

Ровшан Гасан Рамазанов

канд. техн. наук, зам. директора по науке

Национального аэрокосмического агентства Азербайджана

Rovshan Hasan Ramazanov

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science

of the National Aerospace Agency of Azerbaijan

e-mail: r.r_90@mail.ru

МЕТОД СОВМЕСТНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ДЗ

Анализируется один из подходов к обработке геоинформационных данных, полученных из различных источников информации. Применение методологии MSPA для решения конкретной задачи ДЗ охватывает все аспекты, связанные с совместным пространственным анализом данных ДЗ, полученных из разных источников информации. Приведенные ниже основные аспекты предлагаемой методики объединены в несколько блоков, отличающихся разными подходами к их систематизации.

Ключевые слова: геоинформационные данные, дистанционное зондирование, применение.

Method of Joint Spatial Analysis of Geoinformation Data in Applied Remote Sensing Problems

The article analyzes one of the approaches to processing geoinformation data obtained from various information sources. The application of the MSPA methodology to solve a specific remote sensing problem covers all aspects related to the joint spatial analysis of remote sensing data obtained from different sources of information. The main aspects of the proposed methodology given below are combined into several blocks, distinguished by different approaches to their systematization.

Key words: geoinformation data, remote sensing, application.

Введение

В статье анализируется один из подходов обработки геоинформационных данных, полученных из разных информационных источников. Применение методики МСПА для решения конкретной задачи ДЗ охватывает все аспекты, связанные с совместным пространственным анализом данных ДЗ, полученных из разных источников информации. Основные аспекты предлагаемой методики приведенные ниже, объединены в несколько блоков, отличающихся различными подходами при их систематизации. В этих блоках сгруппированы описания действий и последовательность их выполнения, состав базового математического аппарата и принципы конфигурирования архитектуры информационной системы [1; 2].

Основные этапы проведения исследований по методике МСПА в порядке их выполнения:

- 1) определение классификационной схемы;
- 2) выбор типов классификаторов;
- 3) сбор и составление наборов данных для обучения, оценка годности данных (репрезентативность, разделяемость, достоверность);
- 4) тестирование классификаторов, уточнение или модификация классификационной схемы;
- 5) использование таблиц неточностей и параметров качества обучения для сравнительного анализа результатов обучения классификаторов;
- 6) применение различных типов классификаторов для конкретной задачи и проведение сравнительного анализа полученных результатов.

Математическое обеспечение:

- 1) теоретические основы распознавания образов для классификации объектов на сцене, описываемой многоспектральными космическими данными;
- 2) параметрические или статистические методы определения признаков и образцов для обучения классификаторов для принятия решений;
- 3) искусственные нейронные сети различной топологии;
- 4) математическое моделирование местности на основе топографических данных.

Информационное обеспечение:

- 1) цифровое ортофото местности, полученное после проведения ортотрансформирования над данным космоснимком;
- 2) цифровые модели местности, полученные из данных космических снимков (стереопары космоснимков);
- 3) цифровые вегетационные и иные спектральные индексы, полученные из многоспектральных космических данных;
- 4) цифровые векторные данные о землепользовании, созданные по существующим картам, картосхемам и планам местности из существующих бумажных карт;
- 5) цифровые векторные данные по топографии местности, полученные из топографических планшетов, масштаба 1 : 10 000.

Компьютерные технологии анализа и управления пространственными данными:

- 1) геоинформационные технологии и полнофункциональные ГИС;
- 2) геоинформационные базы данных и данные, полученные методами дистанционного зондирования, для их включения и обновления в базах данных;
- 3) ГИС и совместный анализ пространственных данных;
- 4) геообработка и варьирование пространственных данных для составления новых наборов;
- 5) ГИС как базовая платформа для прикладных задач в области управления пространственно распределенными объектами и ресурсами.

Методы исследования

Рассмотрена прикладная задача по исследованию тестовой территории, на которой присутствуют различные виды природной растительности. Именно наличие этой кормовой растительности позволяет местному населению заниматься животноводством на исследуемой территории. Ряд факторов, инициированных антропогенным воздействием на исследуемую территорию, делает важным осуществление аэрокосмического контроля над экологической ситуацией в регионе [3].

