

УДК 631.43:556.3

DOI 10.18286/1816-4501-2020-2-63-67

ВОПРОСЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОЧВЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ВОДНОГО СОДЕРЖАНИЯ

Казимова Фергана Тевеккул, докторант, научный сотрудник
Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство,
Институт Экологии
AZ1141, Республика Азербайджан, г. Баку, проспект Матбуат, 40. тел: +994776001013;
e-mail: fergane.kazimova@mail.ru

Ключевые слова: почва, модель, водное содержание, дистанционное зондирование, калибровка.

Статья посвящена вопросам моделирования процесса определения водного содержания почвы. Мониторинг водного содержания почвы может быть осуществлен с использованием различных контактных методов, включая гравиметрические, электромагнитные, термальные и др. методы. Наиболее перспективным считается гиперспектральный метод, где измерительный сигнал оказывается зависимым от цвета почвы и от ее текстуры, а также от содержания в ней органических веществ. В общем случае методы дистанционного зондирования, обладая более высокими показателями разрешения как во времени, так и в пространстве, позволяют достичь высокой оперативности в решении данного вопроса. Предлагаемый метод калибровки известной модели в качестве исходного положения использует известную модельную зависимость между процентной величиной водного содержания почвы и величиной отраженного сигнала, усредненную по всем типам почвы. Анализ известного метода инверсной полуэмпирической модели отражательного сигнала показал, что для достоверной реализации данного метода используемая полуэмпирическая модель сама должна быть предварительно откалибрована. Показано, что для предварительной калибровки полуэмпирической модели может быть использована экспоненциальная обобщенная модель, разработанная на основе данных канала XS1 SPOT. Получены выражения для осуществления предварительной калибровки полуэмпирической модели и тем самым устранения погрешности измерения типа «промаха» при реализации указанного метода с использованной инверсной полуэмпирической модели отражения. Несмотря на использование различных диапазонов длин волн, получение одинаковых по форме математических выражений рассматриваемых двух моделей позволяет осуществить предварительную калибровку полуэмпирической модели, используемой для определения водного содержания почвы.

Введение

Проблема мониторинга водного содержания почвы может быть решена с использованием различных контактных методов, включая гравиметрические, электромагнитные, термальные и др. методы. Вместе с тем, методы дистанционного зондирования, обладая более высокими показателями разрешения как во времени, так и в пространстве, позволяют достичь высокой оперативности в решении данного вопроса [1-6].

Для указанной цели пригодны следующие методы дистанционного зондирования:

1. Метод микроволнового дистанционного зондирования

2. Метод гиперспектрального дистанционного зондирования.

Первый метод основан на высокой чувствительности микроволнового сигнала обратного рассеяния ко влажности почвы. Однако, этот метод обладает существенным недостатком, заключающимся в зависимости измеряемого сигнала от неровности поверхности исследуемой почвы [7]. Что касается гиперспектрального метода, то здесь измерительный сигнал оказывается зависимым от цвета почвы и от ее текстуры, а также от содержания в ней органических веществ [8-14]. Кроме того проникающая способность электромагнитных волн оптически-

го диапазона значительно ниже, чем у микроволновой электромагнитной волны, следовательно в этом диапазоне возможен контроль влажности только в поверхностном слое почвы. Несмотря на указанные недостатки, в настоящее время в составе различных спутников дистанционного зондирования успешно эксплуатируются такие гиперспектральные сенсоры как PRISMA [15], EnMAP [16], NUXIM [17], работающие в спектральном диапазоне 0.42.5 мкм. Для определения водного содержания почвы осуществляется исследование спектральной характеристики отражения на длине волны (0.42.5 мкм) со спектральным разрешением (312 нм). На рис.1 показаны в качестве примера спектральные характеристики отражения почвы в зависимости от ее водного содержания.

Как видно из кривых, представленных на рис.1, сильные линии поглощения имеются на длинах волн 1.2 мкм; 1.4 мкм и 1.9 мкм.

При этом для определения водного содержания почвы используются следующие индексы:

$$NSMI = \frac{\rho_{1.8} - \rho_{2.119}}{\rho_{1.8} + \rho_{2.119}} \quad (1)$$

$$WISOIL = \frac{\rho_{1.5}}{\rho_{1.9}} \quad (2)$$

где означает отраженный сигнал, а в индексе указана длина волны проводимых измерений в мкм.

