



# Узкодиапазонный сигнатурный двухволновый метод фотометрического контроля и обнаружения объектов известной конфигурации на фоне растительности

Ф. Г. Агаев, Х. Г. Асадов, Г. В. Алиева  
Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку,  
Азербайджанская Республика

Изложены теоретические основы предлагаемого узкодиапазонного узко спектрального метода фотометрического контроля и обнаружения искомых объектов известной конфигурации на фоне леса. Обнаружение искомого объекта осуществляется путем вычисления по предлагаемым формулам его NIR- и RED- узкополосных сигнатур на интервалах длин волн шириной  $\Delta\lambda$ , плотно прилегающих к зоне «красного перехода» в спектре отражения растительности и дальнейшего сравнения этих сигнатур с соответствующими сигнатурами растительности. Предлагаемый метод предусматривает наличие априорных данных о спектральных сигнатурах леса, а также об отношении площадей леса и искомого объекта в формируемом изображении.

**Ключевые слова:** сигнатура, красный переход леса, обнаружение, узкоспектральный метод, фотометрический контроль

Статья получена: 30.01.2023

Статья принята: 24.02.2023

# Narrow-band Signature Dual-wavelength Method for Photometric Control and Detection of Well-known Configuration Objects Against the Vegetation Background

F. G. Agayev, H. H. Asadov, G. V. Alieva  
National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

The theoretical fundamentals of the proposed dual-wavelength narrow-band method of photometric control and detection of the well-known configuration target against the forest background are outlined. The target is detected by calculating its NIR- and RED- narrowband signatures using the proposed formulas at the wavelength intervals with a width of  $\Delta\lambda$ , closely adjacent to the "red edge" area in the vegetation reflection spectrum and further comparing these signatures with the relevant vegetation signatures. The proposed method provides for the availability of a priori data on the forest spectral signatures, as well as on the ratio of the forest areas and the target on the generated image.

**Keywords:** signature, red edge, forests, detection, narrow-band method, photometric control

Received: 30.01.2023

Accepted: 24.02.2023

## INTRODUCTION

The problem of photometric control and detection of objects against the forest background using the hyperspectral technology was solved in a number of papers,

## ВВЕДЕНИЕ

Задача фотометрического контроля и обнаружения объектов, на фоне лесов с применением гиперспектральной техники решалась в ряде работ, например в [1, 2]. Решение этой задачи актуально в целях обеспечения вопросов безопасности, задач поиска и спасения, организации борьбы с нарушителями границы, обнаружения объектов противника во время военных конфликтов и др. Вместе с тем, как отмечается в [2], решение этой задачи весьма затруднительно, в основном из-за высокой степени изменчивости фона, включая состава растительности, текстуры фона и условий освещенности. Частным случаем этой задачи является обнаружение на фоне лесов объектов с известной площадью поверхности. Такими объектами могут быть люди, различные животные, автомобили, военная техника и др., площадь поверхности которых априорно известна. Согласно [3], фоновые объекты в общем случае обладают не только коэффициентом эмиссии и термодинамической температурой, но и содержат такие эффекты как отражение радиации неба и Солнца, влияние температуры поверхности земли.

Общая схема дистанционного определения показателей таких наземных объектов заключается в следующем. В широком диапазоне длин волн следует решить следующую задачу минимизации разности  $\Delta$ , используя метод наименьших квадратов:

$$\Delta = \sum_{\lambda} [\varepsilon_g \cdot L(T_g, \lambda) - L_{meas.cor}(\lambda)]^2, \quad (1)$$

где:  $\lambda$  – длина волны;

$\varepsilon_g$  – коэффициент эмиссии искомого «серого» объекта;

$T_g$  – температура этого же объекта;

$L_{meas.cor}$  – атмосферно-скорректированная измеренная радиация. Последняя величина определяется как:

$$L_{meas.cor}(\lambda) = \frac{L_{meas}(\lambda) - L_{atm}(\lambda)}{\tau_{atm}(\lambda)}, \quad (2)$$

где:  $L_{meas}(\lambda)$  – измеренная радиация с объекта;

$L_{atm}(\lambda)$  – исходная атмосферная радиация;

$\tau(\lambda)$  – оптическая толщина атмосферы.