Исследование и сбор данных, необходимых для проведения сформулированной задачи. В области проведения исследований (внутри круга с радиусом 2,8, 3,7 и 5,0 км) были выбраны 9 основных и 2 дополнительных типа несезонной растительности. В течение года были проведены GPS-измерения на местах обнаружения растительности этих типов. При измерениях также проводилось распознавание типов почвы, которые вместе с исследуемыми видами растительности могут дать от 16 до 27 (в первом цикле измерений) классов распознавания.

Были сделаны космические стереоснимки со спутника IKONOS площадью приблизительно в 100 км². Была осуществлена автоматизированная параметрическая классификация с обучением. При обучении использовались тренинговые участки, построенные на основе координат местонахождения исследуемой растительности, полученных по результатам GPS-измерений. В конечном итоге, комбинируя результаты автоматизированной классификации и полевых экспедиций, были оконтурены ареалы рас-

пространения данных типов растительности. Были также составлены электронные карты почв и ареалы их эродированности.

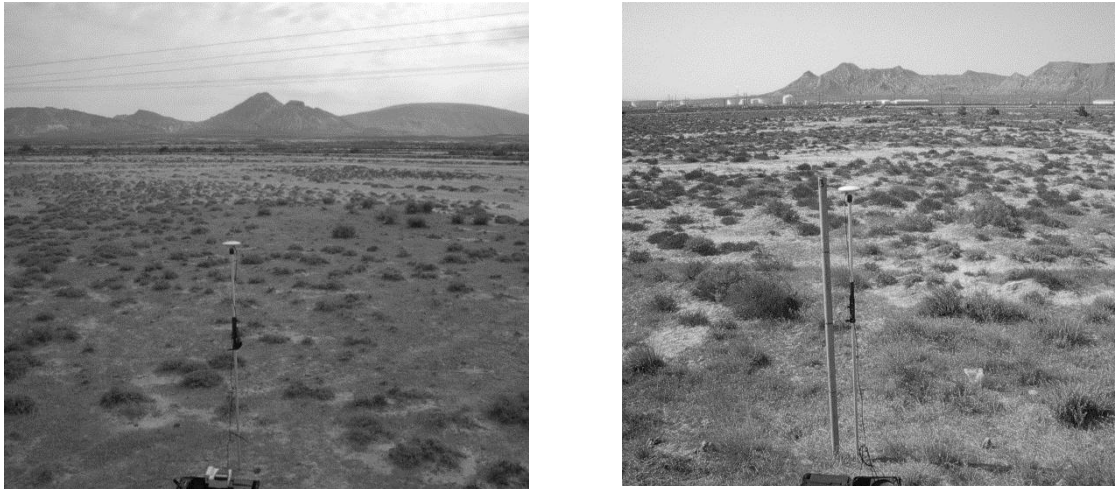


Рисунок 1 – Фотоизображения исследуемых типов растительности и почв

Для решения поставленной задачи применялись геоинформационные технологии, которые в основном базируются на точной привязке различных пространственных данных, их наложении, совместном анализе; они активно используют интерполяционные модели различных геофизических полей, например:

- 1) цифровые модели местности и их производные;
- 2) плотность распределения полей физического происхождения или химических веществ;
- 3) чисто географические характеристики, построенные на пространственных взаимоотношениях типа близости, удаленности или перекрываемости.

Ниже приведен исходный ортотрансформированный снимок исследуемого региона со спутника IKONOS (рисунок 2).

