

УДК 523.43

## Экспертная система сбора и экспресс-анализа наземных наблюдений «Марс-96»

В. Г. Парусимов<sup>1</sup>, Д. Е. Островский<sup>1</sup>, Т. Б. Дудник<sup>1</sup>, Д. Г. Станкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

<sup>2</sup> Астрономічна обсерваторія ХГУ, Харків

Надійшла до редакції 28.08.96

Подается описание разобранной экспертной системы для сбора та экспрес-анализу наземных спостережень Марса. За допомогою фотоелектричних, поляриметричних даних, а також зображень планети в системі визначається наявність пилу в його атмосфері, місцезнаходження та протяжність пилових хмар, прогнозується їх еволюція. Експертна система призначена для наземного супроводу космічного проекту «Марс-96» та створення банку даних про планету Марс.

### ВВЕДЕНИЕ

Экспертная система сбора и экспресс-анализа наблюдательных данных «Марс-96» (ЭС) предназначена для наземного сопровождения космического проекта «Марс-96» и создания *банка данных* о планете Марс.

Основные функции ЭС:

- сбор, сортировка и хранение наблюдательной информации о Марсе;
- оперативная обработка входных данных для определения оптических характеристик Марса;
- составление отчета (ситуационного плана) о текущем (и прогнозируемом) состоянии его атмосферы.

Выходные данные системы — ситуационные планы — несут в себе информацию о наличии пыли в атмосфере Марса, степени запыленности и динамике развития глобальных пылевых бурь. Эти данные предназначены для непосредственного использования станциями космического слежения при осуществлении научной программы проекта «Марс-96» и будут способствовать оптимальному использованию энергетических и других ресурсов космического аппарата во время его активного существования на рабочей орбите.

Накапливаемые системой входные данные наземных наблюдений будут использоваться для комплексной обработки всей научной информации о Марсе, полученной в результате осуществления этого проекта.

### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Структура разработанной экспертной системы изображена на рис. 1. В соответствии с принятой для экспертных систем терминологией она включает в себя: *базу знаний; базу фактов; арифметико-логический анализатор; архив; интерфейс ввода-вывода; словарь терминов и выражений; управление системой.*

*База знаний* содержит уже известные оптические характеристики Марса как при спокойной атмосфере, так и в периоды глобальных пылевых бурь. Здесь же хранятся крупномасштабные карты поверхности и отражательной способности (альbedo) в различных проекциях, которые нужны для локализации и изучения динамики развития пылевых облаков по наземным снимкам планеты. База знаний является открытой и может в дальнейшем уточняться и по необходимости обновляться по

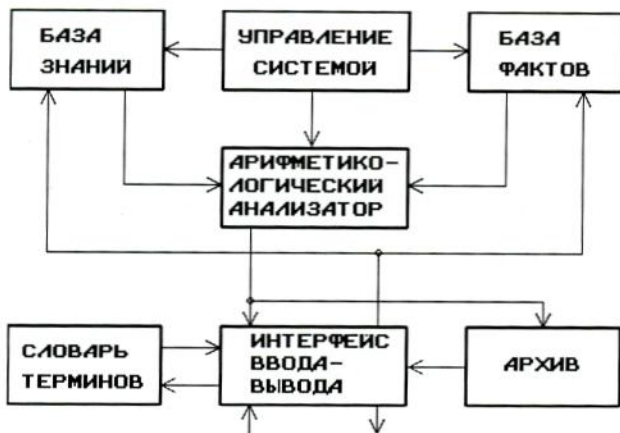


Рис. 1. Структура экспертной системы «Марс-96»

данным наземных наблюдений в 1996—1998 гг.

Поступающая в экспертную систему наблюдательная информация заносится и накапливается в *базе фактов*, являющейся *банком данных* наблюдений Марса и служащей как для экспресс-анализа текущего состояния атмосферы планеты, так и для выполнения других научных исследований.

Непосредственную обработку наблюдаемых данных и сравнение результатов с известными научными знаниями о Марсе для выработки заключения «пылевого» экспресс-анализа производит *арифметико-логический анализатор*.

Выбор необходимых для анализа данных из базы фактов и соответствующей им информации из базы знаний выполняет блок *управления системой*.

Результат экспресс-анализа заносится в *архив* и через *интерфейс ввода-вывода* выдается пользователю в виде экранного отображения, распечатки на принтере, или записывается на промежуточный магнитный носитель для последующей передачи по электронной почте на станцию космического слежения.

Интерфейс ввода-вывода также обеспечивает пользователю работу с экспертной системой в терминах и выражениях данной научной области. Для этого в систему включен *словарь терминов и выражений*, который осуществляет перевод соответствующих терминов и выражений пользователя во внутренние коды системы и наоборот. Словарь является открытым для пользователя и так же, как база знаний, может уточняться и дополняться.