Таким образом процедура (1)–(2) позволяет путем выбора  $\varepsilon_g$ ,  $T_g$  уподобить фотометрически контролируемый объект к модели «серого» тела.

Вместе с тем такой общий подход к идентификации различных объектов в качестве «серого» тела очевидно не позволяет решать задачу идентификации объектов, находящихся на фоне со сложной отражательной спектральной характеристикой, каковым являются скопление деревьев или массив лес.

for example, in [1, 2]. The solution of this problem is relevant in order to ensure the security issues, search and rescue problems, arrangement of protection against the border violators, detection of the enemy objects during the military conflicts, etc. Moreover, as noted in [2], the solution of this problem is rather difficult, mainly due to the high degree of background variability, including the vegetation composition, background textures, and lighting conditions. A special case of this problem is the detection of objects with a well-known surface area against the forest background. Such objects can be people, various animals, cars, military equipment, etc., the surface area of which is known a priori. According to [3], the background objects in the general case not only have an emission factor and thermodynamic temperature, but also contain such effects as the sky and sun radiation reflection, influence of the earth's surface temperature.

The general circuit for remote determination of such ground object indicators is as follows. In a wide range of wavelengths, the following problem of minimizing the difference  $\Delta$  should be solved using the least squares method:

$$\Delta = \sum_{\lambda} [\varepsilon_g \cdot L(T_g, \lambda) - L_{meas.cor}(\lambda)]^2, \quad (1)$$

where  $\lambda$  is the wavelength;

$\varepsilon_g$  is the emission factor of the “gray” target;

$T_g$  is the temperature of the same target;

$L_{meas.cor}$  is an atmospheric-adjusted measured radiation. The last value is determined as follows:

$$L_{meas.cor}(\lambda) = \frac{L_{meas}(\lambda) - L_{atm}(\lambda)}{\tau_{atm}(\lambda)}, \quad (2)$$

where  $L_{meas}(\lambda)$  is the measured radiation from the object;

$L_{atm}(\lambda)$  is the initial atmospheric radiation;

$\tau(\lambda)$  is the atmospheric optical thickness.

Thus, the procedure (1)–(2) makes it possible to assimilate the photometrically controlled object to the gray body model by selecting  $\varepsilon_g$ ,  $T_g$ .

Moreover, such a general approach to the identification of various objects as the gray bodies obviously does not allow to solve the object identification problem that are against a background with a complex reflection spectral-response characteristic, such as an agglomeration of trees or a forest area.

Vegetation, and in particular the trees, has a specific reflection spectrum with several interesting narrow-band regions that allow to use the narrow-band signatures to detect objects located against the forest background.

Растительность, и в частности деревья обладают специфическим отражательным спектром, обладающим несколькими интересными узкополосными зонами, позволяющими использовать узкополосные сигнатуры для обнаружения объектов, находящихся на фоне лесов.

