

## Исследование тонкой структуры гиперспектральной космической информации отдельных объектов техносферы и природной среды

А.Г. Цыбанов

*Отделение Физических проблем диагностики и безопасности техносферы РАЕН  
Москва, 123056, Россия  
E-mail: v-p@diatrch.ru*

Проведены исследования спектральных характеристик объектов техносферы и природной среды (резервуары, крыши, лес, почва, дороги и др.) с использованием данных космического гиперспектрометра Nuregion. Целью исследования являлось определение перспективных возможностей космического мониторинга и диагностики состояния указанных объектов. Отмечается, что характерная особенность объектов техносферы состоит в их меньших размерах по сравнению с природными объектами. Это требует применения космических систем высокого и сверхвысокого пространственного разрешения в различных спектральных диапазонах, каковыми являются современные гиперспектрометры авиационного и космического базирования. Для исследования тонкой структуры гиперспектральных изображений были применены методы их сглаживания, а также метод наложения спектральных сигнатур. Применение процедур сглаживания и наложения к гиперспектральным снимкам позволило получить более выраженное различие картин объектов техносферы и объектов природной среды в видимой и прилегающей к ней ближней инфракрасной области спектра. Выявлено, что объекты техносферы имеют гиперспектральные сигнатуры с выраженным максимумом, а объекты природной среды обладают явным минимумом. Отличие между отдельными объектами в пределах группы (природной или техносферной) характеризуется четко различимой разницей абсолютных величин спектральной плотности энергетической яркости. Данное свойство спектров позволяет однозначно различать объекты техносферы и природной среды в видимой области спектра.