Основные функции экспертной системы предоставляются пользователю в виде головного меню и обеспечивают ведение базы фактов, базы знаний, словаря терминов и архива, а также не-

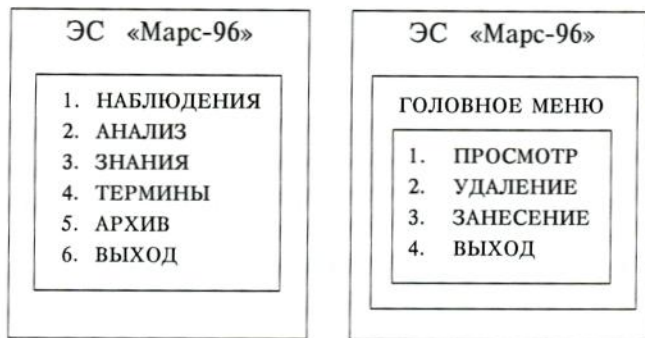


Рис. 2. Головное меню ЭС «Марс-96». Основные функции системы

Рис. 3. Подменю ЭС «Марс-96». Подфункции системы

посредственный анализ наблюдательной информации (рис. 2).

Подфункции основных функций системы 1, 3, 4, 5 отображены на рис. 3.

Функция экспертной системы «2. Анализ» имеет в настоящее время только подфункцию «1. Пыль». В дальнейшем по желанию пользователя и по мере накопления наблюдательных фактов ЭС может дополняться подфункциями выполнения других научных задач.

#### ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ СИСТЕМЫ

По тематической нагрузке экспертная система «Марс-96» имеет три раздела:

- фотоэлектрические наблюдения;
- спектрополяриметрия;
- ПЗС, телевизионные, или фотографические снимки Марса.

Тематика системы была определена из существующих в настоящее время возможностей астрономических наблюдательных пунктов Украины и стран СНГ, но может дополняться и другими наблюдениями, в которых появится необходимость и которые могут быть обеспечены в период выполнения проекта «Марс-96».

**Фотоэлектрические наблюдения.** Исследования фотометрических свойств Марса в периоды пылевых бурь (Александров и др., 1977; Caldwell, 1973, 1977; Thorpe, 1973; Wallace et al., 1972) показали следующее:

- отражательная способность пылевых облаков и марсианских материков приблизительно одинакова;
- альbedo диска Марса возрастает для длин волн больше 0.4 мкм и уменьшается для длин волн

меньше 0.4 мкм;

- фазовая функция блеска Марса становится более полой.

Эти особенности и положены в основу экспресс-анализа.

Входными данными системы по этому разделу являются либо значения интегрального альbedo Марса, измеренные в разных длинах волн ( $\lambda$  0.3—1.0 мкм), либо значения его фазовой функции в этом же диапазоне. При анализе на наличие пыли в марсианской атмосфере система выполняет сравнение входных данных (предварительно занесенных в базу фактов системы) с соответствующими им уже изученными характеристиками чистой и максимально запыленной атмосферы, хранящимися в базе знаний. Результат анализа представлен на рис. 4. На графике изображены кривые фазовой функции для чистой атмосферы (NO DUST), для максимально запыленной (DUST) и наблюдаемая кривая (DATA). Диаграмма в нижней части рисунка отображает степень запыленности атмосферы, выраженную в процентах (от 0 до 100 %) в наблюдаемых длинах волн.

**Спектрополяриметрия.** По литературным данным (Мороженко, 1966, 1973, 1975; Dollfus et al., 1973) поляризационные свойства атмосферы и поверхности Марса во время пылевых бурь таковы:

- во всем изученном диапазоне длин волн степень положительной поляризации сильно уменьшается;
- в зависимости от мощности бурь наблюдается разное уменьшение степени поляризации и

разная зависимость этого уменьшения от длины волны;

- при глобальных пылевых бурях исчезает зависимость степени поляризации от долготы центрального меридиана.

Входные данные системы для спектрополяриметрии — значения степени поляризации, измеренные для всего диска Марса в диапазоне длин волн  $\lambda$  0.3—1.0 мкм. Результат экспресс-анализа аналогичен предыдущему (см. рис. 5).

**ПЗС, телевизионные или фотографические снимки Марса.** Этот метод позволяет не только определить наличие (или отсутствие) пыли в марсианской атмосфере, но и локализовать пылевые облака, исследовать динамику развития пылевых бурь и прогнозировать состояние атмосферы планеты, что как раз и важно для осуществления научной программы проекта «Марс-96».

Наличие пыли в атмосфере Марса приводит к снижению контрастности изображения деталей его поверхности на снимках вплоть до полного их исчезновения при сильных пылевых бурях. Поэтому анализ снимков на предмет обнаружения пылевых атмосферных проявлений заключается в выявлении участков поверхности с пониженной контрастностью.