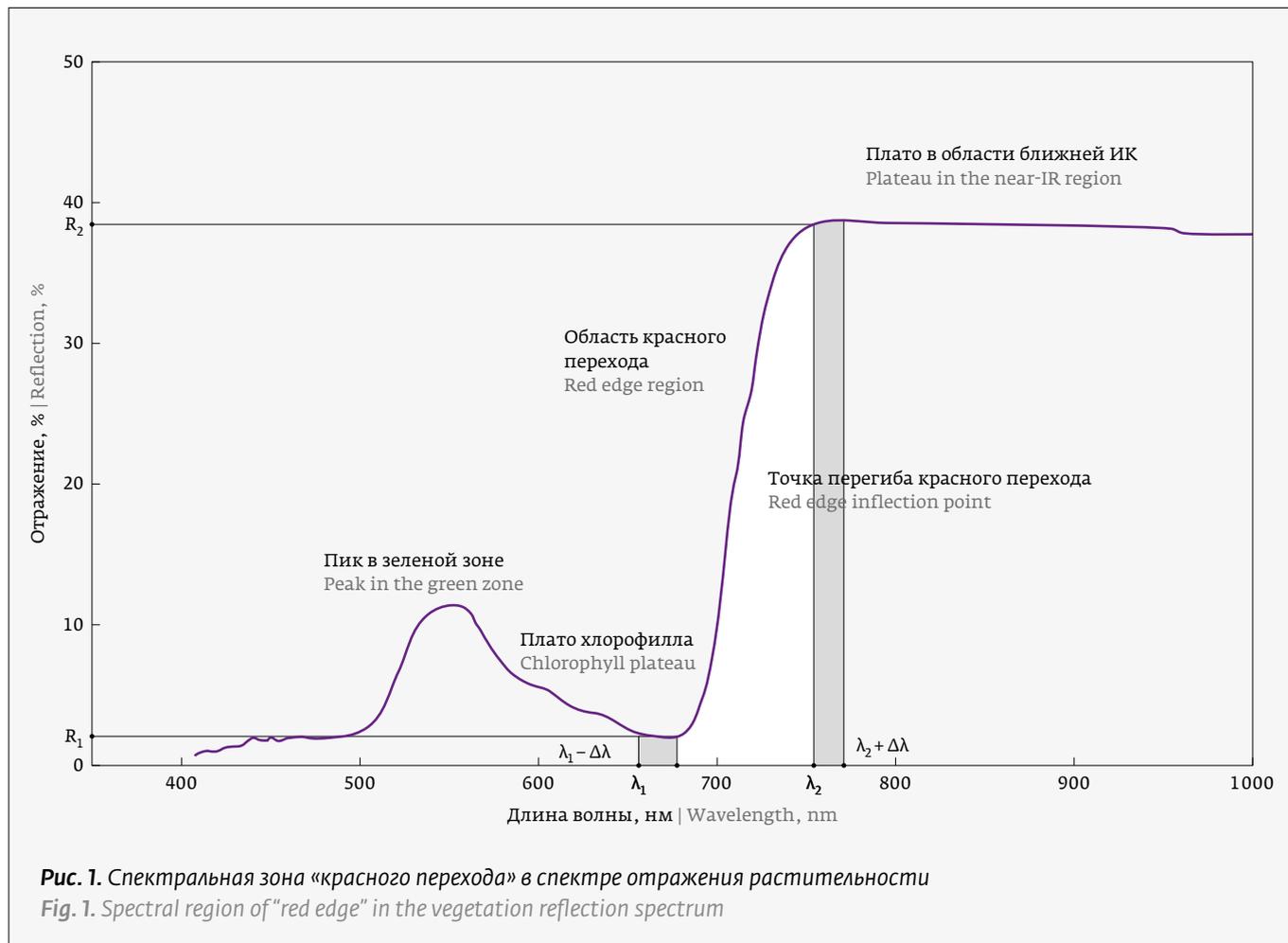
К теории и практике использования узкополосных сигнатур посвящено ряд работ (см. например [4–6]). Согласно [4], использование узкополосных сигнатур определенно полезно, если сам источник излучает или отражает радиацию в узком диапазоне длин волн. Вместе с тем, узкополосные спектральные сигнатуры также могут быть полезными, если известна некоторая априорная связь между этими сигнатурами. Применительно к исходной задаче обнаружения и идентификации объектов на фоне леса рассмотрим возможность формирования узкополосных сигнатур.

Как отмечается в работе [7], основная особенность отражательного спектра растительности заключается в эффекте крутого «красного перехода», что иллюстрируется на рис. 1.

