

Член-корреспондент АН СССР В. В. ФЕДЫНСКИЙ,
Б. Л. КАЩЕЕВ, В. А. НЕЧИТАЙЛЕНКО

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СМЕЩЕНИЯ ОЦЕНОК ПРИ РАДИОНАБЛЮДЕНИЯХ ДРЕЙФА МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

Известно, что радиолокационные наблюдения дрейфа метеорных следов являются наиболее эффективным средством получения информации о движении и физических параметрах атмосферы на высотах 80—110 км. Интерес к таким наблюдениям возрос в последние годы в связи с постановкой задачи создания глобальной сети метеорных радиолокационных станций (м.р.л.с.) для решения различных задач метеорной астрономии и геофизики и, в первую очередь, для получения информации, пригодной к использованию в метеорологии.

Благодаря этому особенно актуальной стала задача исследования эффективности различных методов радионаблюдений дрейфа метеорных следов и соответствующих алгоритмов интерпретации ⁽¹⁾. Здесь мы рассмотрим астрономические факторы, вносящие смещение в определение компонент ветра в метеорной зоне.

В работе ⁽²⁾ показано, что наличие суточного хода в распределении координат радиантов приводит к зависимости средней высоты наблюдения метеоров от времени суток, направления излучения и широты наблюдательного пункта; в ⁽³⁾ показано, что это обстоятельство при наличии вертикальных градиентов горизонтальной компоненты ветра может привести к смещению наблюдаемых компонент ветра, в частности, оценки вертикальной компоненты при наблюдениях методом Маннинга ⁽⁴⁾.

Предложенные в ^(1, 3) алгоритмы интерпретации позволяют учесть погрешности этого рода, однако полученные оценки привязываются к некоторой средней высоте, которая является функцией времени и широты наблюдательного пункта. Именно последнее обстоятельство оказывается наиболее существенным при интерпретации наблюдений, полученных одновременно на нескольких станциях, разнесенных по широте.

Задача определения величины смещения не может быть решена экспериментально, так как нет независимого метода определения профиля ветра на рассматриваемых высотах, не говоря о том, что в настоящее время отсутствует сеть станций в меридиональном направлении. Более того, настоятельные зависимости средних значений координат отражающих точек от времени и ориентации антенн могут быть получены только на высокопотенциальных р.л.с. с угломерными устройствами, подобных комплексу МАРС ⁽⁵⁾. Естественно поэтому решать эту задачу методом вероятностного моделирования.

Процесс моделирования включает несколько шагов. На первом шаге мы задаемся некоторыми распределениями гелиоцентрических эклиптических координат радианта и скорости λ', β', v_h , а также моделью ветра $U(x, t)$, где λ', β' — долгота и широта радианта, v_h — гелиоцентрическая скорость метеорного тела, x, t — обобщенная пространственная и временная координаты.

На втором шаге вычисляется многомерная функция распределения координат отражающих точек. При этом в качестве дополнительных параметров вводится время (t и s_0), широта станции наблюдения (φ), азимут

направления антенны (А). На этом же шаге вводится селекция вследствие физического и геометрического факторов замечаемости (⁴).

На третьем шаге вычисляются совокупности оценок радиальных компонент u_{ri} и оценки компонент и вариаций дрейфа по алгоритмам, соответствующим моделируемому методу наблюдений.

Рассмотренная схема обеспечивает получение эффективных оценок результирующих функций распределения координат отражающих точек и детерминированной компоненты смещения оценок ветра. Однако реализация расчетов по этой схеме для обеспечения необходимой точности возможна лишь на высокопроизводительной ЦВМ с объемом памяти не менее 200 кбит; эту процедуру нельзя использовать для оперативного расчета, мы использовали ее для контрольных просчетов при проверке некоторых упрощений и аппроксимаций.

Значительно более приемлемым, с точки зрения объема необходимых вычислений, является получение оценок методом Монте-Карло. Принципы моделирования изложены в ряде специальных руководств (⁵) применительно к радиолокации метеоров в (¹).

На рис. 1 приведена блок-схема прямого моделирования по методу Монте-Карло. Генератор модельного времени (ГМВ) вместе с блоком формирования (БФ) обеспечивает формирование псевдопуассоновского потока событий (потока метеоров). Датчик исходных координат (ДИК) формирует случайные значения λ' , β' , v_h в соответствии с заданными распределениями. На основании экспериментальных результатов, представленных в работах (⁴, ⁶), приняты следующие распределения:

$$w(\lambda') = 1/(2\pi), \quad 0 \leq \lambda' < 2\pi, \quad (1)$$

$$w(\beta') = \exp(-k(\beta')^2), \quad -\pi/2 < \beta' < \pi/2.$$

Для $w(v_h)$ принято экспериментальное распределение, полученное по наблюдениям 1959—1960 гг. на р.л.с. средней эффективной чувствительности. При этом функция преобразования псевдослучайной величины y с равномерным распределением на интервале (0, 1) к v_h с заданным законом распределения может быть с хорошей степенью приближения аппроксимирована выражением вида

$$v_h = 43 - 24(1 - y + 0,108 \sin(2\pi y))^{1,58}. \quad (2)$$

Блок преобразования координат (БПК) обеспечивает переход от гелиоцентрической эклиптикальной к горизонтальной системе координат при значениях параметров ϕ , s_0 , t , A , задаваемых блоком параметров (БП) и используемых в дальнейшем в качестве аргументов вычисляемых функций смещения. В качестве функциональной зависимости средней высоты от скорости метеора принята экспериментально полученная зависимость с аппроксимирующим полиномом вида

$$h(v_0) = 83,77 + 0,398v_0 - 0,0026v_0^2. \quad (3)$$

Модель тракта первичной обработки сигналов (ПОС) в м.р.л.с. и алгоритмы вторичной обработки (АВО) аналогичны рассмотренным в (¹). Параметры моделируемой м.р.л.с. примерно соответствуют параметрам комплекса «Тропик» (¹). Оконечным является блок анализа (БА), функции которого меняются в зависимости от рассматриваемой задачи.