Для иллюстрации работы системы взят фотоснимок Марса, полученный сотрудником Харьковской астрономической обсерватории В. Н. Дудиновым в 1992 г. на 1.5-м телескопе на г. Майданак (см. рис. 6). Здесь он используется в качестве снимка, соответствующего чистой атмосфере Марса. На

DAY	:	15	Enter date:	
MONTH	:	12		
YEAR	:	95		
ELECTROPHOTOMETRY OBSERVATIONS				

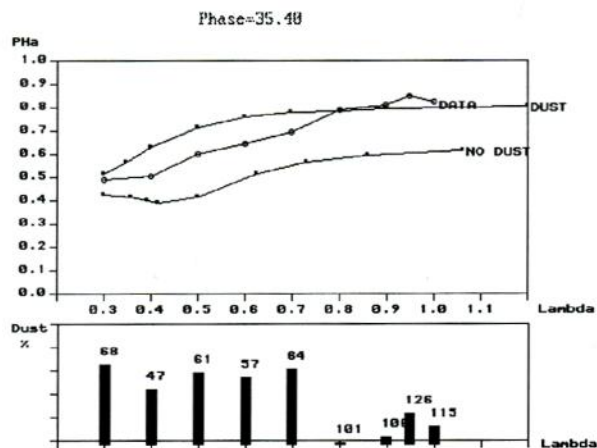


Рис. 4. Пример экспресс-анализа на наличие пыли в атмосфере Марса по фотоэлектрическим наблюдениям

DAY	:	13	Enter date:	
MONTH	:	2		
YEAR	:	73		
POLARIMETRY OBSERVATIONS				

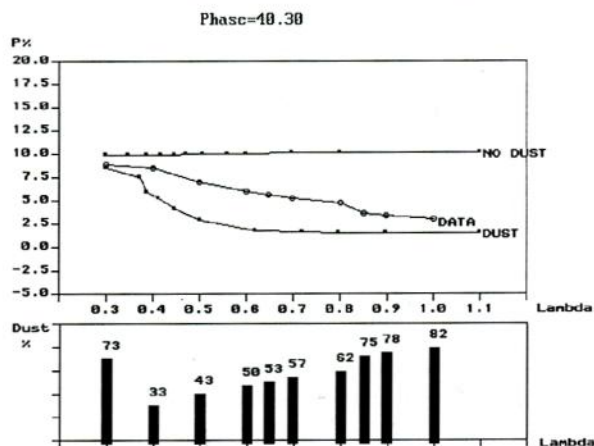


Рис. 5. Пример экспресс-анализа на наличие пыли в атмосфере Марса по данным спектрополяриметрии

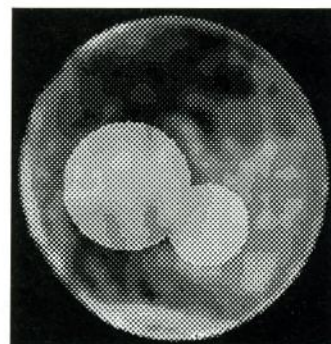


Рис. 6. Фотоснимок Марса, полученный на 1.5-м телескопе на г. Майданак

Рис. 7. Смоделированная ситуация: в центральной части диска Марса заметны области пониженного контраста

Рис. 8. Изображение Марса с выделенными пылевыми облаками

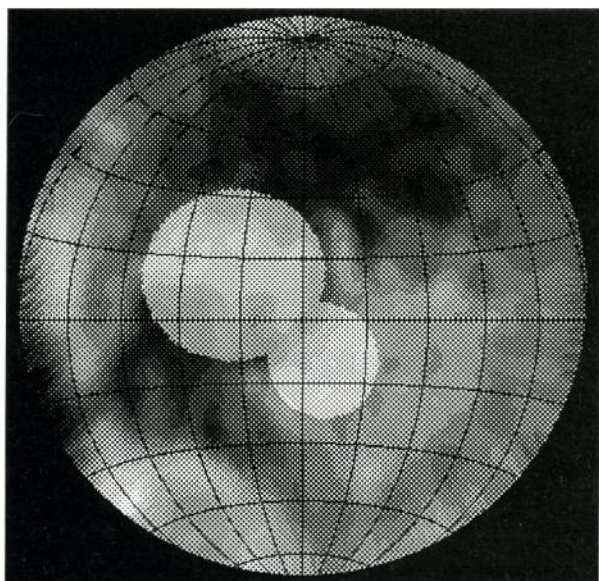


Рис. 9. Результат преобразования изображения Марса к масштабу и проекции карты его поверхности