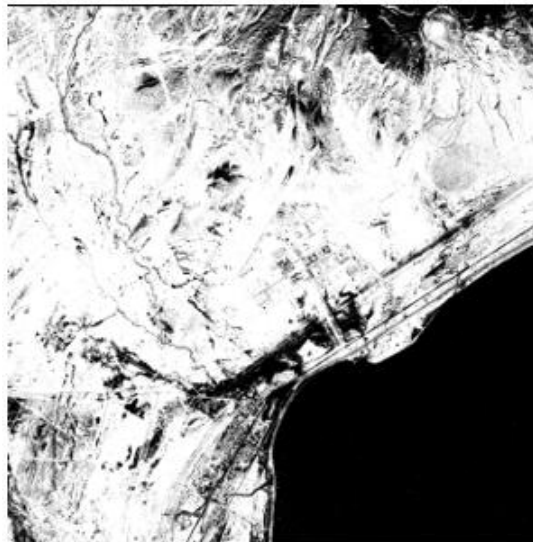


Рисунок 2 – Ортотрансформированный космический снимок со спутника IKONOS

Создание дополнительных данных. Для решения задач по анализу и классификации данных ДЗ геоинформационный подход обладает явными преимуществами

относительно традиционного подхода. При традиционном подходе априори сформирована определенная структура исходных классов для распознавания. При применении геоинформационного подхода жесткая структура исходных классов для распознавания заменяется на гибкую, адаптивно-изменяемую в процесс работы схему, которая в итоге позволяет точнее проводить ситуационный анализ более корректным способом.

Это происходит в силу двух основных причин: первая связана с применяемым нами *задачеориентированным* подходом, где в отличие от абстрактной постановки задачи классификации или выделения объектов произвольной природы мы исходим из реальной задачи исследования геораспределенных ресурсов, при которой подбираются *распознаваемые* объекты-индикаторы, характеризующие состояние и особенности распространения объектов и при этом адекватно отображающие реальную ситуацию [4; 5].

Вторая причина связана с привлечением в классификационный процесс дополнительных цифровых данных, которые пространственно совмещены с точно позиционированными в географическом пространстве данными ДЗ. Использование этих дополнительных данных изменяет традиционные процедуры распознавания объектов на всех этапах классификационных работ, к которым в первую очередь относятся:

- 1) поиск, определение и формирование тренинговых и тестовых участков;
- 2) выбор и отбраковка неинформативных примеров из этих участков при составлении тренинговых и тестовых образцов;
- 3) активное обучение классификаторов, при котором происходит количественное и качественное изменение тренинговых образцов;
- 4) оценка достоверности результатов работы обученных классификаторов.

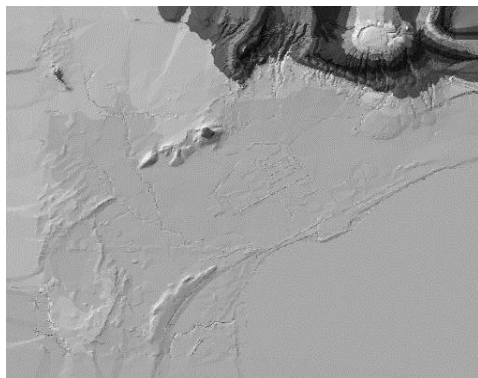
При этом возможно возникновение ситуаций, когда:

- 1) в классификационную схему вводятся новые классы, примерами для обучения которых являются не прямые данные ДЗ;
- 2) результаты работы обученных классификаторов подвергаются последующей переклассификации, проводимой геоинформационными способами.

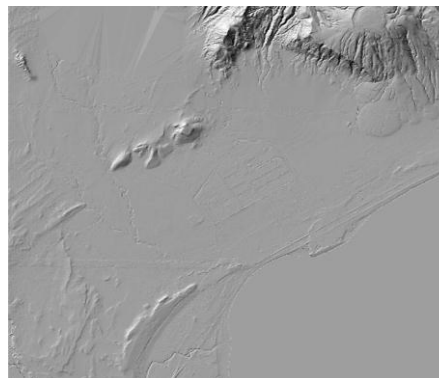
Рассмотрим дополнительные данные, которые необходимо включить в классификационные процедуры. Мы объединили эти данные в пять групп:

- 1) цифровая модель данных и ее производные;
- 2) различные спектральные индексы;
- 3) классы землепользования и типы покрытия земель;
- 4) топографические данные;
- 5) тематические данные (результаты полевых исследований).