A number of papers are devoted to the theory and practice of using narrow-band signatures (for example, [4–6]). According to [4], the application of narrow-band signatures is certainly useful if the source emits or reflects radiation in a narrow wavelength range. However, the narrow-band spectral signatures can also be useful if some a priori relations between these signatures are well-known. As for the original problem of object detection and identification against the forest background, let us consider the possible formation of narrow-band signatures.

As noted in [7], the main feature of the vegetation reflection spectrum is the red edge effect given in Fig. 1.

According to [7], chlorophyll available in the plants strongly absorbs electromagnetic radiation in the blue (400–500 nm) and red (600–700 nm) regions. In the near infrared region, the pigments absorb radiation on a negligible level, resulting in the formation of a red edge region in the wavelength range of 700–730 nm. Moreover, the red edge effect has a multipurpose nature for vegetation. However, the “red edge”



Согласно [7] хлорофилл, имеющийся в растениях, сильно поглощает электромагнитную радиацию в синей (400–500 нм) и красной (600–700 нм) зонах. В ближней инфракрасной зоне пигменты ничтожно поглощают радиацию, в результате чего формируется зона красного перехода в диапазоне длин волн 700–730 нм. При этом эффект красного перехода имеет универсальный характер для растительности. Однако крутизна «красного перехода» зависит от ряда факторов, таких как тип растения, фенология, наличие стресса у растения. Далее, в настоящей статье излагается предлагаемый метод фотометрического контроля и обнаружения различных объектов, с известной площадью поверхности, расположенных на фоне леса с применением узкополосных спектральных сигнатур, спектральные области которых плотно прилегают к области  $\lambda_1 \div \lambda_2$  справа и слева имея ширину  $\Delta\lambda$  (рис. 1).

## МЕТОД ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Допустим, что мы имеем оптическую систему, строящую изображение объекта (рис. 2). Ее спектральный диапазон охватывает интервал длин волн  $[(\lambda_1 - \Delta\lambda) \div (\lambda_1 + \Delta\lambda)]$ . Полагаем, что с помощью детектора измерения могут быть проведены в RED- и NIR-зонах шириной  $\Delta\lambda$ , показанных на рис. 1. При этом тип и свойства фоновой растительности, в частности показатель  $\eta$ , определяемый как

$$\eta = \frac{L_{ABCD}(NIR)}{L_{ABCD}(RED)}, \quad (3)$$

где:  $L_{ABCD}(NIR)$  – радиация в NIR-диапазоне, исходящая от леса, при отсутствии объектов;  $L_{ABCD}(RED)$  – радиация в RED-диапазоне, исходящая от леса, при отсутствии объекте.

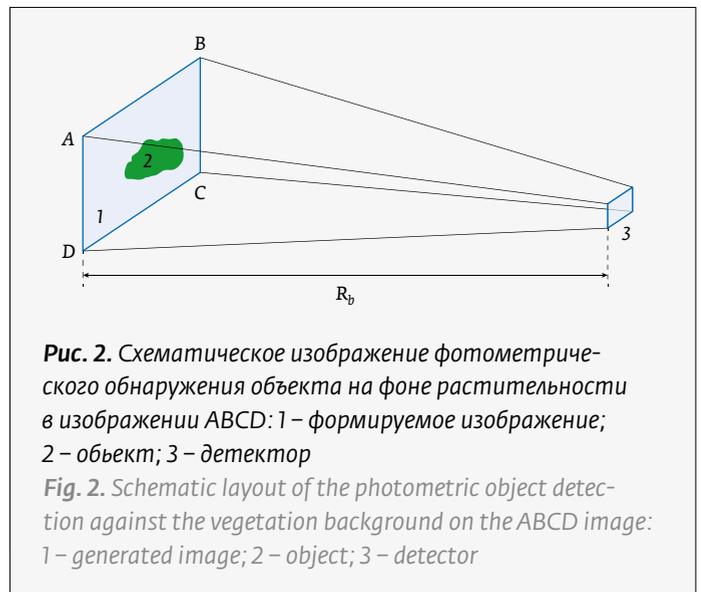
Отметим, что показатель  $\eta$  либо априори известен, либо определяется опытным путем, при измерении в NIR- и RED-диапазонах на том участке леса, где отсутствуют какие-либо объекты на фоне растительности. Природа объекта, который мы хотим обнаружить, нам известна, также нам известна площадь поверхности объекта поиска. Тогда можно предложить следующий алгоритм действий обнаружения объекта:

