

## АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

© 2016 С. В. Труханов

Филиал акционерного общества «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр», г. Рязань

В статье рассматривается подход к решению задачи идентификации объектов земной поверхности по данным гиперспектральной съёмки от космических комплексов, базирующийся на сравнении гиперспектральных характеристик исследуемых объектов с набором эталонных сигнатур. Предлагаются алгоритмы идентификации объектов с использованием теории нечётких множеств: алгоритм идентификации на основе нечёткой линейной регрессии и алгоритм консолидации результатов различных решений по идентификации. Алгоритм на основе нечёткой линейной регрессии базируется на применении несимметричных треугольных нечётких чисел. Данный подход, использовавшийся ранее при решении задач аппроксимации и оценки уникальности фрагментов электронной карты, применяется для идентификации гиперспектральных характеристик. Такой выбор основан на том, что нечёткая линейная регрессия позволяет провести идентификацию в условиях неоднозначности. Приводятся результаты экспериментальных исследований предлагаемых алгоритмов на основе реальных данных гиперспектральной съёмки (с космического аппарата «Ресурс-П» №1) в объёме 10 снимков. Показано повышение надёжности идентификации при консолидации результатов от алгоритмов на основе меры подобия евклидова расстояния, угловой меры подобия, а также нечётких мер подобия на 6,1 % по сравнению с одним из исходных алгоритмов, дающим лучшее решение.

*Идентификация объектов, гиперспектральная характеристика, гиперспектральная съёмка, нечёткая линейная регрессия, алгоритм.*

В настоящее время возрастает роль в народном хозяйстве и обороне страны космических исследований, связанных с дистанционным зондированием Земли. Приоритетным направлением в этой области сегодня являются технологии, основанные на гиперспектральной космической съёмке [1–4]. При таком способе наблюдения Земли для каждой точки земной поверхности формируется спектральная характеристика, которая описывает зависимость энергии излучения от длины волны. Спектральная характеристика отражает физико-химические свойства объектов наблюдаемой сцены, что позволяет на качественно новой основе решить трудно формализуемую задачу идентификации объектов земной поверхности. Под идентификацией понимается отнесение

того или иного наблюдаемого объекта к типу (например, растительность, водная поверхность и др.) и классу внутри типа (например, деревья, травы, пресная вода и др.).

Применение данных гиперспектральной съёмки позволяет решать хозяйственные и военно-прикладные задачи (экологический мониторинг окружающей среды; контроль за состоянием водных, лесных, сельскохозяйственных ресурсов; мониторинг животного и растительного мира; геологическая разведка полезных ископаемых и ряд других важных задач).

Процесс обработки данных гиперспектральной съёмки является весьма сложным и многоэтапным. Обычно вначале решаются вопросы предварительной

обработки, в результате чего гиперспектральные данные начинают обладать свойствами измерительной информации и по ней становится возможным оценивать с требуемой точностью спектральные характеристики объектов, привязанные к координатам земной поверхности. Далее решается задача кластеризации (сегментации) гиперспектральных изображений, то есть их разделение на области с примерно одинаковыми свойствами. Наконец, осуществляется идентификация объектов наблюдаемой сцены. Это весьма сложный и трудно формализуемый процесс. Поэтому любые новые конструктивные решения заслуживают всяческого внимания.

В качестве математической основы для идентификации объектов на гиперспектральных изображениях предлагается использовать аппарат нечёткой линейной регрессии. Такой выбор основан на том, что нечёткая линейная регрессия позволяет провести идентификацию в условиях неоднозначности. Теоретическую основу для решения этого вопроса составляют труды известных учёных, таких как Л. Заде, Б. Коско, Э. Мамдани, С.Д. Штовба, Н. Лее, Н. Такака и др. Исследования в этом направлении проводятся в Рязанском государственном радиотехническом университете доктором технических наук, профессором Демидовой Л.А. и доктором технических наук, профессором Тагановым А.И., в Самарском ракетно-космическом центре «Прогресс» – кандидатом технических наук Мятловым Г.Н.

Признанными лидерами в решении задач обработки гиперспектральных изображений являются зарубежные фирмы ITT VIS и Intergraph Corporation (США). Ими создан ряд программных изделий (ENVI, ERDAS IMAGINE), которые получают широкое коммерческое распространение в мире.

