



ISSN 1607–2855

Том 5 · № 1–2 · 2004 С. 141–149

УДК 523.68 : 519.245

Статистическое моделирование метеорных потоков

Ю.М. Горбанев, С.Р. Кимаковский

Одесская астрономическая обсерватория

Создана компьютерная модель, которая с помощью метода статистических испытаний позволяет по заданным распределениям для метеороидного роя сгенерировать элементы орбит N частиц, а затем на основе модели движения Земли и метеороида осуществить отбор модельных частиц метеорного потока. Проведено тестирование модели с привлечением наблюдательного материала Мирового Центра данных по метеорному потоку Геминид. По результатам вычислений получены следующие результаты: первоначально независимые элементы орбит метеороидного роя после встречи с Землей и формирования метеорного потока за счет учета только геометрического фактора селекции становятся зависимыми. Это в первую очередь касается таких элементов, как большая полуось орбиты, эксцентриситет и долгота восходящего узла. Наклонение орбиты метеорной частицы метеорного потока Геминид является наименее уязвимым орбитальным параметром для геометрической селекции.

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТЕОРНИХ ПОТОКІВ, Горбанев Ю.М., Кимаковський С.Р. — Створено комп'ютерну модель, яка за допомогою методу статистичних випробувань дозволяє по заданому розподілу для метеорного рою згенерувати елементи орбіт N частинок, а потім на основі моделі руху Землі і метеороїда здійснити відбір модельних частинок метеорного потоку. Проведено тестування моделі із залученням спостережного матеріалу Світового Центру даних по метеорному потоку Гемінід. За результатами розрахунків отримано наступні результати: спочатку незалежні елементи орбіт метеороїдного рою після зустрічі із Землею і формування метеорного потоку за рахунок врахування лише геометричного фактору селекції стають залежними. Це в першу чергу стосується таких елементів як велика піввісь орбіти, ексцентриситет та довгота висхідного вузла. Нахил орбіти метеорної частинки метеорного потоку Гемінід є найменш вразливим орбітальним параметром для геометричної селекції.

A STATISTICAL MODELLING OF METEOR SHOWERS, by Gorbanev Yu.M., Kimakovsky S.R. — The computer model is built, which one with the help of a method of statistical tests allows on given distributions for meteoroids of a plenty to generate members of orbits N of fragments, and then on the basis of model of motion of the Earth and meteoroids to execute selection model fragments of a meteor shower. The testing of model with engaging of an observation stuff of World Center of the data on a meteor shower Geminids is conducted. By results of calculus the following outcomes are obtained: originally independent members of orbits meteoroids of a plenty after an occurring with the Earth and formation of a meteor shower, only at the expense of the count only of geometrical factor of selection become dependent. It first of all concerns such members as the semimajor axis of orbit, eccentricity and longitude of an ascending node. The orbit inclination of a meteoric fragment meteor shower Geminids is least vulnerable orbital parameter for geometrical selection.

Метеорные тела практически недоступны прямым наблюдениям. Когда они движутся в одиночку или разреженными роями в межпланетном пространстве, они отражают столь мало солнечного света, что их невозможно зарегистрировать. Основные сведения о таком пылевом веществе можно получить только путем изучения явления метеоров.

Данные наблюдений дают результаты, чрезвычайно искаженные селекцией; из всего метеорного роя доступны наблюдениям только те метеороиды, орбиты которых пересекают орбиту Земли. Для того, чтобы получить истинное распределение в пространстве межпланетного пылевого вещества по наблюдаемым распределениям с поверхности Земли, следует учесть астрономическую селекцию.

Учесть селективность метеорных наблюдений пытались разными методами. Одним из основных методов, начиная с пятидесятых годов, был метод Эпика, либо различные его модификации. В модели Эпика рассматривается планета, обращающаяся вокруг Солнца по круговой орбите и ме-

теорная частица, движущаяся по эллиптической орбите, элементы орбиты которой фиксированы и равны i, a, e, ω . Причем, ω (аргумент перигелия) из-за гравитационных возмущений, в основном от Юпитера и Сатурна, принимает все значения от 0° до 360° [1]. Окончательно, после несложных выкладок, независимо от того, какие значения принимают элементы i, a, e , было получено соотношение:

$$P(a, e, i) = \frac{1 - e^{3/2}}{q} \cdot \frac{\sqrt{3 - \frac{1-e}{q} - 2\sqrt{q(1+e)} \cos i}}{\sin i \sqrt{2 - \frac{1-e}{q} - q(1+e)}}$$

где $q = a(1-e)$ — перигелийное расстояние, a — большая полуось, e — эксцентриситет, i — наклонение орбиты. Величину $P(a, e, i)$ называют вероятностью столкновения межпланетного тела с Землей.