**Ключевые слова:** гиперспектрометр, техносфера, природные объекты, космическая диагностика, мониторинг, метод, сглаживание, робастный, экспоненциальный.

Состояние коммерческих космических систем сверхвысокого пространственного разрешения достаточно хорошо известно: в настоящий момент достигнуто разрешение порядка 0,5 м. Рассматривается техническая возможность создания гиперспектральной аппаратуры с разрешением до 0,15-0,2 м. и наличием большого числа спектральных каналов.

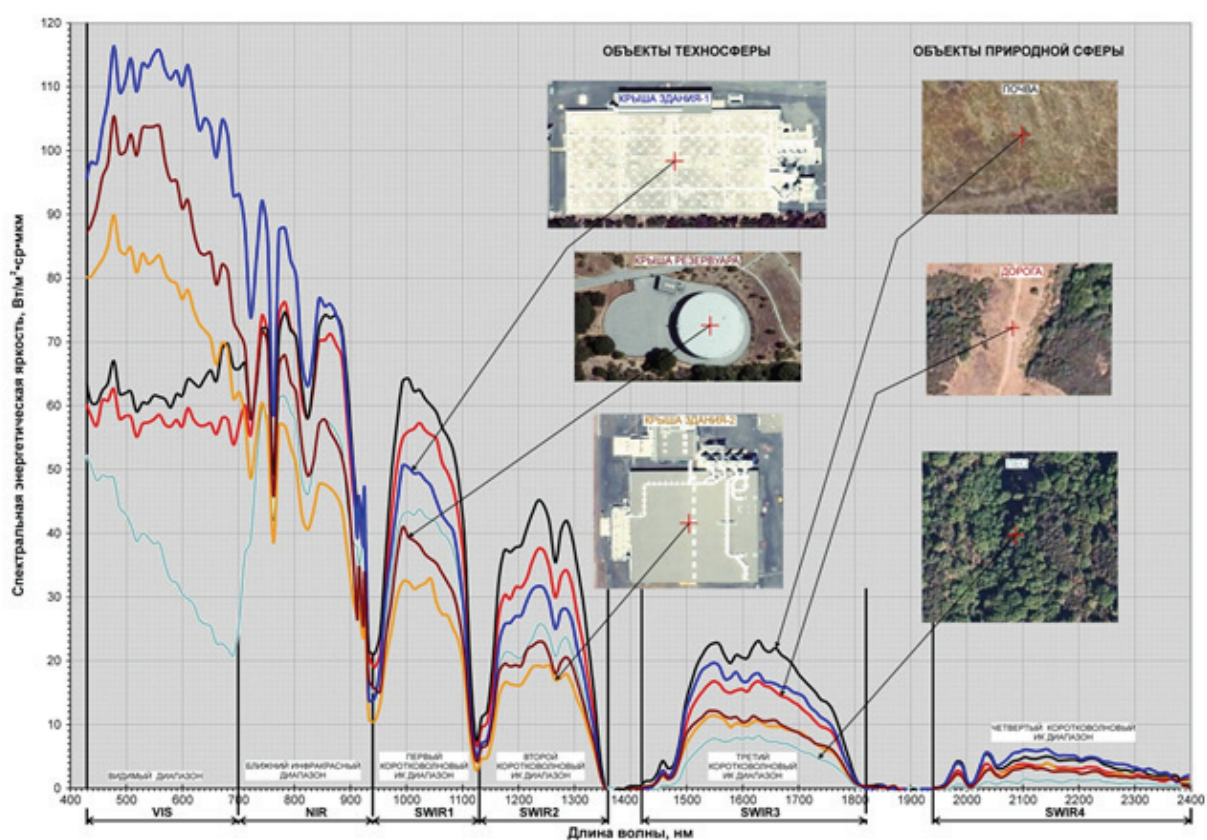
Для того чтобы исследовать процессы, протекающие в малоразмерных объектах техносферы при эксплуатации – а это, как правило, процессы деградации (коррозионные процессы, процессы повреждения, образование дефектов и т.д.), использовать только высокое пространственное разрешение недостаточно для определения реального технического состояния объектов техносферы и их контроля. Для углубленного исследования и качественного анализа спектральных характеристик объектов техносферы необходимо применение гиперспектральных систем высокого разрешения. Наши исследования показывают, что совместное применение многозональных и гиперспектральных снимков дает хорошие результаты и позволяет лучше понять процессы и явления, происходящие в объектах техносферы (Цыбанов, 2004; Шухостанов, Ведешин, Цыбанов, 2005; Шухостанов, Цыбанов, 2007; Шухостанов, Цыбанов, Ленский, 2007; Шухостанов, Ведешин, Цыбанов, 2009; Шухостанов, Ведешин, Цыбанов, 2010).