Существующий метод определения гравиметрического водного содержания почвы

Следует отметить, что существует спектральные модели почвы, где учитывается текстура почвы. Вместе с тем, была разработана обобщенная модель спектрального отражения сухой почвы [18]. Также было предложено аналитическое выражение, связывающее спектральное отражение с гравиметрическим водным содержанием почвы применительно к априорно заданному классу почвы

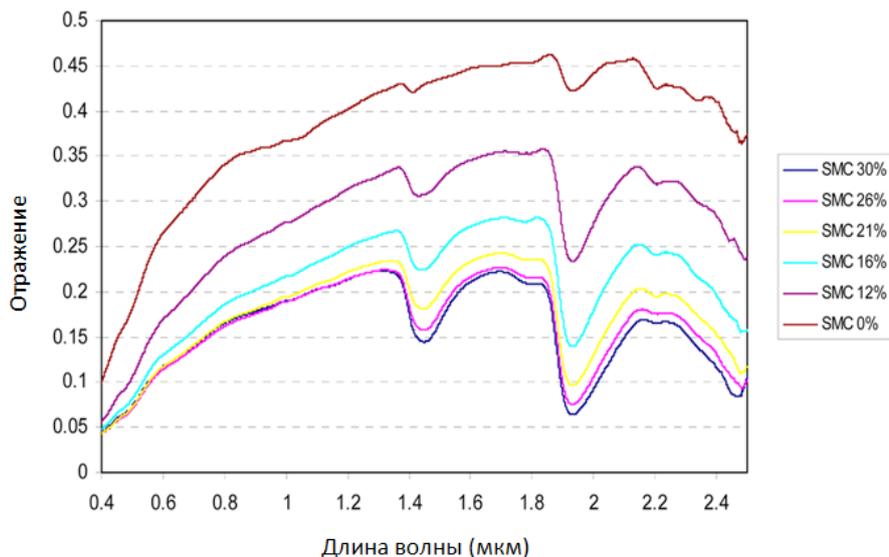


Рис. 1 - Кривые спектрального отражения почвы взятой в местности «30 Camardie» (Франция) в зависимости от водного содержания почвы

$$\rho_1(\lambda_i) = a_1(\lambda_i) \cdot SMG_g^2 + b_1(\lambda_i) \cdot SMG_g + c_1(\lambda_i) \quad (3)$$

где λ_i – длина волны проводимых измерений; $i = \overline{1,2}$

SMG_g – водное содержание почвы; a_1, b_1, c_1 – постоянные коэффициенты, зависящие от длины волны λ_i .

Априорная модель типа (3) используется для определения гравиметрического водного содержания путем минимизации следующего выражения [19].

$$E = \sum_{i=0}^q (\rho(i) - (a_i(i)SMC_g^2 + b(i)SMG_g + c(i)))^2 \quad (4)$$

где i – порядковый номер используемой длины волны;

q – количество используемых длин волн в диапазоне 0.42.5 мкм;

ρ – спектральное отражение.

Таким образом, после минимизации (4) путем подбора коэффициентов $a_i(i), b(i)$ и $c(i)$ появляется возможность вычислить величину SMC_g .

Вместе с тем, такой метод определения SMC_g имеет следующий существенный недостаток, заключающийся в том, что используемая в данном методе инверсная полуэмпирическая модель почвы предварительно не может быть откалибрована для вычисления прикидочных величин коэффициентов $a_i(i), b(i)$ и $c(i)$.

