

С.Г. ВАЛЕЕВ, В.И. ДЬЯКОВ

## МОДЕЛИ МЕГАРЕЛЬЕФА ЛУНЫ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ «КЛЕМЕНТИНА»

Описываются результаты математического моделирования мегарельефа Луны и статистического анализа разложения на основе данных космической программы НАСА «КЛЕМЕНТИНА»; рассматриваются проблемы и перспективы исследований.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

До настоящего времени геометрическая фигура Луны все еще остается недостаточно изученной. На ранних стадиях изучения представления о рельефе Луны основывались на наземных астрономических наблюдениях ее видимой стороны. В дальнейшем по мере развития космонавтики и космических методов изучения знания о Луне были дополнены и уточнены.

Для численно-аналитических исследований рельеф Луны представляется в виде ряда разложения по сферическим функциям. Пусть  $\lambda, \beta, h$  - сферические координаты точки на поверхности планеты. Для радиуса - вектора  $\rho$  можно записать

$$\rho = R + h, \quad (1)$$

где  $R$  - средний радиус планеты;  $h$  - высота над сферой радиуса  $R$ . Тогда  $h$  можно представить с помощью полиномов и присоединенных функций Лежандра по аргументам  $\lambda$  и  $\beta$  как функцию в виде ряда

$$h^N(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n (\bar{A}_{nm} \cos m\lambda + \bar{B}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi), \quad (2)$$

где  $\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$  - нормированные по Каула присоединенные полиномы Лежандра.

Такое представление может быть сделано, если мы знаем из наблюдений определенные с достаточной точностью абсолютные высоты и угловые координаты значительного числа точек, равномерно распределенных по всей поверхности небесного тела.

На настоящий момент наиболее полной и подробной из всех существующих является модель 70 порядка разложения рельефа Луны в ряд по сферическим функциям, полученная в Лаборатории ракетного движения (JPL USA) по программе «Clementine» [1].

Целью данной работы является нахождение оптимальной (усеченной) модели рельефа Луны на основе подхода статистического (регрессионного) моделирования [2]. Такая модель должна содержать в своей структуре толь-

ко значимые параметры разложения и обладать высокими прогностическими свойствами при использовании ее в режиме прогноза.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель мегарельефа Луны рассчитывалась по одной из схем метода наименьших квадратов (схема Гаусса-Жордана). На основе данных [1] была построена модель 50-го порядка разложения, включающая 2600 гармонических слагаемых. Метод статистического (регрессионного) моделирования не применялся ввиду ограниченной возможности существующего программного комплекса. Сравнение двух моделей (50-го и 70-го порядка) проводилось только по общим гармоническим коэффициентам. Отмечается значительная близость значений коэффициентов математических моделей, высокий коэффициент множественной корреляции, обусловленный высокоточными данными, и низкая парная корреляция параметров. Можно предположить, что применение стратегии структурной идентификации [2] позволит не только понизить порядок разложения, но и оптимизировать математическую модель данного порядка по количеству используемых параметров.

## ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сложность построения подобных моделей рельефа Луны обусловлена в первую очередь большим числом подлежащих оцениванию коэффициентов разложения на основе чрезвычайно огромного наблюдательного материала. С другой стороны, при решении подобного рода небесно-механических задач регрессионного анализа и метода наименьших квадратов (восстановление функций рельефа и гравитационных полей планет) возникает необходимость в специальном программном обеспечении. Наиболее предпочтительными для обработки соответствующих астрономических данных при использовании моделей большой размерности являются автоматизированные системы в виде пакета прикладных программ (ППП). Существующие ППП не приспособлены для решения задач небесной механики, как в программном смысле (по объему машинной памяти и количеству используемых модулей), так и в математическом (скудное «меню» по модулям, обеспечивающим разнообразие восстанавливаемых функций, методов поиска и т.д.). Естественным развитием явилось создание специализированного ППП в виде автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) версии 1.0, реализующей стратегию статистического (регрессионного) моделирования [3]. АСНИ была разработана для IBM-совместимых компьютеров в режиме MS DOS на языке программирования Watcom C++. Однако из-за возросших требований к ресурсам компьютерной системы применение этой версии не позволяет решить поставленные задачи на современном уровне.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения современных результатов предполагается разработка автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) версии 2.0 на платформе Windows 95/NT с элементами экспертной системы. Ведется разработка и внедрение методики для определения оптимального порядка разложения и оптимизации математических моделей методом структурной идентификации. При этом предполагается сравнение различных методов поиска на основе многокритериального подхода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith D.E., Zuber M.T., Neumann G.A., Lemoine F.G. The topography of the Moon from the Clementine LIDAR // J.Geophys.Res., 1995. № 15. P.27-35.
2. Валеев С. Г. Регрессионное моделирование при обработке наблюдений. М.: Наука, 1991. 272с.
3. Валеев С. Г., Дьяков В.И. Автоматизированная система обработки данных большой размерности // Тезисы докладов XXVII Радиоастрономической конференции. Т.2. С.-Петербург, 1997. С. 237-238.



*Валеев Султан Галимзянович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» Ульяновского государственного технического университета, окончил физический факультет Казанского государственного университета. Имеет статьи и монографию в области астрометрии и небесной механики, математической статистики и разработки информационных технологий.*

*Дьяков Владислав Иванович, окончил механико-математический факультет Московского государственного университета и аспирантуру кафедры «Прикладная математика и информатика» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи в области математического моделирования и информационных технологий.*