В настоящей работе использовались данные гиперспектральной системы Nuregion (космическая система EO-1) для исследования, как природных объектов, так и отдельных объектов техносферы. Снимок имеет пространственное разрешение – 30 м, радиометрическое разрешение - 16 бит, спектральное разрешение – 10 нм. Система Nuregion имеет в общей сложности 242 канала со спектральным диапазоном 356 – 2577 нм. В используемой сцене Nuregion калиброваны 196 спектральных каналов в двух спектральных диапазонах: с 8 по 57 (427 – 925 нм, видимый и ближний инфракрасный) и с 77 по 224 (912 – 2396 нм, коротковолновый инфракрасный). Сцена имеет предварительную геометрическую и радиометрическую коррекцию.

Целью работы являлось определение потенциально новых возможностей подобных систем в космической диагностике.

В настоящей работе исследована тонкая структура полученных гиперспектральных изображений отдельных объектов техносферы и окружающих объектов природной среды.

На *рис. 1* показаны гиперспектральные изображения исследованных объектов. Это три объекта техносферы (крыши зданий и крыша резервуара) и три объекта природной сферы (почва, дорога, лес).



*Рис. 1. Гиперспектральные изображения исследованных объектов*

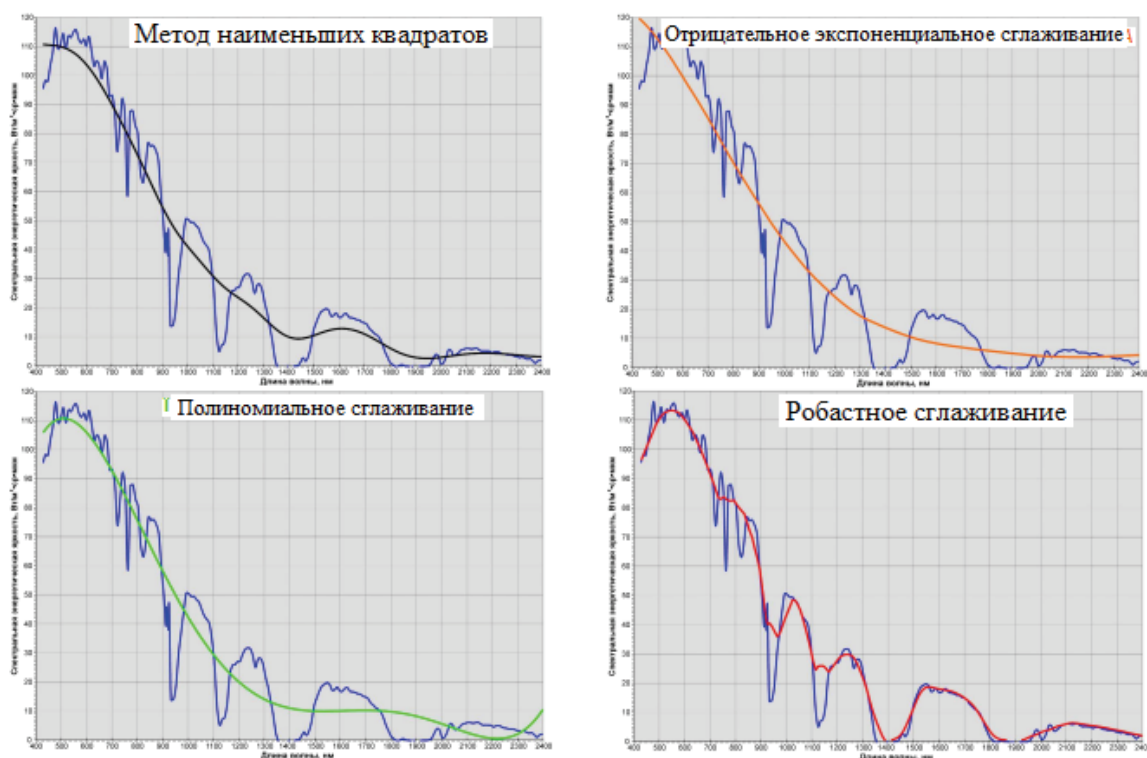
При проведении предварительного анализа снимков наблюдалось два типа гиперспектральных изображений.

Первый тип наблюдался в видимой и прилегающей к ней ближней инфракрасной области примерно до 800 нм, причем сцены различны для объектов техносферы и объектов природной сферы. На этом участке гиперспектральная функция характеризуется падением и возрастанием с минимумом для объектов природной сферы; и возрастанием и падением с максимумом для объектов техносферы.

Второй тип наблюдался в коротковолновых областях, где объекты техносферы и объекты природной среды имеют схожие гиперспектральные кривые с пиковой структурой.

Для исследования тонкой структуры гиперспектральных изображений было применено восемь методов сглаживания (экспоненциальное, линейное, логарифмическое, сплайновое, полиномиальное, наименьшими квадратами, отрицательное экспоненциальное, робастное).

На *рис. 2* показаны результаты, полученные после использования некоторых методов сглаживания. Для дальнейшего исследования выбран метод робастного сглаживания.



*Рис. 2. Некоторые использованные методы сглаживания гиперспектральных изображений*

После обработки гиперспектральных изображений методом робастного сглаживания были получены для дальнейшего анализа гиперспектральные кривые для всех исследованных объектов (рис. 3).