Следует обратить внимание на то, что вероятность вычисляется только по трем элементам — a, e, i . Аргумент перигелия не фиксируется, а так же предполагается, что раньше или позже с вероятностью, равной единице, ω примет соответствующее сближению орбит значение.

Обычно для оценки функции наблюдаемых распределений метеорных частиц по элементам орбит учитывают космический вес $C.W.$, вычисляемый по формуле Уиппла [2]:

$$C.W. = P^{-1} \cdot V_\infty^{-2},$$

где V_∞ — внеатмосферная скорость метеорного тела, P — вероятность его встречи с Землей. Множитель V_∞^{-2} позволяет учесть так называемую замечаемость метеора, которая зависит от интенсивности излучения или ионизации, сопровождающих полет метеорного тела в атмосфере Земли. Но следует учесть, что этот множитель был введен Уипплом для визуальных наблюдений метеоров и несколько искажает объективный характер космического веса. Это связано с тем, что замечаемость фотографических и радиометеоров по-разному зависит от внеатмосферной скорости. Тем более сомнительным является его использование для периодических наблюдений потоков, связанных со сплошными роями метеорных тел [3]. Поэтому вместо использования классического метода учета вероятности встречи для исправления геометрической селективности в наблюдаемых распределениях был использован следующий метод [4]. При фиксированных значениях большой полуоси (a) и эксцентриситета (e) вычисляют интегральные кривые для наклона орбиты (i). Аналогично можно получить такие интегральные кривые и для остальных элементов. На рис. 1, 2 и 3 представлены распределения, построенные по радиолокационным наблюдениям, и интегральные кривые, рассчитанные для соответствующего элемента, а также исправленные распределения при помощи данных кривых. Но несмотря на то, что эти интегральные кривые в какой-то степени отражают истину, использовать их для учета селективности было бы не верно, т.к. определенные элементы орбиты при интегрировании были фиксированы.

Попытаемся решить эту проблему с помощью численного эксперимента. Была создана компьютерная модель, имитирующая встречу метеороидных частиц роя с Землей, для исследования влияния геометрической селективности на наблюдения метеорного потока. Суть модели следующая: рассматривается метеорный рой в околоземном пространстве с определенными, невозмущенными элементами орбиты и с заданными для всех шести элементов ($i, a, e, \omega, \Omega, T$) распределениями. Здесь ω — аргумент перигелия, Ω — долгота восходящего узла, T — момент прохождения перигелия. Значение элементов орбиты для пылевой частицы генерировались методом статистических испытаний [5]. Получив массив, содержащий заданное количество сгенерированных частиц, строятся распределения. Полученные распределения сравниваются с исходными, и их соответствие с заданным уровнем значимости проверяется по χ^2 -критерию:

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^N \frac{(\text{Obs} - \text{Calc})^2}{\text{Calc}}$$

Если сгенерированные распределения метеороидов для всех шести элементов проходят по χ^2 -критерию, тогда полученный массив метеороидов будем использовать при дальнейших расчетах.

Поскольку орбита Земли не круговая, необходимо знать орбитальные координаты Земли в любой момент времени. Для этого был использован массив прямоугольных гелиоцентрических координат Земли из Астрономического ежегодника [6], рассчитанных на период действия исследуемого метеорного потока. Также в модели задаются начальные и конечные даты действия модельного потока (все даты в модели для удобства пересчитываются в юлианские). Интерполируя на заданные даты при помощи интерполяционного многочлена Лагранжа прямоугольные координаты Земли, получаем соответствующие координаты и гелиоцентрические расстояния Земли на начало действия потока — R_{\min}^{\oplus} и на его окончание — R_{\max}^{\oplus} . Как известно, метеороидные тела пересекают плоскость эклиптики в узлах своей орбиты, исходя из чего нет необходимости рассчитывать всю орбиту метеороида, а можно рассчитать координаты частицы только в нисходящем, либо восходящем узлах. Используя формулу:

$$R_m = \frac{a(1-e^2)}{1 \pm e \cos \omega},$$

где (+) для восходящего узла, (–) для нисходящего узла. Для расчета гелиоцентрических расстояний в узлах орбиты частицы отбираем метеороиды в тех узлах, гелиоцентрические расстояния которых будут удовлетворять следующему условию:

$$R_m = R_{\min}^{\oplus} - R_{\text{lock}}^{\oplus} < R_m < R_{\max}^{\oplus} + R_{\text{lock}}^{\oplus}$$