Цифровая модель данных и ее производные представлены на рисунке 3.



а) цифровая модель местности
в регулярной сетке (параметры)



б) цифровая модель местности
в нерегулярной триангуляционной сетке
(параметры)

Рисунок 3 – Цифровая модель исследуемой местности и ее производные

Цифровая модель местности в нерегулярной сетке (ЦМРНС). Эта модель использовалась в двух целях: как промежуточный этап для построения других цифровых моделей и как средство визуализации особенностей рельефа.

ЦМРНС как промежуточный этап для построения других цифровых моделей. Как известно, главным преимуществом этих моделей является возможность использования средств ГИС и осуществления пошагового итерационного способа их построения.

ЦМРНС как средство визуализации особенностей рельефа. Данная модель используется для оценки количественной информации об уровне рельефа и ее применения в качестве дополнительных признаков классификации. Она позволяет оценить все особенности рельефа для планирования полевых работ по выбору тренинговых и тестовых участков, определения оптимальных маршрутов подъезда к этим участкам, а также для проведения экспертных оценок в составлении предварительной карты землепользования.

Различные спектральные индексы. Вегетационный индекс использовался в стадии определения, уточнения и модификации исходных тренинговых образцов и не применялся для обучения классификаторов [6; 7].

С другой стороны, вегетационный индекс, вычисленный по формуле $\ln r - \ln g / \ln r + \ln g$, является хорошим индикатором для оценки наличия или отсутствия вегетации. Следовательно, возможно использование нормализованного варианта этого индекса в качестве составления примеров для обучения классификатора, извлекаемых из различных тренинговых участков. Выбор тренинговых участков определялся на основе экспертной оценки наличия на тренинговом участке исследуемой растительности (рисунок 4).



а) нормализованный вегетационный индекс



б) бинарное представление вегетационного индекса по установленному порогу (значение – 123); значение выше порога характеризует наличие вегетации, ниже – ее отсутствие

Рисунок 4 – Вегетационные индексы

Результаты исследования

Тематические данные: результаты полевых исследований, определение классов землепользования и составление электронной карты.

При составлении карты землепользования необходимо прежде всего определить участки территории, которые должны быть исключены из зоны исследований. При наличии такой карты в цифровом векторном виде мы могли бы определить формат представления тематических данных, характеристики их пространственной привязки и конвертировать эти данные в проектируемую модельную ГИС [8; 9].

Для создания электронной карты землепользования мы использовали космические снимки высокого разрешения исследуемой местности со спутника IKONOS (2014 и 2015 гг.) и архивные топографические картосхемы. Для более точного пространственного совмещения данных цифровые образы планов и картосхем были подвергнуты предварительной обработке. В результате была определена структура карты землепользования, состоящая из следующих классов:

- 1) населенные пункты;
- 2) промышленные объекты;
- 3) транспортная инфраструктура;
- 4) искусственная растительность и обрабатываемые земли;
- 5) территории специального назначения;
- 6) открытая площадь без растительности и строений.



Рисунок 5 – Карта землепользования

Заключение

1. Исследована возможность проектирования модельной ГИС для управления процессами распознавания и картирования объектов на космических многозональных снимках высокого разрешения с последующим вводом полученной информации в Геоинформационные базы данных, включая определение процедуры *совместного пространственного анализа данных для выработки дополнительных признаков распознавания*.

2. Исследована и разработана методологическая основа применения *задачеориентированного* подхода в распознавании объектов на космических многозональных