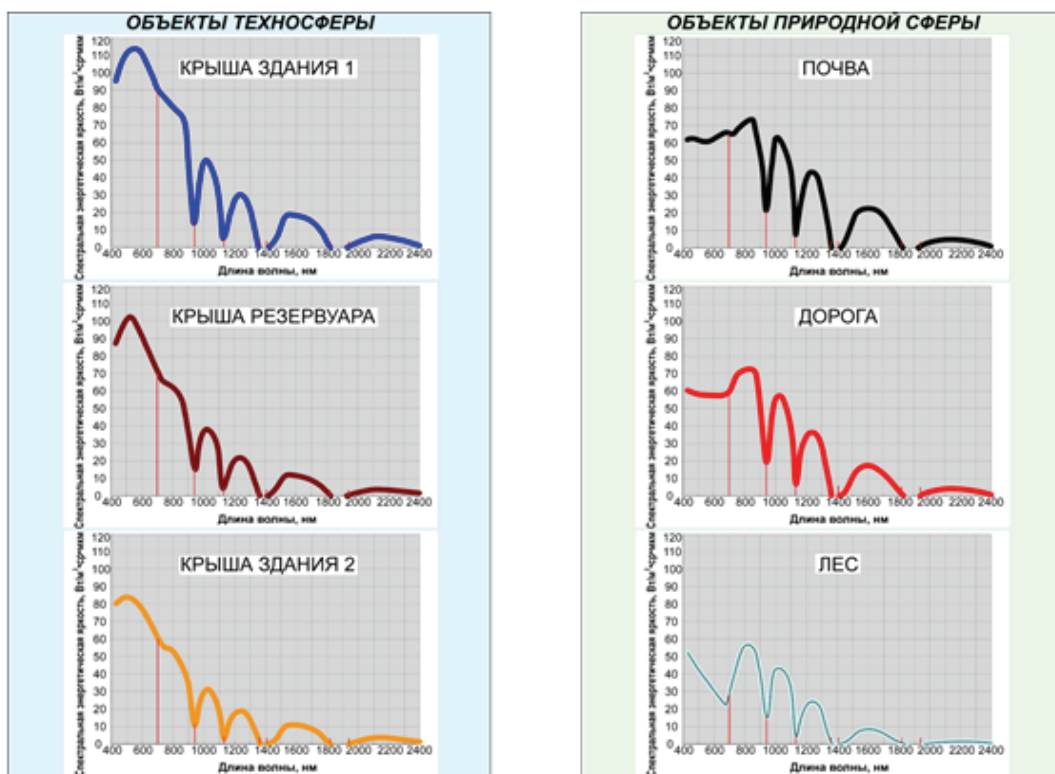


Рис. 3. Результаты обработки гиперспектральных сигнатур для объектов типа: почва, дорога, лес, крыша здания, крыша резервуара

На рис. 4 показано сравнение наложенных гиперспектральных кривых отдельно для объектов техносферы и объектов природной среды.

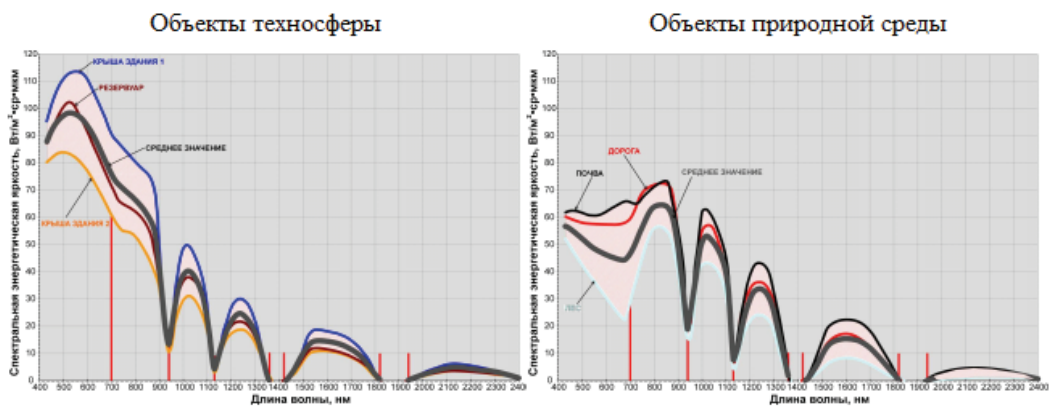
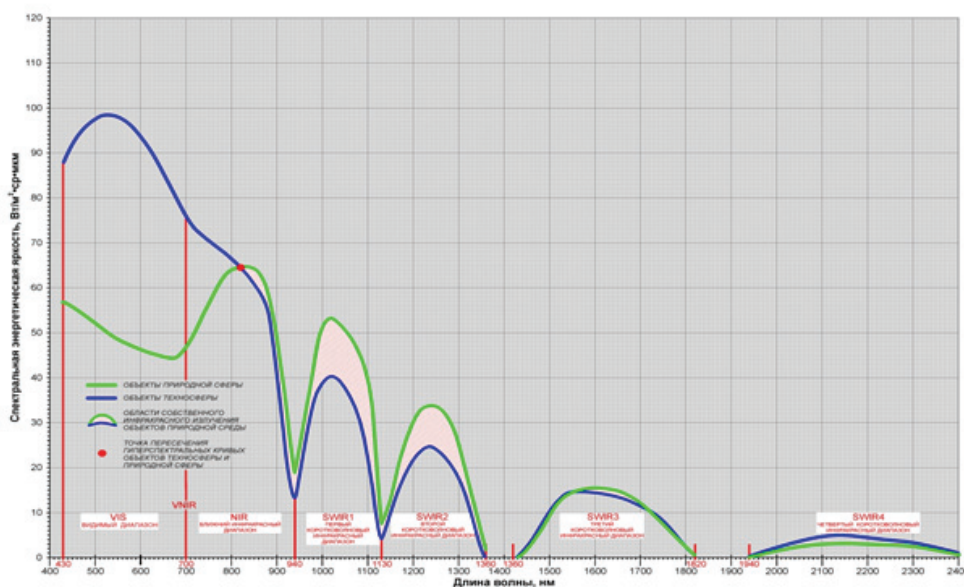