1. Проведя измерение суммарного потока  $S_{NIR}$  в NIR-диапазоне, найдем:

$$L_{ob}(NIR) = S_{NIR} - L_{ABCD}(NIR)[1 - d], \quad (4)$$

где:  $d = \frac{S_{ob}}{S_{ABCD}}$ ;  $d$  – известная величина; индекс «0b»

указывает принадлежность к объекту.



steepness depends on a number of factors, such as the plant type, phenology, and availability of the plant stress. Further, this article describes the proposed method for photometric control and detection of various objects, with a well-known surface area, located against the forest background, with the use of narrow-band spectral signatures, the spectral regions of which are closely adjacent to the region  $\lambda_1 \div \lambda_2$  on the right and on the left with a width  $\Delta\lambda$  (Fig. 1).

## PHOTOMETRIC CONTROL METHOD

Let us assume that we have an optical system that generates an object image (Fig. 2). Its spectral range covers the wavelength range  $[(\lambda_1 - \Delta\lambda) \div (\lambda_1 + \Delta\lambda)]$ . We believe that the measurements can be made in the RED and NIR regions with the width  $\Delta\lambda$  shown in Fig. 1 using the detector. Moreover, the type and properties of the background vegetation are as follows, in particular, the  $\eta$  ratio, determined as follows:

$$\eta = \frac{L_{ABCD}(NIR)}{L_{ABCD}(RED)}, \quad (3)$$

where  $L_{ABCD}(NIR)$  is radiation in the NIR range, coming from the forest, in the absence of objects;  $L_{ABCD}(RED)$  is radiation in the RED range, coming from the forest, in the absence of an object.

We should note that the ratio  $\eta$  is either a priori known or determined experimentally, when measured in the NIR and RED ranges in that part of the forest where there are no objects against the vegetation background. We know the nature of the object to be detected, and we also know the surface area of the search target. Then we can propose the following object detection algorithm:

2. Осуществляя измерение суммарного потока  $S_{RED}$  в RED диапазоне, находим:

$$L_{ob}(RED) = S_{RED} - L_{ABCD}(RED)[1-d]. \quad (5)$$

Из (3) и (4) получаем:

$$L_{ob}(NIR) = S_{NIR} - \eta \cdot L_{ABCD}(RED)[1-d]. \quad (6)$$

Из (5) и (6) получаем:

$$S_{RED} - \frac{S_{NIR}}{\eta} = L_{ob}(RED) - \frac{L_{ob}(NIR)}{\eta}. \quad (7)$$

С учетом (4) и (5) получим:

$$S_{NIR} + S_{RED} - (1-d)[L_{\Sigma}(\text{лес})] = L_{ob}(NIR) + L_{ob}(RED). \quad (8)$$

Таким образом (7) и (8) представляют собой систему уравнений, где  $L_{\Sigma}(\text{лес})$  является дополнительно измеряемым параметром леса в NIR- и RED-диапазонах, в той части леса, где нам достоверно известно об отсутствии каких-либо фоновых объектов.