В нашей стране активные исследования в данной области ведут: Самарский ракетно-космический центр «Прогресс» и его филиал в Рязани ОКБ «Спектр», Красногорский завод им. С.А. Зверева, Воен-

но-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Научный центр оперативного мониторинга Земли корпорации «Российские космические системы», Рязанский государственный радиотехнический университет, НПО им. С.А. Лавочкина, ЦНИИмаш, Центр Келдыша, НТЦ уникального приборостроения РАН, МГТУ им. Баумана, НИИ «АЭРОКОСМОС», Институт систем обработки изображений РАН (г. Самара), Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва и др.

Эти организации решают вопросы создания гиперспектральной аппаратуры, методик её калибровки, алгоритмического и программного обеспечения первичной и целевой обработки. Однако центральная задача – идентификация объектов по гиперспектральным изображениям – далека от окончательного решения.

Нечёткая линейная регрессия (НЛР) [5–10] позволяет определять признаки уникальности гиперспектральной характеристики исследуемого объекта.

Предложен алгоритм идентификации объектов поверхности Земли по данным гиперспектральной съёмки [11–13]. В его основу положена идея использования нечёткой линейной регрессии при сравнении спектральной характеристики исследуемого объекта с набором эталонных характеристик из базы данных. Процесс идентификации описывается уравнением:

$$Y(x) = A_1 x + A_0, \quad (1)$$

где  $A_1 = \langle a_1, c_1, d_1 \rangle$  и  $A_0 = \langle a_0, c_0, d_0 \rangle$  – треугольные нечёткие числа, соответствующие параметрам  $k$  и  $b$  уравнения классической линейной регрессии (КЛР) ( $y = kx + b$ ). Под треугольным нечётким числом  $A$  принято понимать тройку действительных чисел  $\langle a, c, d \rangle$ , ( $c \leq a \leq d$ ), через которые его функция принадлежности  $\mu_A(x)$  определяется как [14]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-c)/(a-c), & \text{если } x \in [c, a]; \\ (x-d)/(a-d), & \text{если } x \in [a, d]; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

(2)

Алгоритм идентификации реализуется следующей последовательностью действий.

Шаг 1. С помощью решения задачи квадратичного программирования для (1) находятся оптимальные значения параметров  $a_0, c_0, d_0, a_1, c_1, d_1$  из условия:

$$\sum_{j=1}^J (g_j - a_0 - a_1 \lambda_j)^2 + \sum_{j=1}^J (c_0 + c_1 \lambda_j + d_1 \lambda_j) + 0,001(c_0^2 + d_0^2 + c_1^2 + d_1^2) \rightarrow \min_{a, c, d} \quad (3)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} a_0 + d_0 + a_1 \lambda_j + d_1 \lambda_j &\geq g_j, \\ a_0 - c_0 + a_1 \lambda_j - c_1 \lambda_j &\leq g_j, \\ c_0 \geq 0; d_0 \geq 0; c_1 \geq 0; d_1 \geq 0 &(j = \overline{1, J}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\lambda_j$  – значение длины волны для  $j$ -го канала гиперспектрометра;  $g_j$  – значение коэффициента спектрального отражения для  $\lambda_j$ .

Нахождение минимума в (3) выполняется с помощью функции «quadprog» системы инженерных и научных расчётов MATLAB.

Шаг 2. Для найденного минимального значения определяются характерные точки уравнения классической линейной

регрессии  $Y_{НЛР}^{КЛР}$  анализируемой спектральной характеристики:

$$Y_{НЛР}^{КЛР}(\lambda_j) = a_0 + a_1 \lambda_j. \quad (5)$$

Далее определяются характерные точки уравнений верхней  $Y_{НЛР}^{UP}$  и нижней  $Y_{НЛР}^{LOW}$  границ коридора нечёткой линейной регрессии (НЛР):

$$Y_{НЛР}^{UP}(\lambda_j) = a_0 + d_0 + (a_1 + d_1) \lambda_j, \quad (6)$$

$$Y_{НЛР}^{LOW}(\lambda_j) = a_0 - c_0 + (a_1 - c_1) \lambda_j. \quad (7)$$

На рис. 1 представлена спектральная характеристика в коридоре НЛР.