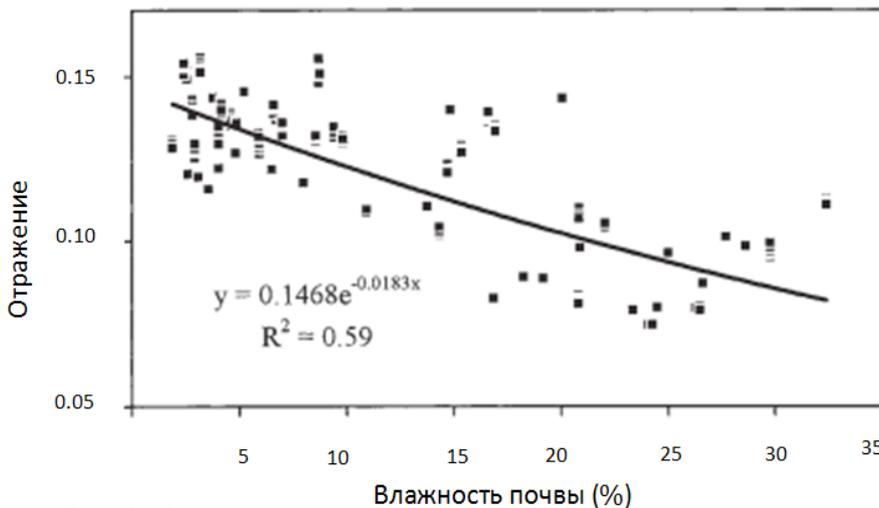


Рис. 2 - Регрессионная кривая зависимости отраженного сигнала от процентной величины содержания влаги в почве

Наличие таких приблизительных величин позволило бы устранить аномальные погрешности вычислений типа «промахов». Следовательно, разработка специальной методики для априорной калибровки вышеуказанной модели можно считать важной и актуальной задачей.

Предлагаемый метод калибровки априорной модели

Предлагаемый метод калибровки априорной модели в качестве исходного положения использует полученную в [20] модельную зависимость между процентной величиной водного содержания почвы и величиной отраженного сигнала, усредненную по всем типам почвы. Указанная зависимость применительно к каналу XS1 SPOT имеет вид

$$\rho_2 = d_1 \cdot \exp(-d_2 x) \quad (5)$$

где x – процентного содержание влаги в почве;

$$d_1 = 0.1468; d_2 = -0.0183x.$$

Соответствующая регрессионная кривая показана на рис.2 [12, с. 173-180].

Приняв очевидное равенство

$$x = K_1 \cdot SMC_g \quad \text{где } k_1 = \text{const} \quad (6)$$

выражение (5) перепишем в виде

$$\rho_2 = d_1 \cdot \exp(-d_2 \cdot K \cdot SMC_g) = d_1 \cdot \exp(-d_3 \cdot SMC_g) \quad (7)$$

где

$$d_3 = d_2 \cdot k_1 \quad (8)$$

Хорошо известно, что имеет место следующее разложение экспоненциальной функции в степенной ряд

$$\exp(-z) = 1 - \frac{z}{1!} + \frac{z^2}{2!} - \frac{z^3}{3!} + \dots$$

(9)

Судя по почти линейному характеру кривой, показанной на рис.2, роль кубического члена в (9) мизерна. Ограничиваясь процентной величиной влажности почвы в интервале 0-30, можно посчитать, что неучет кубического члена приведет к появлению погрешности не более 1.5. Следовательно, ограничившись первыми тремя членами в разложении (9), выражение (7) можно представить в виде:

$$\rho_2 = d_1 \left[1 - \frac{d_3 SMC_g}{1!} + \frac{(d_3 \cdot SMC_g)^2}{2!} \right] \quad (10)$$

Далее приняв

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = k_2 \quad (11)$$

из (10) и (11) получим

$$\rho_2 = k_2 d_1 \left[1 - \frac{d_3 SMC_g}{1!} + \frac{(d_3 \cdot SMC_g)^2}{2!} \right] = \frac{(k_2 d_1 d_3)^2}{2!} \cdot SMC_g^2 - k_2 d_1 d_3 \cdot SMC_g + k_2 d_1$$

(12)

Сравнивая модели (3) и (12), получаем:

$$a_1(\lambda_i) = \frac{(k_2 d_2 \cdot d_3)^2}{2!} \quad (13)$$

$$b_1(\lambda_i) = -k_2 d_1 d_3 \quad (14)$$

$$c_1(\lambda_i) = k_2 d_1 \quad (15)$$

Учитывая (15) в (14), получим

$$b_1(\lambda_i) = -c_1(\lambda_i) \cdot d_3 \quad (16)$$

из (13) и (14) имеем

$$a_1(\lambda_i) = \frac{[b_1(\lambda_i)]^2}{2!} \quad (17)$$

Из (16) и (17) получим

$$a_1(\lambda_i) = \frac{[c_1(\lambda_i) \cdot d_3]^2}{2!}$$

Таким образом, зная значения показате-

лей k_2 , d_1 , d_3 , используя выражения (3) или (12), можно вычислить значение SMCg и тем самым проверить достоверность модели (3). Вышеизложенная процедура нахождения величин $a_1(i)$, $b_1(i)$ и $c_1(i)$ может быть рассмотрена в качестве предварительной калибровки модели (3).