Рис. 4. Сравнение наложенных гиперспектральных сигнатур для объектов, указанных на рис.3

Сглаживание и наложение позволило получить более выраженное различие картин объектов техносферы и объектов природной среды в видимой и прилегающей к ней ближней инфракрасной области спектра. Объекты техносферы имеют гиперспектральные кривые с явно выраженным максимумом, у объектов природной среды гиперспектральная функция с явным минимумом. Отличие между отдельными объектами в пределах группы (природной или техносферной) характеризуется четко различимой разницей абсолютных величин спектральной энергетической яркости. Можно однозначно различать объекты техносферы и объекты природной сферы в этой области спектра по абсолютной величине спектральной яркости.

На *рис. 5* показано усреднение гиперспектральных кривых объектов техносферы и кривых объектов природной среды.



*Рис. 5. Усреднение гиперспектральных сигнатур объектов техносферы и природной среды*

Усредненные гиперспектральные сигнатуры объектов техносферы и объектов природной среды были проанализированы в разных областях спектрального диапазона и выявлены следующие их закономерности и особенности.

1. В видимой области спектра (VIS):

- 1.1. Объекты техносферы имеют отчетливый максимум спектральной яркости в средней части диапазона (500 – 600 нм).
- 1.2. Объекты природной среды имеют постепенно снижающийся (близкий к постоянному) уровень спектральной яркости со слабо выраженным минимумом на границе спектрального диапазона.
- 1.3. Спектральные яркости объектов техносферы примерно в два раза выше спектральной яркости объектов природной среды.



- 1.4. Различные объекты техносферы и природной среды между собой отчетливо различаются по уровню спектральной яркости.
2. *В ближней инфракрасной области спектра (NIR):*
  - 2.1. У объектов техносферы:
    - 2.1.1. Спектральная яркость резко снижается от максимального значения в начале ИК-области до минимального значения у первой полосы поглощения ИК-излучения молекулами воды.
    - 2.1.2. Кривая спектральной яркости имеет точку перегиба примерно в средней части диапазона (820 нм).
  - 2.2. У объектов природной среды кривая спектральной яркости имеет отчетливый максимум в средней части диапазона (820 нм).
  - 2.3. Кривые спектральной яркости объектов техносферы и природной среды имеют точку пересечения в средней части диапазона (820 нм).
  - 2.4. От точки пересечения до границы диапазона кривая спектральной яркости объектов природной среды оказывается выше кривой спектральной яркости объектов техносферы.
3. *В коротковолновой инфракрасной области спектра (SWIR):*
  - 3.1. Кривые спектральной яркости объектов техносферы и природной среды имеют максимум во всех четырех диапазонах SWIR1, SWIR2, SWIR3, SWIR4 примерно в средней части каждого диапазона.
  - 3.2. Кривые спектральной яркости объектов природной среды располагаются выше кривых спектральной яркости объектов техносферы в первых трех диапазонах, а на максимуме выше на 25, 30 и 10 процентов в диапазонах SWIR1, SWIR2 и SWIR3 соответственно.
4. *В смешанной (видимая и ближняя инфракрасная) области спектра (VNIR):*
  - 4.1. В смешанной области спектра (VIS+NIR) гиперспектральные функции объектов техносферы и природной среды изменяются в диаметрально противоположных направлениях, что приводит:
    - 4.1.1. к формированию кривой с максимумом для объектов техносферы и кривой с минимумом для объектов природной среды,
    - 4.1.2. наличию точки пересечения гиперспектральных функций объектов техносферы и природной среды.