где R_{\min}^{\oplus} , R_{\max}^{\oplus} — минимальное и максимальное гелиоцентрическое расстояние для заданного временного интервала, R_{lock}^{\oplus} — радиус захвата Земли, устанавливаемый перед началом моделирования. Чтобы ускорить процесс счета модели, необходимо отобрать из общего массива метеороидов частицы роя, которые могут встретиться с Землей. И те частицы, которые пройдут последнюю проверку, будут участвовать в дальнейших расчетах. Для этих частиц, используя следующие уравнения по сгенерированным элементам орбиты частиц, рассчитываем момент прохождения частицы через узел: Для определения момента прохождения через узел орбиты необходимо определить среднесуточное движение n и среднюю аномалию M :

$$n = \frac{0.98560767}{a^{3/2}}$$

Как было указано выше, расчет производится только для узлов орбиты, соответственно в нисходящем узле истинная аномалия $\nu = 180^\circ - \omega$, в восходящем узле $\nu = -\omega$. По следующим формулам рассчитываются эксцентрисическая и средняя аномалии:

$$\text{tg} \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \text{tg} \frac{\nu}{2}$$

Решая уравнение Кеплера, определяем среднюю аномалию:

$$M = E - e \sin E$$

Получив необходимые величины, рассчитываем момент прохождения через узел орбиты:

$$t_{uz} = T_0 + \frac{M}{n}$$

И, используя полученные моменты прохождения через узел орбиты, отбираем те метеороиды, которые попадут в заданный промежуток времени действия потока. На этом этапе мы отобрали массив элементов частиц метеороидного роя, ограниченных по радиусам и по времени, и для этих частиц при помощи уравнений небесной механики на момент прохождения через узел орбиты рассчитываем прямоугольные гелиоцентрические эклиптикальные координаты (X^m , Y^m , Z^m , R^m). Но так как плоскость $X^m Y^m$ в этой системе координат лежит в плоскости эклиптики, координата Z^m всегда будет равна нулю. Для вычисления прямоугольных координат используются невозмущенные элементы орбиты. Из сферических треугольников рассчитываем направляющие косинусы:

$$\begin{aligned} P_x &= \cos \Omega \cos \omega - \sin \Omega \sin \omega \cos i & Q_x &= -\cos \Omega \sin \omega - \sin \Omega \cos \omega \cos i \\ P_y &= \sin \Omega \cos \omega + \cos \Omega \sin \omega \cos i & Q_y &= -\sin \Omega \sin \omega + \cos \Omega \cos \omega \cos i \\ P_z &= \sin \omega \sin i & Q_z &= \cos \omega \sin i \end{aligned}$$

Рассчитаем орбитальные координаты ξ и η , используя полученную в предыдущем методе

Таблица 1. Координаты и элементы орбиты для метеорного потока Геминид

Автор	N	α	δ	V_∞	$1/a$	e	i	Ω	ω
Б.Л.Кашцев и др.	401	111.4	32.6	36.0	0.76	0.89	23.7	259.6	325.8
Уишл	13	112.7	32.4	36.4	0.73	0.9	23.9	261.2	324.4
Мак-Кроски, Позен	72	111.3	32.5	36.3	0.71	0.9	23.1	260.2	324.2
Яккья, Уишл	20	111.4	32.5	36.2	0.74	0.9	23.3	260.2	324.3
Сатуорт, Хокинс	16	112.6	32.3	36.3	0.73	0.9	23.3	261.4	324.1
Бабаджанов, Крамер	12	111.2	32.4	36.9	0.76	0.9	24.8	258.7	326.2

эксцентрическую аномалию:

$$\begin{aligned}\xi &= a(\cos E - e) \\ \eta &= a \sin E \sqrt{1 - e^2}\end{aligned}$$