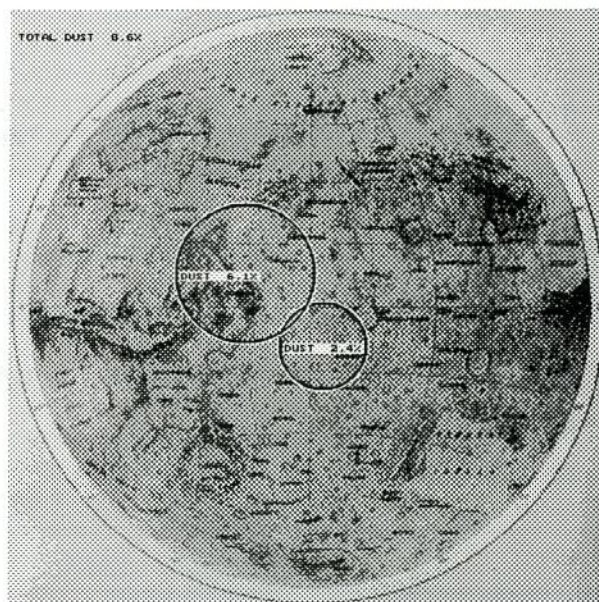


Рис. 10. Результат экспресс-анализа: карта поверхности Марса с указанным местонахождением и протяженностью пылевых облаков

рис. 7 представлено препарированное изображение Марса, которое получено из предыдущего путем искусственного понижения контрастности деталей в двух областях в центре диска планеты. Сравнивая эти изображения, экспертная система обнаруживает наличие двух пылевых облаков в этих районах (рис. 8). Затем изображение приводится к масштабу и проекции имеющейся в базе знаний ЭС карты поверхности Марса. Результат этих преобразований показан на рис. 9. После определения координат и площадей выявленных пылевых образований система наносит их на карту.

Выходной результат системы по данному разделу — карта поверхности Марса с указанным местонахождением и протяженностью пылевых облаков (рис. 10). Площади отдельных облаков и общая их протяженность выражены в процентах по отношению к площади всего диска Марса.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система пока не определяет степень достоверности проведенной экспертизы, так

как в ней сейчас отсутствуют необходимые для этого величины погрешностей наблюдений по выделенным тематическим разделам. Эти погрешности зависят как от применяемой для наблюдений аппаратуры и условий наблюдений, так и от параметров астрономических инструментов.

Кроме того, в результатах экспертной оценки состояния атмосферы Марса не учтены поправки за долготный эффект и сезонные изменения на поверхности планеты, которые хотя сравнительно и малы, но могут в отдельных случаях оказывать влияние на результат экспертизы.

Все это будет учтено при доработке системы и ее эксплуатации в 1996—1998 гг.

- Александров Ю. В., Луишко Д. Ф., Луишко Т. А. Абсолютная фотометрия Марса в 1971, 1973 и 1975 гг. — Харьков: Вища школа, 1977.—126 с.
- Мороженко А. В. Поляризационные свойства атмосферы и поверхности Марса // Физика Луны и планет. — Киев: Наук. думка, 1966.—С. 45—69.
- Мороженко А. В. Долготный эффект в поляризации диска Марса // Астрон. журн.—1973.—5, № 5.—С. 1057—1061.
- Мороженко А. В. Результаты поляриметрических наблюдений Марса в 1971 и 1973 гг. // Астрометрия и астрофизика.—1975.—Вып. 26.—С. 97—107.
- Caldwell J. Ultraviolet observations of Mars by the orbiting astro-

nomical observatory // *Icarus*.—1973.—32, N 3.—P. 489—496.

Caldwell J. Ultraviolet observations of Mars by the TDIA and OAO-2 satellites // *Icarus*.—1977.—32, N 2.—P. 190—209.

Dollfus A., Ebisawa S., Bowell E. Polarimetric analysis of the Martian dust storms and clouds in 1971 // *Astron. and Astrophys.*—1984.—131, N 1.—P. 123—136.

Thorpe Th. E. Mariner 9 photometric observations of Mars from November 1971 through March 1972 // *Icarus*.—1973.—20, N 4.—P. 482—489.

Wallace I., Caldwell J., Savage B. D. Ultraviolet photometry from the orbiting astronomical observatory. III. Observations of Venus, Mars, Jupiter and Saturn longward of 2000 A // *Astrophys. J.*—1972.—172, N 3.—P. 755—769.

---

#### AN EXPERT SYSTEM FOR COLLECTION AND EXPRESS ANALYSIS OF THE GROUND-BASED OBSERVATIONS OF "MARS-96"

*V. G. Parusimov, D. E. Ostrowskij,  
T. B. Dudnik, and D. G. Stankevich*

We describe an expert system for collection and express analysis of ground-based observations of Mars. Using photoelectric and polarimetric data and images of Mars, the system defines the presence of dust in the planet's atmosphere, the location and area of dust clouds, forecasts their evolution. The expert system is intended for the ground-based tracking of the «Mars-96» spacecraft and for creating a data bank on Mars.