Полученные результаты проведенного исследования позволили сделать следующие

**выводы:**

1. Тонкая структура гиперспектральных изображений объектов техносферы и природной среды существенно различается качественно и количественно.
2. Наибольшее различие наблюдается в интервале длин волн 430 – 940 нм, охватывающем видимую и ближнюю инфракрасную области спектра (VNIR).
3. В этой области гиперспектральные функции объектов техносферы и природной среды изменяются в диаметрально противоположных направлениях, что может быть использовано для автоматического, программного распознавания, идентификации, классификации и диагностики объектов техносферы и природной среды, процессов, происходящих в них и взаимного влияния и воздействия двух типов объектов друг на друга.
4. Создание на базе гиперспектральных функций программ гиперспектральной космической диагностики и банков гиперспектральных данных техносферы и её природного окружения может обеспечить прорыв в диагностике и мониторинге современной техносферы и природной среды.
5. Тонкая структура гиперспектральных изображений в коротковолновой инфракрасной области (SWIR) объектов техносферы и природной среды качественно идентична, но количественно уровень спектральной яркости объектов природной среды заметно выше, что связано с собственным инфракрасным излучением объектов природной среды в коротковолновой инфракрасной области.
6. Наличие в объектах природной среды собственного инфракрасного излучения в коротковолновой инфракрасной области может быть использовано дополнительно для программной идентификации и диагностики объектов и процессов в ближайшем природном окружении объектов техносферы.

## Литература

1. Родионов И.Д., Родионов А.И., Ведешин Л.А., Виноградов А.Н., Егоров В.В., Калинин А.П. Авиационные гиперспектральные комплексы для решения задач дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2013. № 6. С. 81-93.
2. Шухостанов В.К., Ведешин Л.А., Цыбанов А.Г. Состояние и перспективы использования данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого пространственного разрешения в космической диагностике техносферы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Вып. 2. Том 1. С. 102-116.
3. Шухостанов В.К., Ведешин Л.А., Цыбанов А.Г. Гиперспектральная диагностика современной техносферы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6. Том 1. С. 243-248.
4. Шухостанов В.К., Цыбанов А.Г., Ленский К.Ю. Комплексная космическая и наземная диагностика участка нефтепровода «Монги-Погиби» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Вып. 4. Том 1. С. 93-99.

# Research of fine structure of hyperspectral space information on technosphere objects and natural environment

A.G. Tsybanov

*Physical Problems in Diagnostics and Safety of Technospere, Russian Academy of Natural Sciences*

*Moscow 123056, Russia*

*E-mail: v-p@diatech.ru*

The research of hyperspectral characteristics of technosphere and natural environment objects (reservoirs, roofs, forest, soil, roads and other) is carried out. Data of Hyperion space hyperspectrometer were used. The purpose of research was to determine the possibilities of space monitoring and diagnostics of such objects. It is noticed that the characteristic peculiarity of technospere objects is their smaller sizes as compared to natural objects. The use of high and ultrahigh spatial and spectral resolution space systems is required for the observation. Such sensors are the modern hyperspectrometers of aviation and space deployment. For the research of fine hyperspectral image structures, the techniques of smoothing and spectral signature superposition were used. The application of the smoothing and superposition procedures to the hyperspectral images allowed to obtain an expressed pattern distinction between technosphere and natural objects in visual and near infrared spectral bands. It was discovered that the technosphere objects had hyperspectral signatures with evident maximums in contrast to those of natural objects with minimums. The distinction between objects within a group (natural or technosphere) is characterized by a clear difference in absolute values of spectral brightness. This property of the spectra enables to unambiguously distinguish the technosphere and natural objects in visual and near infrared bands.

**Keywords:** hyperspectrometer, technospere, natural objects, space diagnostics, monitoring, method, smothing, robust, exponential.

## References

1. Rodionov I.D., Rodionov A.I., Vedeshin L.A., Vinogradov A.N., Egorov V.V., Kalinin A.P., Aviatsionnye giperspektralnye komplekxy dlya resheniya zadach distantsionnogo zondirovaniya (Aviation hyperspectral complexes for remote sensing problems), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 6, pp. 81-93.
2. Shukhostanov V.K., Vedeshin L.A., Tsybanov A.G. Sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya vysokogo i sverkhvysokogo prostranstvennogo razresheniya v kosmicheskoy diagnostike tekhnosfery (State and perspectives for the use of high and superhigh resolution remote sensing data in space technosphere diagnostics), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 1, pp. 102–116.
3. Shukhostanov V.K., Vedeshin L.A., Tsybanov A.G. Giperspektralnaya diagnostika sovremennoy tekhnosfery (Hyperspectral diagnostics of modern technosphere), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 1, pp. 243-248.
4. Shukhostanov V.K., Tsybanov A.G., Lensky K.Yu. Kompleksnaya kosmicheskaya i nazemnaya diagnostika uchastka nefteprovoda «Mongi-Pogibi» na o. Sakhalin (Complex space and terrestrial diagnostics of the “Mongi-Pogibi” oil pipeline) *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Issue 4, Vol. 1, pp. 93-99.