Обсуждение

Таким образом, показано, что известная полуэмпирическая модель определения влажности почвы, обычно используемая путем сравнения с реальным значением отраженного сигнала на фиксированных длинах волн, сама нуждается в предварительной калибровке с использованием других известных моделей. Такая предварительная калибровка полуэмпирической модели оказывается возможной даже при измерении на разных диапазонах длин волн. Так, если в полуэмпирической модели используется близкий инфракрасный диапазон, то в усредненной модели используется длина волны канала XS1 SPOT. Вместе с тем, несмотря на использование различных диапазонов длин волн, получение одинаковых по форме математических выражений рассматриваемых двух моделей позволяет осуществить предварительную калибровку полуэмпирической модели, используемой для определения водного содержания почвы.

Заключение

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

1. Анализ известного метода инверсной полуэмпирической модели отражательного сигнала показал, что для достоверной реализации данного метода используемая полуэмпирическая модель сама должна быть предварительно откалибрована.

2. Показано, что для предварительной калибровки полуэмпирической модели может быть использована экспоненциальная обобщенная модель, разработанная на основе данных канала XS1 SPOT.

3. Получены выражения для осуществления предварительной калибровки полуэмпирической модели и тем самым возможно устранить погрешность измерения типа «промаха» при реализации метода определения SMCg с использованном инверсной полуэмпирической модели отражения.

Библиографический список

1. Large area mapping of soil moisture using the ESTAR passive microwave radiometer in Washita'92. Remote Sensing Environmen / T. J. Jackson, D. M. Le Vine, C. T. Swift, T. J. Schmugge, F. R. Schiebe. – 1995. – V. 54, Issue 1. – P. 27-37.

2. Soil moisture algorithm development and validation for the ADEOS-II/ AMSR. IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium., Catalog No 00CH37120 / T. Koike, E. Njoku, T. J. Jackson, S. Paloscia. – P. 1253–1255.

3. Vauclin, M. L. Humidite des sols en hydrologie: Interet et limites de la teledetection / M. L. Vauclin // In Proceeding of the Hamburg Symposium. - Hamburg, Germany. - 1983. - 25-26 August. – P. 511-527.

4. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. J Atmos Ocean Technol / C. Kummerow, W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, J. Simpson. – 1997. - 3 July. – P. 809–817.

5. Evaluation of SSM/I satellite data for regional soil moisture estimation over the Red River Basin. J Appl Meteorol / V. Lakshmi, E. F. Wood, B. F. Choudhury. – 1997. – P. 1309-1328 .

6. Evaluation of hyperspectral, infrared temperature and radar measurements for monitoring surface soil moisture / R. Bryant, D. Thoma, S. Moran, C. Holifield, D. Goodrich, T. Keefer, G. Paige, D. Williams, S. Skirvin // In Proceeding of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds. - Benson, Arizona. – 2003. - 27-30 October. – P. 528-533.

7. Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L – band SAR image data / J. Shi, J. Wang, A. Y. Hsu, O. E. Neill, E. T. Engman // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. - 1997. - V. 35. – P. 1254-1266.

8. Ben-Dor, E. Visible and near-infrared (0.4–1.1 μ m) analysis of arid and semi-arid soils / E. Ben-Dor, A. Banin // Rem. Sens. Environ. - 1994. - V. 48. – P. 261-274.

9. Baumgardner, M. Reflectance properties of soils / M. Baumgardner // Adv. Agron. - 1986. - V. 38. – P. 1-44.

10. Spectral properties and hydraulic conductance of soil crusts formed by raindrop impact / N. Goldshleger, E. Ben-Dor, Y. Benyamini, D. Blumberg, M. Agassi // Int. J. Remote Sens. - 2002. - V. 23. – P. 3909-3920.

11. Temporal-spatial analysis of farmland evapotranspiration based on complementary relationship model and IKONOS data. Trans. CSAE / C. J. Zhao, G. J. Yang, X. Z. Xue, H. K. Feng, C. Y. Shi. – 2013. – 29. – P. 115–124.