И, соответственно, получаем прямоугольные гелиоцентрические эклиптикальные координаты:

$$\begin{aligned}X &= P_x \xi + Q_x \eta \\ Y &= P_y \xi + Q_y \eta \\ Z &= P_z \xi + Q_z \eta\end{aligned}$$

Так же для этих метеороидов на момент прохождения их через узел орбиты интерполируются координаты Земли. Т.е. мы определяем место положения Земли в момент прохождения метеороидом плоскости эклиптики. Затем, используя координаты метеороида и интерполированные координаты Земли, по следующей формуле рассчитываем расстояния между двумя данными точками:

$$\sqrt{(X^\oplus - X^m)^2 + (Y^\oplus - Y^m)^2} \leq R_{\text{lock}}^\oplus$$

И проверяем, встретится ли метеороид с Землей в пределах заданного радиуса захвата R_{lock}^\oplus [7]. Соответственно, все те частицы, которые пройдут по всем условиям, будут являться метеорами заданного модельного потока.

В результате модельных расчетов были получены следующие величины для каждого метеора в модельном метеорном потоке: шесть орбитальных элементов ($a, e, i, \omega, \Omega, T$), прямоугольные гелиоцентрические координаты точек пересечения в узле орбиты, соответствующие моменту прохождения частицы через узел орбиты, гелиоцентрические радиусы, прямоугольные координаты Земли на соответствующий момент времени прохождения через узел.

Созданная модель была протестирована на примере роя Геминид. Для этого были заданы распределения у всех элементов равномерными, что аналогично метеороидному рою, равномерно распределенному в пространстве. Такие заданные распределения позволят нам протестировать модель и выявить характерные тенденции при встрече модельных частиц с Землей (выборка для потока варьировалась в пределах от 500 до 1000 метеоров, при этом число метеоров роя составляло порядка 20 млн.). На рис. 4 представлена орбита Земли на моменты моделирования (10–16 декабря) и модельные точки, соответствующие моменту прохождения метеором узла своей орбиты.

Были проведены модельные вычисления при разных радиусах захвата R_{lock}^\oplus (радиус захвата варьировался в пределах от 6500 км до 100 000 км) и получено, что изменение радиуса не изменяло характерный вид распределений.

Также необходимо задать предельные значения орбитальных параметров для модельных распределений. Для этого был использован наиболее изученный метеорный поток Геминид, так как он является одним из самых известных ежегодных метеорных потоков, наблюдаемых в настоящее время. Его активность приходится на период с 7 по 17 декабря с максимумом в районе 13–14 декабря. Обработав литературные источники разных авторов, для потока Геминид были собраны средние координаты и элементы орбиты (табл. 1).

При тестировании модели и в частности генератора случайных чисел было обнаружено, что встроенный генератор страдает рядом недостатков. Все генераторы случайных чисел проходили тестирование различными классическими методами, такими как: тест частот, тест комбинаций и тест серий [8]. Встроенный генератор на основании χ^2 -критерия с уровнем значимости α не меньше

Таблица 2. Корреляционные матрицы для потока Геминид: а) сгенерированные метеороиды роя; б) модельные метеоры потока; в) реальные наблюдаемые метеоры

	a	e	i	ω	Ω	t
a	1	-0.002	-0.004	-0.004	0.003	0.004
e		1	0.003	-0.005	-0.003	-0.003
i			1	-0.006	-0.002	0.002
ω				1	0.005	0.004
Ω					1	-0.003
t						1

а)

	a	e	i	ω	Ω	t
a	1	0.757	0.015	0.001	-0.004	-0.353
e		1	0.012	0.650	0.043	-0.406
i			1	-0.005	-0.062	-0.060
ω				1	0.059	-0.221
Ω					1	0.894
t						1

б)

	a	e	i	ω	Ω	t
a	1	0.758	0.125	-0.217	0.138	0.126
e		1	0.272	0.459	0.059	0.058
i			1	0.233	-0.108	-0.093
ω				1	-0.104	-0.084
Ω					1	0.961
t						1

в)

0.1 прошел проверку по данным тестам. Но все программные генераторы обладают периодичностью. Для встроенного генератора этот период оказался недостаточно большим для нашей модели (< 10 млн.), поэтому был выбран программный метод генерации случайных чисел, который после проверки вышеуказанными методами показал практически одинаковые результаты, но период у данного генератора оказался намного больше.