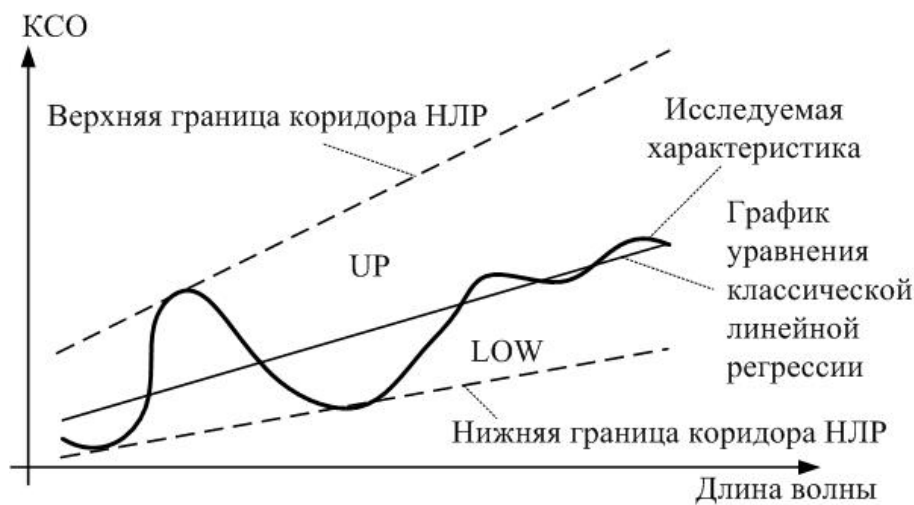


Рис. 1. Представление спектральной характеристики в коридоре НЛР

Точки анализируемой и каждой эталонной характеристик разбиваются на два подмножества, лежащие в верхней  $UP$  и нижней  $LOW$  частях коридора НЛР. После этого для данных точек находятся значения нечётких мер подобия  $F^{UP}$  и  $F^{LOW}$  по одной из двух формул [15]:

$$f_1 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^J |u_A(\lambda_j, g'_j) - u_S(\lambda_j, g''_j)|}{\sum_{j=1}^J [u_A(\lambda_j, g'_j) + u_S(\lambda_j, g''_j)]}, \quad (8)$$

$$f_2 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{\min[u_A(\lambda_j, g'_j), u_S(\lambda_j, g''_j)]}{\max[u_A(\lambda_j, g'_j), u_S(\lambda_j, g''_j)]}, \quad (9)$$

где  $u_A(\lambda_j, g'_j)$  – значение функции принадлежности точек анализируемой спектральной характеристики уравнению НЛР этой характеристики;  $u_S(\lambda_j, g''_j)$  – значение функции принадлежности точек эталонной спектральной характеристики уравнению НЛР этой характеристики.

Значение функции принадлежности некоторой точки  $(\lambda_j, g_j)$  спектральной характеристики к её уравнению НЛР определяется следующим образом:

$$u(\lambda_j, g_j) = \begin{cases} 1 - \frac{a_0 + a_1 \lambda_j - g_j}{c_0 + c_1 \lambda_j}, & \text{если} \\ a_0 + a_1 \lambda_j - c_0 - c_1 \lambda_j \leq g_j \leq a_0 + a_1 \lambda_j; \\ 1 - \frac{g_j - a_0 - a_1 \lambda_j}{d_0 + d_1 \lambda_j}, & \text{если} \\ a_0 + a_1 \lambda_j \leq g_j \leq a_0 + a_1 \lambda_j + d_0 + d_1 \lambda_j; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (10)$$

где  $a_0, c_0, d_0, a_1, c_1, d_1$  – параметры, вычисленные при решении (3).

**Шаг 3.** Для анализируемой и каждой эталонной характеристик вычисляются значения результирующей нечёткой меры подобия:

$$F = \min(F^{UP}, F^{LOW}). \quad (11)$$

В качестве искомой выбирается эталонная характеристика, имеющая максимальное значение (10).