12. Where does all the water go? Partitioning water transmission losses in a data-sparse, multi-channel and low-gradient dryland river system using modelling and remote sensing. J. Hydrol / A. A. Jarihani, J. R. Larsen, J. N. Callow, T. R. McVicar, K. Johansen. – 2015. – P. 1511–1529.

13. Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: An evaluation study at 3 km and 100 m resolution in Catalunya,

Spain. Remote Sens. Environ / O. Merlin, M. J. Escorihuela, M. A. Mayoral, O. Hagolle, A. Al Bitar, Y. Kerr. - 2013. - P. 25–38.

14. Downscaling SMOS-derived soil moisture using MODIS visible/infrared data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens / M. Piles, A. Camps, M. Vall-Ilossera, I. Corbella, R. Panciera, C. Rudiger. - 2011. - P. 3156–3166.

15. AgenziaSpazialeItaliana. The PRISMA mission. Document DC-OST-2009-124. 27 March 2014. - URL: <http://www.asi.it/files/ThePRISMAmission.pdf>

16. EnMap. 27 March 2014. - URL: <http://www.enmap.org/>.

17. Michel, S HYPXIM – A hyperspectral satellite defined for science, security and defence users / S. Michel, M. Lefevre-Fonollosa, S. Hosford //

In proceeding of the 2010 Workshop Hyperspektral. Frascati. – Italy, 2010. - №5 May. DOI : 10.1109/whispers.2011.6080864.

18. Lesaignoux, A Influence of soil moisture content on spectral reflectance of bare soils in the 0.4–14µm domain / A. Lesaignoux, S. Fabre, X. Briottet // Int. J. Remote Sens. - 2013. - V. 34. – P. 2268–2285.

19. Sophie, Fabre. Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5µm domain / Fabre Sophie, Xavier Briottet, Audrey Lesaignoux //Sensors. - 2015. - V. 15. – P. 3262–3281.

20. Muller, Etienne. Modeling soil moisture-reflectance / Etienne Muller, Decamps Muller, Henri // Remote Sensing of Environment. - 2001. - V. 76, No. 2. – P. 173–180.

ISSUES OF IMPROVING THE SEMIEMERIC MODEL OF SOIL FOR DETERMINING ITS WATER CONTENT

Kazimova F. T.

Azerbaijan National Aerospace Agency,

Institute of ecology

AZ1141, Azerbaijan Republik, Baku, Matbuat avenue, 40. tel: +994776001013; e-mail: fergane.kazimova@mail.ru

Key words: soil, model, water content, remote sensing, calibration.

The article is devoted to modeling the process of determining the water content of the soil. Monitoring of soil water content can be conducted using various contact methods, including gravimetric, electromagnetic, thermal, and other methods. The most promising method is considered to be hyperspectral, where the measuring signal is dependent on the color of the soil and its texture, as well as on the content of organic substances in it. In General, remote sensing methods with higher resolution rates both in time and in space allow us to achieve high efficiency in solving this issue. The proposed method of calibration of a known model uses as a starting position a known model relationship between the percentage of water content of the soil and quantity of reflected signal, averaged over all types of soil. Analysis of the well-known method of the inverse semiempirical model of the reflection signal showed that for the accurate realization of this method, used semiempirical model itself must be pre-calibrated. It is shown that an exponential generalized model developed on the basis of data from the XS1 SPOT channel can be used for preliminary calibration of the semiempirical model. Expressions are obtained for performing preliminary calibration of the semiempirical model and thus eliminating the error of measurement of the “miss” type when realizing this method using the inverse semiempirical reflection model. Despite the use of different wavelength ranges, obtaining the same mathematical expressions of the two models under consideration allows to make preliminary calibration of the semiempirical model used to determine the water content of the soil.