снимках в зависимости от постановки реальной задачи исследования *геораспределенных ресурсов* и аналитического подбора распознаваемых *объектов-индикаторов*, которые, характеризуя состояние и особенности распространения объектов, могут адекватно отображать ситуацию о природных процессах в экосистемах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Картография с основами топографии : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по специальности «География» / Г. Ю. Грюнберг, Н. А. Лапкина, Н. В. Малахов, Е. С. Фельдман. – М. : Просвещение, 1991. – 368 с.
2. Методы теоретико-числовых преобразований в задачах цифровой обработки сигналов / Р. Г. Фараджев, Р. М. Рагимов, С. Н. Сергеев [и др.]. – Баку : Элм, 1994. – 93 с.
3. Remote Sensing for Tropical Ecosystem Management // Proceedings of the Regional Remote Sensing Seminar on Tropical Ecosystem Management Subic, Philippines, 4–9 September 1995. – New York : UNITED NATIONS, 1995. – P. 232.
4. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / В. В. Груздов, Ю. В. Колковский, А. В. Криштопов, А. И. Кудря. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 482 с.
5. Пузаченко, М. Ю. Совместный анализ наземных и дистанционных данных при оценке структуры и состава лесов на примере западной части Подмосковья / М. Ю. Пузаченко, Т. В. Черненкова, Н. Г. Беляева // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2020. – Т. 65, вып. 2. – С. 303–313.
6. Грекусис, Дж. Методы и практика пространственного анализа. Описание, исследование и объяснение с использованием ГИС / Дж. Грекусис ; пер. с англ. А. Н. Киселева. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 500 с.
7. Якушев, В. П. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве / В. П. Якушев, Ю. Г. Захарян, С. Ю. Блохина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 287–294.
8. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20, № 3. – 339 с.
9. An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) / Rauf Ragimov, Elchin Isgenderzade, Rovshan Ramazanov [et al.] // Azerbaijan National Aerospace Agency 74th International Astronautical Congress, Baku, 2–6 October 2023.

REFERENCES

1. Kartohrafija s osnovami topohrafii : ucieb. posobije dlia studentov pied. in-tov po spicialnosti «Hieohrafija» / H. Ju. Hriunbierh, N. A. Lapkina, N. V. Malachov, Je. S. Fieldman. – M. : Prosvieschjenije, 1991. – 368 s.
2. Mietody tieorietiko-cislovych prieobrazovanij v zadacach cifrovoj obrabotki sihnalov / R. H. Faradziev, R. M. Rahimov, S. N. Sierhiejev [i dr.]. – Baku :Elm, 1994. – 93 s.
3. Remote Sensing for Tropical Ecosystem Management // Proceodings of the Regional Remote Sensing Seminar on Tropical Ecosystem Management Subic, Philippines, 4–9 September 1995. – New York : UNITED NATIONS, 1995. – R. 232.
4. Novyje tiechnolohii distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa / V. V. Hruz-dov, Ju. V. Kolkovskij, A. V. Kristopov, A. I. Kudria. – M. : TIECHNOSFIERA, 2018. – 482 s.
5. Puzacienko, M. Ju. Sovmiestnyj analiz naziemnyh i distancionnyh dannyh pri ocienkie struktury i sostava liesov na primierie zapadnoj casti Podmoskovja / M. Ju. Puzacienko,

T. V. Ciernienkova, N. H. Bieliajeva // Viestnik SPbHU. Nauki o Ziemle. – 2020. – T. 65, vyp. 2. – S. 303–313.

6. Hriekusis, Dz. Metody i praktika prostranstvennoho analiza. Opisanije, is-sliedovanie i ob'jasnienije s ispolzovanijem HIS / Dz. Hriekusis; pier. s anhl. A. N. Kisielieva. – M. : DMK Priess, 2021. – 500 s.

7. Jakusiev, V. P. Sostojanije i pierspektivy ispolzovanija distancionnoho zondirovanija Ziemli v sielskom chozajstvie / V. P. Jakusiev, Ju. H. Zacharian, S. Ju. Blochina // Sovremennye problemy distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa. – 2022. – T. 19, № 1. – S. 287–294.

8. Sovremennye problemy distancionnoho zondirovanija Ziemli iz kosmosa. – 2023. – T. 20, № 3. – 339 s.

9. An innovative technology for aerospace monitoring of geotechnical systems based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) / Rauf Ragimov, Elchin Isgenderzade, Rovshan Ramazanov [et al.] // Azerbaijan National Aerospace Agency 74th International Astronautical Congress, Baku, 2–6 October 2023.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 19.03.2025