Выполнены экспериментальные исследования на реальных данных гиперспектральной съёмки с космического аппарата «Ресурс-П» в объёме 10 снимков, каждый из которых содержал более 100 различных объектов. Установлено, что применение разработанного алгоритма на основе нечётких мер подобия позволило повысить надёжность идентификационного решения на 9,1 % по сравнению с применением алгоритмов на основе классических мер подобия.

Для повышения надёжности идентификации предложен алгоритм консолидации результатов различных решений по идентификации объектов гиперспектральных изображений. В основу такого решения положена идея применения рейтинговых оценок результатов, полученных алгоритмами, основанными на различных подходах к идентификации.

Главными элементами алгоритма являются два конструктивных решения.

Во-первых, консолидация результатов идентификации, полученных с использованием меры подобия евклидова расстояния  $E$ , угловой меры подобия  $\alpha$ , а также двух нечётких мер подобия  $F_1$  (8) и  $F_2$  (9) посредством применения формулы:

$$\bar{R}^k = \frac{1}{4} (R_E^k + R_\alpha^k + R_{F_1}^k + R_{F_2}^k). \quad (12)$$

Здесь  $R_E^k, R_\alpha^k, R_{F_1}^k$  и  $R_{F_2}^k$  – рейтинговые оценки  $k$ -й эталонной характеристики при использовании алгоритмов идентификации на основе меры подобия евклидова расстояния  $E$ , угловой меры подобия  $\alpha$ , нечётких мер подобия  $F_1$  и  $F_2$  ( $k = \overline{1, K}$ ;  $K$  – количество эталонных характеристик в базе данных).

Во-вторых, упорядочение эталонных спектральных характеристик из базы дан-

ных по возрастанию усреднённых значений рейтинговых оценок  $\bar{R}^k$ .

Составными частями алгоритма консолидации являются алгоритмы идентификации на основе меры подобия евклидова расстояния, угловой меры подобия и нечётких мер подобия.

Выполнены экспериментальные исследования с привлечением натурной информации, описанной выше. Установлено, что надёжность идентификационного решения с помощью алгоритма консолидации повысилась на 6,1 % по сравнению с

одним из исходных алгоритмов, дающим лучшее решение.

Предложенные решения в виде алгоритмов и программного обеспечения внедрены в Научном центре оперативного мониторинга Земли Корпорации «Российские космические системы», определённым Оператором отечественных систем дистанционного зондирования Земли России, и используются для обработки гиперспектральной информации от космических аппаратов серии «Ресурс-П».

### Библиографический список

1. Антонушкина С.В., Еремеев В.В., Макаренков А.А., Москвитин А.Э., Юдаков А.А. Новые возможности анализа объектов земной поверхности на основе гиперспектральной съёмки // Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (Козловские чтения). Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. С. 26-27.
2. Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Юдаков А.А., Везенов В.И., Еремеев В.В. Основные направления исследований по созданию технологий обработки данных гиперспектральной съёмки Земли // Сб. тезисов докладов научно-технической конференции «Гиперспектральные приборы и технологии». Красногорск: ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», 2013. С. 23-24.
3. Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Юдаков А.А., Везенов В.И., Еремеев В.В. Модели формирования и некоторые алгоритмы обработки гиперспектральных изображений // Исследование Земли из космоса. 2014. № 1. С. 17-28.  
DOI: 10.7868/S0205961414010011
4. Юдаков А.А. Новые направления работ по анализу космических гиперспектральных снимков поверхности Земли // Тезисы докладов XVI Всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях». Рязань: РГРТУ, 2011. С. 237-238.
5. Демидова Л.А., Мятлов Г.Н. Методика оценки уникальности фрагментов электронной карты с использованием нечёткой линейной регрессии // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. № 4 (40). С. 14-26.
6. Мятлов Г.Н. Формирование уникальных фрагментов электронной карты с использованием нечёткой линейной регрессии // Межвузовский сб. научных трудов «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем». Рязань: РГРТУ, 2012. С. 169-181.
7. Haekwan L., Tanaka H. Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis // Journal of the Operations Research Society of Japan. 1999. V. 42, Iss. 1. P. 98-112.
8. Haekwan L., Tanaka H. Fuzzy regression analysis by quadratic programming reflecting central tendency // Behaviormetrika. 1998. V. 25, Iss. 1. P. 65-80.  
DOI: 10.2333/bhmk.25.65
9. Sakawa M., Yano H. Multiobjective fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data // Fuzzy Sets and Systems. 1992. V. 47, Iss. 2. P. 173-181.  
DOI: 10.1016/0165-0114(92)90175-4

10. Trukhanov S.V. Using fuzzy linear regression in hyperspectral removal data classification algorithms // Proceeding of the XX-th International Open Science Conference «Modern informatization problems in economics and safety». Yelm, USA: Science Book Publishing House LLC, 2015. P. 56-61.