Решение системы уравнений (7), (8) получено в виде:

$$L_{ob}(NIR) = \frac{a_2 - a_1}{1 + \frac{1}{\eta}}, \quad (9)$$

$$L_{ob}(RED) = a_2 - \frac{a_2 - a_1}{1 + \frac{1}{\eta}}, \quad (10)$$

где:

$$a_1 = S_{RED} - \frac{S_{NIR}}{\eta},$$

$$a_2 = S_{NIR} + S_{RED} - (1-d)[L_{\Sigma}(\text{лес})].$$

Таким образом предлагаемый метод двухволновых узкодиапазонных сигнатур позволяет контролировать и обнаружить искомые объекты с известной площадью поверхности, используя их фотометрические изображения на фоне массива леса путем вычисления значений узкополосных сигнатур объектов поиска и сравнения этих значений с соответствующими показателями леса. Критерием обнаружения может служить выполнение следующих условий

$$L_{ABCD}(NIR) \neq L_{ob}(NIR)/d, \quad (11)$$

$$L_{ABCD}(RED) \neq L_{ob}(RED)/d. \quad (12)$$

1. After measuring the total flow  $S_{NIR}$  in the NIR range, we will determine the following:

$$L_{ob}(NIR) = S_{NIR} - L_{ABCD}(NIR)[1-d], \quad (4)$$

where  $d = \frac{S_{ob}}{S_{ABCD}}$ ;  $d$  is a well-known value; the “ $Ob$ ”

ratio indicates belonging to the object.

2. By measuring the total flow  $S_{RED}$  in the RED range, we will find the following:

$$L_{ob}(RED) = S_{RED} - L_{ABCD}(RED)[1-d]. \quad (5)$$

We will get the following using (3) and (4):

$$L_{ob}(NIR) = S_{NIR} - \eta \cdot L_{ABCD}(RED)[1-d]. \quad (6)$$

We will get the following using (5) and (6):

$$S_{RED} - \frac{S_{NIR}}{\eta} = L_{ob}(RED) - \frac{L_{ob}(NIR)}{\eta}. \quad (7)$$

With due regard to (4) and (5), we will obtain the following:

$$S_{NIR} + S_{RED} - (1-d)[L_{\Sigma}(\text{forest})] = L_{ob}(NIR) + L_{ob}(RED). \quad (8)$$

Thus, (7) and (8) represent the combined equations, where  $L_{\Sigma}(\text{forest})$  is an additionally measured forest parameter in the NIR and RED ranges, in that part of the forest where there is a confirmed absence of any background objects.

The solution of the combined equations (7), (8) is obtained in the following form:

$$L_{ob}(NIR) = \frac{a_2 - a_1}{1 + \frac{1}{\eta}}, \quad (9)$$

$$L_{ob}(RED) = a_2 - \frac{a_2 - a_1}{1 + \frac{1}{\eta}}, \quad (10)$$

where:

$$a_1 = S_{RED} - \frac{S_{NIR}}{\eta},$$

$$a_2 = S_{NIR} + S_{RED} - (1-d)[L_{\Sigma}(\text{лес})].$$

Thus, the proposed method of dual-wavelength narrow-band signatures makes it possible to control and detect the targets with a well-known surface area, using their photometric images against the forest background by calculating the narrow-band signature values of the search objects and comparing these values with the relevant forest indicators. The detection criterion can be fulfillment of the following conditions:



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен двухдиапазонный узкоспектральный метод фотометрического контроля и обнаружения искомых объектов известной площади поверхности на фоне леса. Критерием обнаружения искомого объекта является несовпадение значений NIR- и RED-узкополосных сигнатур, леса и искомого объекта. Значения величин вычисляются на интервалах длин волн шириной  $\Delta\lambda$ , плотно прилегающих к зоне «красного перехода» в спектре отражения растительности по разработанным формулам. Предлагаемый метод предусматривает наличие априорных данных о спектральных сигнатурах леса, а также об отношении площадей леса и искомого объекта в формируемом фотометрическом изображении. Получены аналитические формулы для вычисления узкополосных спектральных сигнатур искомых объектов поиска, используемых для их контроля, обнаружения и идентификации на фоне массива леса.