Bibliography

1. Large area mapping of soil moisture using the ESTAR passive microwave radiometer in Washita'92. Remote Sensing Environmen / T. J. Jackson, D. M. Le Vine, C. T. Swift, T. J. Schmugge, F. R. Schiebe. - 1995. - V. 54, Issue 1. - P. 27-37.
2. Soil moisture algorithm development and validation for the ADEOS-II/ AMSR. IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium., Catalog No 00CH37120 / T. Koike, E. Njoku, T. J. Jackson, S. Paloscia. - P. 1253–1255.
3. Vauclin, M. L. Humidité des sols en hydrologie: Interetelimities de la telededection / M. L. Vauclin // In Proceeding of the Hamburg Symposium. - Hamburg, Germany. - 1983. - 25-26 August. - P. 511-527.
4. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. J Atmos Ocean Technol / C. Kummerow, W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, J. Simpson. - 1997. - 3 July. - P. 809–817.
5. Evaluation of SSM/I satellite data for regional soil moisture estimation over the Red River Basin. J Appl Meteorol / V. Lakshmi, E. F. Wood, B. F. Choudhury. - 1997. - P. 1309-1328.
6. Evaluation of hyperspectral, infrared temperature and radar measurements for monitoring surface soil moisture / R. Bryant, D. Thoma, S. Moran, C. Holfield, D. Goodrich, T. Keefer, G. Paige, D. Williams, S. Skirvin // In Proceeding of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds. - Benson, Arizona. - 2003. - 27-30 October. - P. 528-533.
7. Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L–band SAR image data / J. Shi, J. Wang, A. Y. Hsu, O. E. Neill, E. T. Engman // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. - 1997. - V. 35. - P. 1254-1266.
8. Ben-Dor, E. Visible and near-infrared (0.4–1.1µm) analysis of arid and semi-arid soils / E. Ben-Dor, A. Banin // Rem. Sens. Environ. - 1994. - V. 48. - P. 261-274.
9. Baumgardner, M. Reflectance properties of soils / M. Baumgardner // Adv. Agron. - 1986. - V. 38. - P. 1-44.
10. Spectral properties and hydraulic conductance of soil crusts formed by raindrop impact / N. Goldshleger, E. Ben-Dor, Y. Benyamini, D. Blumberg, M. Agassi // Int. J. Remote Sens. - 2002. - V. 23. - P. 3909-3920.
11. Temporal-spatial analysis of farmland evapotranspiration based on complementary relationship model and IKONOS data. Trans. CSAE / C. J. Zhao, G. J. Yang, X. Z. Xue, H. K. Feng, C. Y. Shi. - 2013. - 29. - P. 115–124.
12. Where does all the water go? Partitioning water transmission losses in a data-sparse, multi-channel and low-gradient dryland river system using modelling and remote sensing. J. Hydrol / A. A. Jarihani, J. R. Larsen, J. N. Callow, T. R. McVicar, K. Johansen. - 2015. - P. 1511–1529.
13. Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: An evaluation study at 3 km and 100 m resolution in Catalunya, Spain. Remote Sens. Environ / O. Merlin, M. J. Escorihuela, M. A. Mayoral, O. Hagolle, A. Al Bitar, Y. Kerr. - 2013. - P. 25–38.
14. Downscaling SMOS-derived soil moisture using MODIS visible/infrared data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens / M. Piles, A. Camps, M. Vall-Ilossera, I. Corbella, R. Panciera, C. Rudiger. - 2011. - P. 3156–3166.
15. AgenziaSpazialeItaliana. The PRISMA mission. Document DC-OST-2009-124. 27 March 2014. - URL: <http://www.asi.it/files/ThePRISMAmission.pdf>
16. EnMap. 27 March 2014. - URL: <http://www.enmap.org/>.
17. Michel, S HYPXIM – A hyperspectral satellite defined for science, security and defence users / S. Michel, M. Lefevre-Fonollosa, S. Hosford // In proceeding of the 2010 Workshop Hyperspektral. Frascati. – Italy, 2010. - №5 May. DOI : 10.1109/whispers.2011.6080864.
18. Lesaignoux, A Influence of soil moisture content on spectral reflectance of bare soils in the 0.4–14µm domain / A. Lesaignoux, S. Fabre, X. Briottet // Int. J. Remote Sens. - 2013. - V. 34. – P. 2268–2285.
19. Sophie, Fabre. Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5µm domain / Fabre Sophie, Xavier Briottet, Audrey Lesaignoux //Sensors. - 2015. - V. 15. – P. 3262–3281.
20. Muller, Etienne. Modeling soil moisture-reflectance / Etienne Muller, Decamps Muller, Henri // Remote Sensing of Environment. - 2001. - V. 76, No. 2. – P. 173–180.