11. Демидова Л.А., Тишкин Р.В., Труханов С.В. Алгоритмы идентификации гиперспектральных характеристик объектов в задачах дистанционного зондирования Земли // Цифровая обработка сигналов. 2014. № 3. С. 30-37.

12. Демидова Л.А., Тишкин Р.В., Труханов С.В. Решение задачи идентификации гиперспектральных характеристик объектов с использованием системы интеллектуальной обработки данных гиперспектральной съёмки // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 1 (47). С. 10-18.

13. Труханов С.В. Применение нечёткой линейной регрессии при идентификации гиперспектральных характеристик объектов // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». СПб: Военно-космическая академия имени Ф.А. Можайского, 2014. С. 401-406.

14. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

15. Van Der Weken D., Nachtgeael M., Kerre E.E. An overview of similarity measures for images // IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing. 2002. P. 3317-3320. DOI: 10.1109/icassp.2002.1004621

### Информация об авторе

**Труханов Сергей Викторович**, заместитель начальника отдела, филиал акционерного общества «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр», г. Рязань. E-mail: [serge\\_tsv@mail.ru](mailto:serge_tsv@mail.ru). Область научных интересов: исследование вопросов, связанных с идентификацией объектов земной поверхности по гиперспектральным снимкам от космических систем; разработка программного обеспечения тематической обработки гиперспектральной информации.

## ALGORITHMS OF OBJECT IDENTIFICATION ON THE BASIS OF HYPERSPECTRAL EARTH SURVEY DATA USING FUZZY LINEAR REGRESSION

© 2016 S. V. Trukhanov

Branch of the joint stock company Space Rocket Center «Progress» –  
Specialist Design Office «Spectrum», Ryazan, Russian Federation

An approach to solving problems of identifying Earth surface objects on the basis of hyperspectral survey data obtained from space complexes based on the comparison of hyperspectral characteristics of the objects investigated with a set of reference signatures is presented in the paper. Algorithms of object identification with the use of the theory of fuzzy sets are proposed: an identification algorithm based on fuzzy linear regression and an algorithm of consolidation of results of different identification solutions. The fuzzy linear regression algorithm is based on the use of non-symmetrical triangular fuzzy numbers. This approach, used earlier in solving approximation tasks and assessing the unique character of electronic map fragments is now used for the first time

---

*Citation:* Trukhanov S.V. Algorithms of object identification on the basis of hyperspectral Earth survey data using fuzzy linear regression. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2016. V. 15, no. 2. P. 200-207. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-200-207

for the identification of hyperspectral characteristics. The choice is founded on the fact that fuzzy linear regression makes identification possible in ambiguous conditions. The results of experimental studies of the proposed algorithms based on real hyperspectral survey data (from spacecraft «Resurs-P» N1) are presented in the form of 10 images. Identification reliability is shown to increase by 6.1 % as compared with one of the initial algorithms yielding the best solution in the case of consolidating results obtained by using algorithms based on the Euclidean distance similarity measure, the angle similarity measure, as well as fuzzy similarity measures.