## REFERENCES

1. **Olsen R. C., Bergman S., Resmini R. G.** Target detection in a forest environment using spectral imagery. URL: [https://www.researchgate.net/publication/228815798\\_Target\\_Detection\\_in\\_a\\_Forest\\_Environment\\_using\\_Spectral\\_Imagery](https://www.researchgate.net/publication/228815798_Target_Detection_in_a_Forest_Environment_using_Spectral_Imagery).
2. **Gonzalez S. A. R., Shimoni M., Plaza J., Plaza A., Renhorn I., Ahlberg J.** The detection of concealed targets in woodland areas using hyperspectral imagery. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS 2020)*. 2020; IV.
3. **Nilsson P., Nilsson C.** Hyperspectral analysis of IR data from a background scene. *Proc. SPIE 5075. Targets and Backgrounds IX: Characterization and Representation*. 5 September 2003. DOI:10.1117/12/486901.
4. **Montoya J. R., Sutherland R. A.** Narrow-band signature propagation through obscuring atmospheres. *Proc. SPIE 5075. Targets and Backgrounds IX: Characterization and Representation*. 5 September 2003. DOI:10.1117/12.487640.
5. **Iqbal I. M., Balzter H., Shabbir A.** Identifying the spectral signatures of invasive and native plant species in two protected areas of Pakistan through field spectroscopy. *Remote Sens.* 2021;13:4009. DOI:10.3390/rs13194009.
6. **Ray S. S., Jain N., Miglani A., Singh J. P., Singh A. K., Panigrahy S., Parihar J. S.** Defining optimum spectral narrow bands and bandwidths for agricultural applications. *Current Science*. 25 May 2010; 98(10): 1365–1369.
7. **Mohammed G. H., Noland T. L., Irving D., Sampson P. H., Zarco-Tejada P. J., Miller J. R.** Natural and stress-induced effects on leaf spectral reflectance in Ontario species. *Forest Research report*. No 156.
8. *Development of an IR signature model*. URL: [https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/2912/CHAPTER\\_6\\_july26.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/2912/CHAPTER_6_july26.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

## АВТОРЫ

- Агаев Фахрaddin Гюльали оглы, д. т. н., профессор, Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика.  
ORCID 0000-0002-9826-0868
- Асадов Хикмет Гамид оглы, д. т. н., профессор, Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика.  
ORCID 0000-0003-1180-1535
- Алиева Гюнель Вагиф гызы, к. т. н., Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика.  
ORCID 0000-0001-6540-8750

$$L_{ABCD}(NIR) \neq L_{ob}(NIR) / d, \quad (11)$$

$$L_{ABCD}(RED) \neq L_{ob}(RED) / d. \quad (12)$$

## CONCLUSION

The dual-wavelength narrow-band method for photometric control and detection of targets with a well-known surface area against the forest background is proposed. The target detection criterion is the mismatch between the values of the NIR and RED narrow-band signatures, the forest, and the target. The values are calculated at the wavelength intervals with a width of  $\Delta\lambda$ , closely adjacent to the “red edge” region in the vegetation reflection spectrum according to the developed formulas. The proposed method provides for the availability of a priori data on the forest spectral signatures, as well as on the ratio of the forest and target areas on the generated photometric image. The analytical formulas have been obtained for calculating the narrow-band spectral signatures of the search targets used for their control, detection and identification against the forest background.

## AUTHORS

Agayev Fakhreddin Gyalali ogy, Dr. of technical sciences, professor, National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.  
ORCID 0000-0002-9826-0868

Asadov Hikmet Hamid ogy, Dr. of technical sciences, professor, National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.  
ORCID 0000-0003-1180-1535

Alieva Gunel Vagif gyzy, Cand. of technical sciences, National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.  
ORCID 0000-0001-6540-8750

ЭЛЕКТРОНИКА НАНОТЕХНОЛОГИИ ФОТОНИКА ОПТИКА АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ИНФОПРОСТРАНСТВО ФЕССИОНАЛОВ

ТЕХНОСФЕРА

Мы на YouTube

Подписывайтесь