Также необходимо было проверить независимость сгенерированных элементов. Для этого, сделав выборку для шести элементов из сгенерированных метеороидов роя, были получены корреляционные коэффициенты между всеми парами элементов (табл. 2а). Также после просчета модели с равномерными распределениями была проделана та же процедура и для модельных метеоров потока (табл. 2б).

Из таблицы видно, что для сгенерированных элементов орбиты метеороидного роя наблюдается отсутствие корреляции. Это говорит о том, что сгенерированные элементы орбиты метеороидов независимы. Но после модельных расчетов оказалось, что некоторые пары элементов орбиты отобранных метеоров потока не являются независимыми. Необходимо было проверить, существуют ли подобные зависимости между элементами орбит у реально наблюдаемого потока? Для того, чтобы проверить полученные результаты модельных расчетов, требуется независимая проверка с помощью наблюдательных данных.

Для отбора потоковых метеоров было использовано 20 каталогов метеорных орбит, полученных из Мирового Центра данных (IAU Meteor Data Catalogue) [9,10]. Используемые каталоги составлены по фотографическим, телевизионным и радиолокационным наблюдениям (в сумме 65911 метеорных орбит), которые проводились в период с 1936 по 1983 г. включительно. Критериями для отбора необходимых метеоров являлись средние элементы орбиты потоков, полученные из составленной таблицы (табл. 1). По отобранным метеорам были построены распределения для элементов орбиты и для скорости, которые представлены на рис. 5.

Как было указано выше, из базы данных Мирового Центра была сделана выборка метеоров и по этой выборке была построена такая же корреляционная матрица для потока Геминид (табл. 2в). В результате было обнаружено, что некоторые пары элементов орбиты наблюдаемых метеоров также являются зависимыми, зависимости $a - e$, $e - \omega$ и $t - \Omega$. По модельным и наблюдаемым метеорам потока Геминид были построены графики, зависимость $a - e$ (рис. 6) и $\Omega - e$ (рис. 7).

Как видно из табл. 2 и рис. 6–7, для модельных и наблюдаемых метеоров прослеживается высокая корреляция. Общеизвестен факт влияния селективности на распределения $a - e$ и $\omega - e$ наблюдаемых метеоров [11]. По модельным расчетам селективность проявляется и в зависимости $t - \Omega$, что иллюстрирует рис. 8.

У наблюдаемых метеоров проявляется сложная структура реального метеорного роя, но тенденция зависимости проявляется и у модельного потока. Если вернуться к зависимости $a - e$ (рис. 6), то при анализе распределения точек для наблюдаемых метеоров прослеживается следующая тенденция: точки концентрируются во внутренней области. Для равномерного модельного распреде-

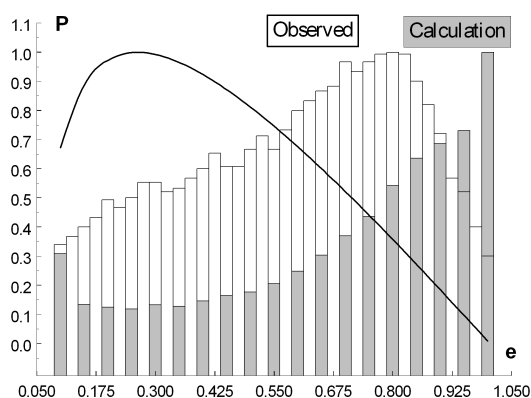


Рис. 1. Наблюденные распределения элементов орбит метеоров и исправленные с учетом вероятности встречи

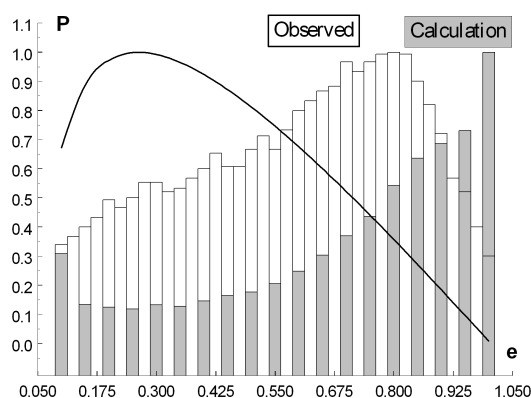


Рис. 2. Наблюденные распределения элементов орбит метеоров и исправленные с учетом вероятности встречи