*Objects identification, hyperspectral characteristics, hyperspectral survey, fuzzy linear regression, algorithm.*

## References

1. Antonushkina S.V., Ereemeev V.V., Makarenkov A.A., Moskvitin A.E., Yudakov A.A. Novye vozmozhnosti analiza ob"ektov zemnoy poverkhnosti na osnove giperspektral'noy s"emki. *Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy raketno-kosmicheskoy tekhniki» (Kozlovskie chteniya)*. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2011. P. 26-27. (In Russ.)
2. Akhmetov R.N., Stratilatov N.R., Yudakov A.A., Vezenov V.I., Ereemeev V.V. Osnovnye napravleniya issledovaniy po sozdaniyu tekhnologiy obrabotki dannykh giperspektral'noy s"emki Zemli. *Sb. tezisov dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Giperspektral'nye pribory i tekhnologii»*. Krasnogorsk: OAO «Krasnogorskiy zavod im. S.A. Zvereva» Publ., 2013. P. 23-24. (In Russ.)
3. Akhmetov R.N., Stratilatov N.R., Yudakov A.A., Vezenov V.I., Ereemeev V.V. Models of formation and some algorithms of hyperspectral image processing. *Izvestiya – Atmospheric and Ocean Physics*. 2014. V. 50, Iss. 9. P. 867-877. DOI: 10.1134/S0001433814090023
4. Yudakov A.A. Novye napravleniya rabot po analizu kosmicheskikh giperspektral'nykh snimkov poverkhnosti Zemli. *Tezisy dokladov XVI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh»*. Ryazan: RyazanState Radio Engineering University Publ., 2011. P. 237-238. (In Russ.)
5. Demidova L.A., Myatov G.N. Uniqueness estimation technique of the electronic map's fragments based on the fuzzy logic. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2013. No. 4 (40). P. 14-26. (In Russ.)
6. Myatov G.N. Formirovanie unikal'nykh fragmentov elektronnoy karty s ispol'zovaniem nechetkoy lineynoy regressii. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov «Matematicheskoe i programmnoe obespechenie vychislitel'nykh sistem»*. Ryazan: Ryazan State Radio Engineering University Publ., 2012. P. 169-181. (In Russ.)
7. Haekwan L., Tanaka H. Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis. *Journal of the Operations Research Society of Japan*. 1999. V. 42, Iss. 1. P. 98-112.
8. Haekwan L., Tanaka H. Fuzzy regression analysis by quadratic programming reflecting central tendency. *Behaviormetrika*. 1998. V. 25, Iss. 1. P. 65-80. DOI: 10.2333/bhmk.25.65
9. Sakawa M., Yano H. Multiobjective fuzzy linear regression analysis for fuzzy input-output data. *Fuzzy Sets and Systems*. 1992. V. 47, Iss. 2. P. 173-181. DOI: 10.1016/0165-0114(92)90175-4
10. Trukhanov S.V. Using fuzzy linear regression in hyperspectral removal data classification algorithms. *Proceeding of the XX-th International Open Science Conference «Modern informatization problems in economics and safety»*. 2015. P. 56-61.

11. Demidova L.A., Tishkin R.V., Trukhanov S.V. The Objects Hyperspectral Feature Identification Algorithms in the Earth Remote Sensing Tasks. *Digital signal processing*. 2014. No. 3. P. 30-37. (In Russ.)

12. Demidova L.A., Tishkin R.V., Trukhanov S.V. Problem solution of objects hyperspectral feature identification by means of intellectual data processing system of hyperspectral removal. *Vestnik of Ryazan State Radioengineering University*. 2014. No. 1 (47). P. 10-18. (In Russ.)

13. Trukhanov S.V. Primenenie nechetkoy lineynoy regressii pri identifikatsii giperspektral'nykh kharakteristik ob"ektov. *Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Teoreticheskie i prikladnye problemy razvitiya i sovershenstvovaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya voennogo naznacheniya»*. Saint Petersburg: Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhayskogo Publ., 2014. P. 401-406. (In Russ.)

14. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. American Elsevier Publishing Company, 1973. 165 p.

15. Van Der Weken D., Nachtegael M., Kerre E.E. An overview of similarity measures for images. *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing*. 2002. P. 3317-3320. DOI: 10.1109/icassp.2002.1004621

#### **About the author**

**Trukhanov Sergey Viktorovich**, Deputy Head of department, branch of the joint stock company Space Rocket Center «Progress» – Specialist Design Office «Spectrum», Ryazan, Russian Federation. E-mail: [serge\\_tsv@mail.ru](mailto:serge_tsv@mail.ru). Area of Research: object identification by hyperspectral images obtained from space systems; development of software for hyperspectral information thematic processing.