображению (рисунок 3) для преобразования из необработанных пикселей в коэффициент отражения для каждого канала.

Полученные значения отражательной способ-

нению с левым, что приводит к неправильной оценке состояния растительности в целом. Примеры полученных значений NDVI приведены в таблице 2.



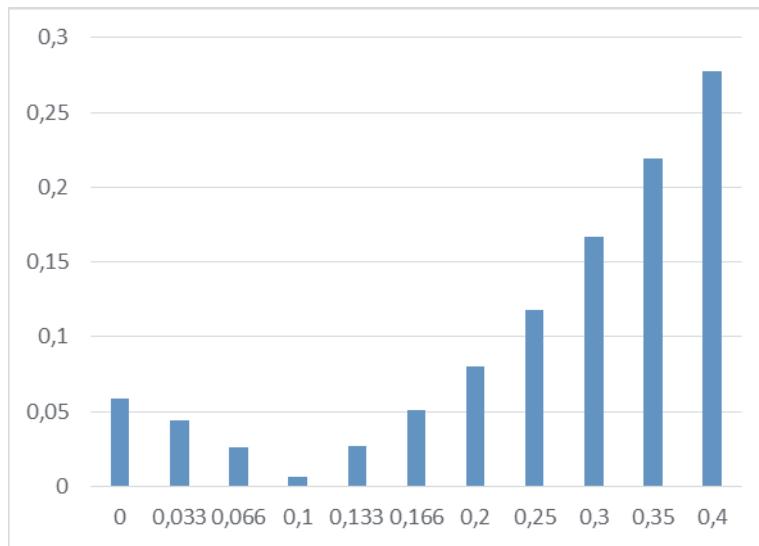
**Рис. 4.** Цветовая шкала NDVI



**Рис. 5.** Индексное изображение NDVI, полученное из откалиброванного с использованием калибровочной пластины (слева) и без нее (справа) снимка поля

**Таблица 2.** Значения NDVI, полученные для откалиброванных изображений

| Тип объекта    | Калибровка с пластиной | Калибровка без пластины |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| растительность | 0.285373               | 0.469046                |
|                | 0.338265               | 0.590802                |
|                | 0.279819               | 0.455965                |
|                | 0.2987225              | 0.498085                |
| почва          | 0.15283                | 0.201009                |
|                | 0.127434               | 0.15512                 |
|                | 0.1116615              | 0.127208                |
|                | 0.136253               | 0.170606                |



**Рис. 6.** Среднее отклонение между индексами NDVI на снимке, откалиброванном с использованием калибровочной пластины, и без калибровочной пластины

На рисунке 6 приведен график среднего отклонения полученных индексов для каждого интервала цветовой шкалы. Экспериментальные снимки были сделаны в период произрастания ростков, поэтому объекты с высокими значениями индекса отсутствуют. В соответствие с областью значений индекса NDVI для каждого типа объекта, приведенной в п. 2, можно сказать, что разница индексов существенна

и может привести к неправильному определению типа и состояния объекта. Так непросевы будут определены как редкая растительность, что соответствует посевам на начальном этапе прорастания, и не будет принято мер по досеву семян. Также без калибровки с помощью пластины не будут замечены участки, требующие внесения удобрений, т.к. показатель NDVI для них также будет завышен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан метод калибровки снимков, полученных с БПЛА, и алгоритм его реализации как один из этапов предварительной обработки снимков. Показана необходимость проведения калибровки снимков для получения правильной оценки состояния растительности. В дальнейшем планируется разработка алгоритма для обработки затененных областей на снимках. Указанные алгоритмы будут использоваться в автоматизированной системе обработки мультиспектральных снимков БПЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Точное земледелие: принцип работы и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoezemledelie/> (дата обращения 15.11.2018).
2. NDVI - теория и практика [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 15.11.2018).
3. Черепанов, А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы [Текст] / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина// Геоматика. – 2009. - №3. С. 28. (дата об-ращения 15.11.2018).
4. MAPIR Camera Reflectance Calibration Ground Target Package (V2) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mapir.camera/products/mapir-camera-reflectance-calibration-ground-target-package-v2> (дата обращения 15.11.2018).
5. Основы линейной регрессии [Электронный ресурс]. URL: <http://statistica.ru/theory/osnovy-lineynoy-regressii/> (дата обращения 15.11.2018).

## METHOD OF CALIBRATION A MULTISPECTRAL IMAGES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

© 2018 A.V. Galitskaya, E.V. Simonova

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper considers the problem of need for calibration of multispectral images of unmanned aerial vehicles. Proposed calibration method that takes into account the effect of shooting conditions on the reflectivity of surfaces. Described results of calculation of the vegetation index for the image calibrated using the described method and without it.

*Keywords:* multispectral imaging, UAVs, index images, image calibration, vegetation index.

---

Anastasiya Galitskaya, Graduate Student.

E-mail: [an14215@yandex.ru](mailto:an14215@yandex.ru)

Elena Simonova, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Chair of Informatics and Information Technology. E-mail:[simonova.elena.v@gmail.com](mailto:simonova.elena.v@gmail.com)