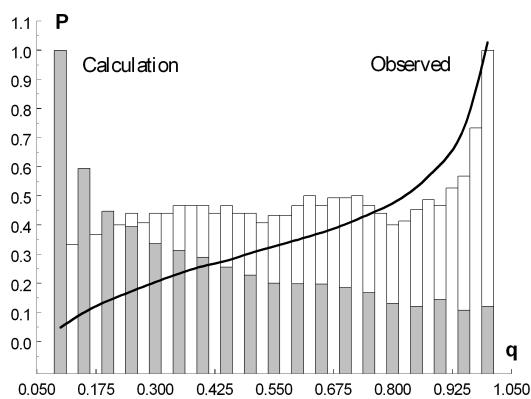


Рис. 3. Наблюденные распределения элементов орбит метеоров и исправленные с учетом вероятности встречи

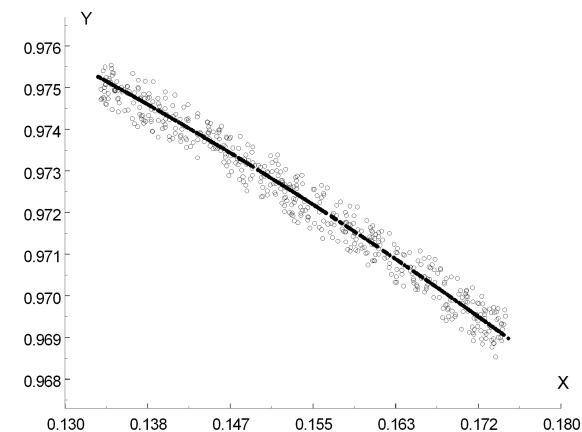


Рис. 4. Модельные расчеты: сплошная линия — орбита Земли и точки (o), соответствующие моменту прохождения метеором узла своей орбиты

ления такой тенденции не наблюдается.

Для того, чтобы проверить, какой элемент ответственен за эту концентрацию в модельных распределениях метеорного роя, проверялись все элементы орбиты. Оказалось, что если задать максимум для аргумента перигелия ω , то после расчета модели с новыми распределениями получается зависимость, представленная на рис. 9.

На графике появляется аналогичная концентрация точек, что говорит о влиянии распределения аргумента перигелия в нашей модели на структуру диаграммы $a - e$.

Следует отметить отсутствие корреляции для такого элемента орбиты, как наклонение. Это позволяет нам утверждать, что распределение наклонений метеоров потока Геминид не подвержено геометрической селекции и соответствует распределению в метеорном рое.

Часто при интерпретации наблюдательных данных используют диаграмму зависимости перигелийного расстояния q от долготы перигелия π для анализа метеорных потоков и роев [12]. Если построить такую диаграмму для нашей выборки метеоров потока Геминид (рис.10), то прослеживается некоторая зависимость между q и π . Для одного из вариантов моделирования (выборка из

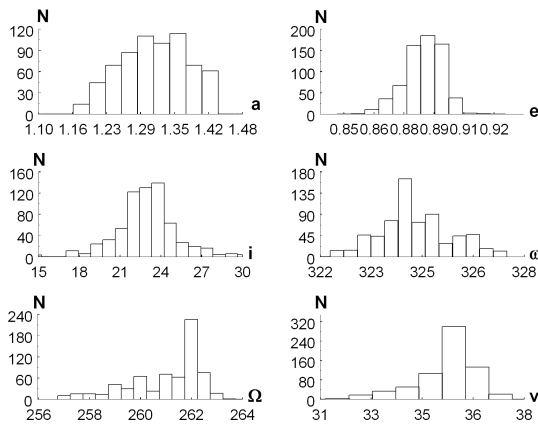


Рис. 5. Распределения элементов орбиты и скорости для потока Геминид

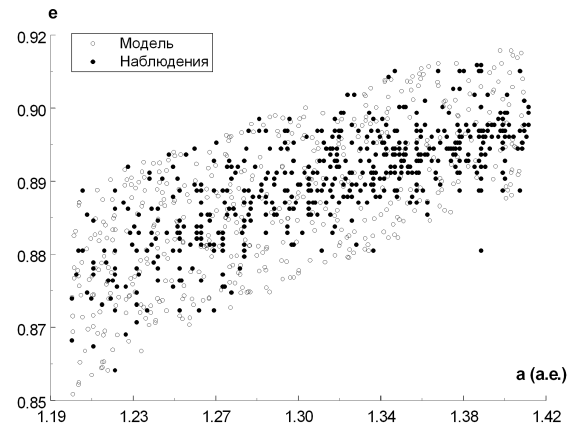


Рис. 6. Зависимость эксцентриситета от большой полуоси для наблюдаемых и модельных метеоров

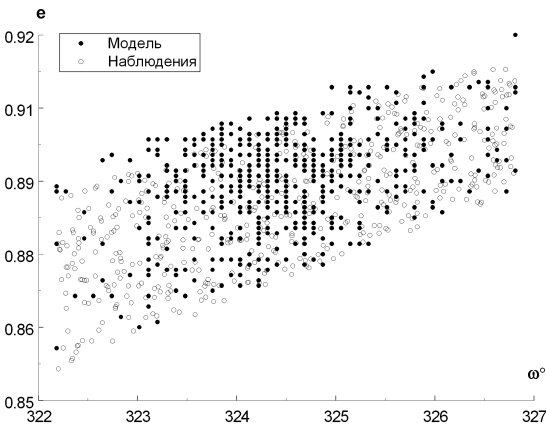


Рис. 7. Зависимость эксцентриситета от аргумента перигелия для наблюдаемых и модельных метеоров

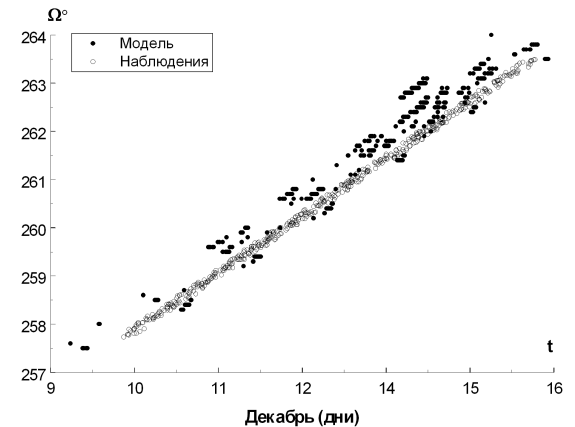


Рис. 8. Зависимость долготы восходящего узла от момента прохождения через узел орбиты для наблюдаемых и модельных метеоров

1000 метеоров), когда все элементы, кроме аргумента перигелия, имели равномерные распределения, были вычислены перигелийные расстояния и долготы перигелия и построена диаграмма $q - \pi$ (рис. 11).

На диаграмме проявляется аналогичная наблюдаемым данным зависимость долготы перигелия от перигелийного расстояния, причем близки и коэффициенты корреляции (для модели $k = -0.58$ и для реальных метеоров $k = -0.51$), что позволяет нам предположить о влиянии геометрической селективности в нашей модели на такого рода зависимости.

Таким образом, проанализировав полученные результаты, можно сделать следующий вывод:

1. Создана компьютерная модель, которая с помощью метода статистических испытаний позволяет по заданным распределениям для метеороидного роя сгенерировать элементы орбит N частиц, а затем на основе модели движения Земли и метеороида осуществить отбор модельных частиц метеорного потока.

2. По результатам тестирования обнаружено, что данная модель, учитывающая чисто геометрическую селективность, позволяет объяснить в реальном метеорном потоке Геминид зависимости между парами элементов как чисто эффект селекции.

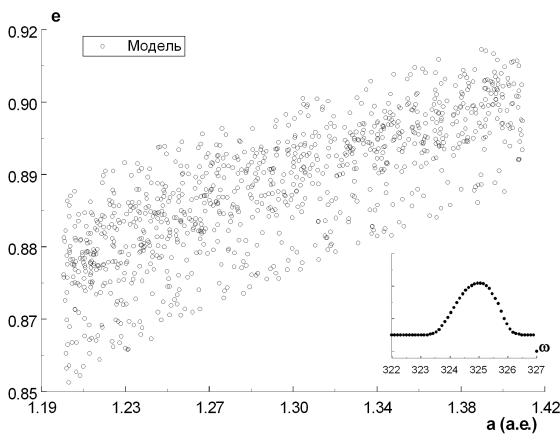


Рис. 9. Зависимость эксцентриситета от большой полуоси для наблюдаемых и модельных метеоров в случае максимума распределения по аргументу перигелия

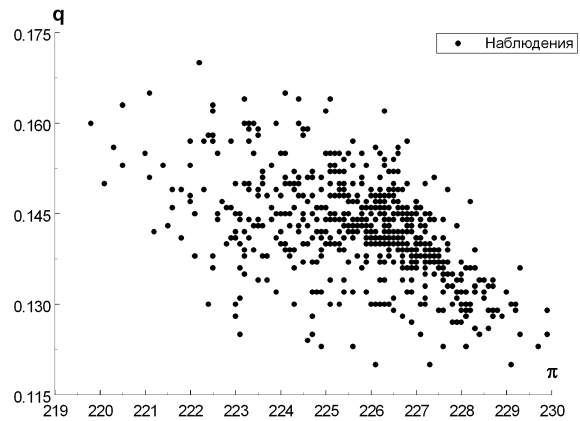


Рис. 10. Зависимость перигелийного расстояния от долготы перигелия для наблюдаемых метеоров

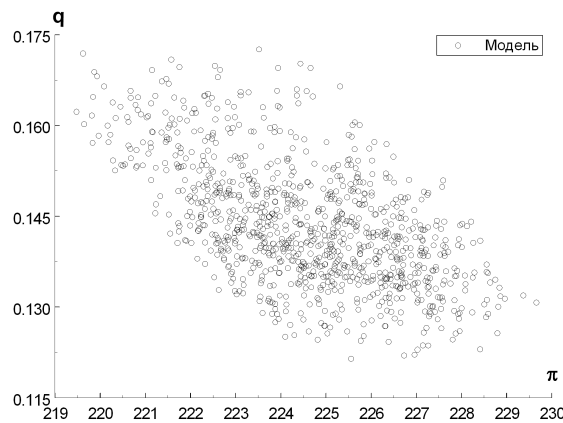


Рис. 11. Зависимость долготы перигелия от перигелийного расстояния для модельных метеоров

3. Наклонение орбиты для пылевых частиц метеорного потока Геминид является наименее уязвимым орбитальным параметром для геометрической селекции.

4. Соответствие корреляционных матриц для пар орбитальных элементов по модели и наблюдениям возможно использовать для восстановления истинных распределений элементов орбит пылевых частиц в метеорных роях.

1. *Opic E.J.* Collision probabilities with the planets and the distribution of interplanetary matter // Proc. Roy. Irish Acad. — 1951. — **54**, sect. A, № 2. — P. 165–199.
2. *Whipple F.L.* Photographic meteor orbits and their distribution in space // Ibid. — 1954. — **59**, № 5. — P. 201–217.
3. *Крамер Е.Н., Шестака И.С.* О вероятности встречи с Землей, распределении и возрасте метеорных роев. — Киев: Высшая школа, 1979. — С. 62–65.
4. *Крамер Е.Н., Шестака И.С.* Орбиты метеоров по фотографическим наблюдениям. — М.: Материал Мирового центра данных, 1986. — С.186.
5. *Соболь И.М.* Метод Монте-Карло. — М.: Наука, 1968.
6. *Финкельштейн А.М.* Астрономический ежегодник 2002 года. — С.-Пб., 2001. — С. 26–33.
7. *Singer S.F.* Interplanetary Dust near the Earth // Nature. — 1961. — **192**, № 4800. — P. 321.
8. *Иванова В.М.* Случайные числа и их применение. — М.: Финансы и статистика, 1984.
9. *Lindblad B.A.* The IAU Meteor Data Center in Lund // Second GLOBMET Symp. — Kazan, USSR, June 30 1988.
10. *Lindblad B.A., Steel D.I.* The Meteoroid orbits available from the IAU Meteor Data Center // Millani et al. Asteroids, Comets, Meteors. — 1993. — P. 497–501.
11. *Крамер Е.Н., Шестака И.С.* Метеорная материя в атмосфере Земли и околосолнечном пространстве. — М.: Наука, 1983. — с. 184.
12. *Harris, Nathan W., Hughes, David W.W.* Perseid meteoroids — the relationship between mass and orbital semimajor axis // M.N.R.A.S. — **273**, Issue 4. — P. 992–998.

Поступила в редакцию 9.09.2004