Используемые в настоящее время алгоритмы интерпретации результатов наблюдений дрейфа метеоров статистическими методами построены в предположении, что, во-первых, функция распределения угловых координат

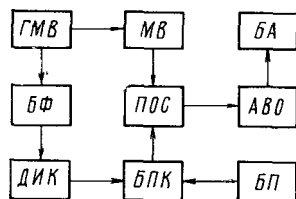


Рис. 1. Блок-схема моделирования: МВ—модель ветра

нат отражающих точек определяется только формой результирующей диаграммы направленности антенной системы и, во-вторых, распределения по азимуту и углу места независимы. Естественно, однако, предположить, что наличие временного хода в распределении основных параметров радиантов должно привести не только к непостоянству средней высоты наблюдаемых метеоров, но также к зависимости среднего наблюдаемого азимута и угла места от времени, широты и ориентации антенны. В рамках рассматриваемой нами статистической модели интерпретации ⁽⁷⁾ примем в линейном приближении

$$\alpha(t, \varphi, A) = \alpha_0(t, \varphi, A) + \alpha_N, \quad (4)$$

где $\alpha(t, \varphi, A)$ — зависимость наблюдаемого среднего значения угловой координаты от времени, широты, ориентации антенны, $\alpha_0(t, \varphi, A)$ — детерминированная компонента функции смещения, α_N — случайное центрированное расхождение.

Возвращаясь назад, заметим, что используемые для интерпретации наблюдений алгоритмы ⁽¹⁾ справедливы, строго говоря, в предположении, что детерминированная компонента в выражении (4) отсутствует.

На описанной выше вероятностной модели нами получены оценки детерминированных компонент средней наблюдаемой высоты $h_{cp}(t, \varphi, A)$ и среднего наблюдаемого азимута отражающей точки $\alpha_0(t, \varphi, A)$. Рис. 2 представляет рельеф функции $h_{cp}(t, \varphi)$ при ориентации антенны на север и восток. Как и следовало ожидать, минимальные высоты наблюдаются вблизи антиапекса, максимальные — вблизи апекса. Наблюдается тенденция к изменению знака произвольной $\partial^2 h(\varphi, t)/\partial \varphi^2$ от отрицательного в апексе к положительному в антиапексе. Последнее обстоятельство может либо подавлять, либо усиливать получаемую экспериментально на м.р.л.с. широтную зависимость амплитуды прилива, в первую очередь суточного. Функция смещения оценки соответствующей компоненты $\Delta S(\varphi)$ определяется принятой моделью прилива и алгоритмами интерпретации и справедлива лишь в рамках соответствующей статистической модели.

Не зная истинной средней высоты h_n при наблюдениях методом Гринхау, полученные оценки ветра приписывают некоторой высоте h_0 . Тогда оценки приливной компоненты ветра на высоте h_0 смещены на величину, которая в случае линейной зависимости

$$u(h) = u_0 + \Delta u(h - h_0)$$

равна $\Delta u(h_n - h_0)$. Однако, поскольку ни Δu , ни h_n не известны, мы не можем сделать заключения об эффективности полученной оценки $u^*(h_0)$. Та же трудность существует и при интерпретации наблюдений в случае метода Маннинга. Однако теперь, не зная Δu и Δh (амплитуда первой гармоники разложения зависимости средней высоты от азимута $h(A)$ в ряд Фурье), мы можем получить оценку их произведения $du = \Delta u \Delta h$ и по величине du судить об эффективности $u^*(h)$.

На рис. 3 представлен рельеф оценки смещения азимута, полученный методом Монте-Карло на описанной выше вероятностной модели. Компонента $\alpha_0(t, \varphi, A)$ может быть приближенно описана выражением

$$\alpha_0(t, \varphi, A) = a_1 \sin A \cos \varphi (1 - \cos t \sin A) + a_2 \cos(t - A) \sin \varphi \sin^2 A + a_3 \cos A \cos t + a_4 \cos^2 A \sin^2 \varphi \cos(2t - \varphi). \quad (5)$$

Значения коэффициентов a_i определяются параметрами р.л.с., в первую очередь, формой и шириной диаграммы направленности антенны и для м.р.л.с. средней эффективной чувствительности находятся в пределах 0,1—0,4. Полученные нами оценки для антенной системы «Тропик» составляют $a_1 = 0,2$, $a_2 = 0,35$, $a_3 = 0,18$, $a_4 = 0,25$.

В результате оценки вариаций, получаемые из наблюдательного материала классическими методами, имеют вид

$$u^* = u + kv + N,$$

где u^* — оценка соответствующей компоненты (вариации), u — оцениваемая компонента (вариация), v — ортогональная ей компонента (вариация), N — шумовая компонента с нулевым средним, k — коэффициент, зависящий от номера вариации и значений коэффициентов a_i .

Наличие множителя $\cos(2t - \varphi)$ в последнем члене (5) приводит к смещению оценки полусуточной вариации в сторону ее увеличения за счет постоянной компоненты, причем смещение u_i пропорционально v_0 , а смещение v_i пропорционально u_0 .

Из сказанного ясно, что для эффективной интерпретации наблюдательного материала необходимо иметь оценки смещения компонент ветра и,

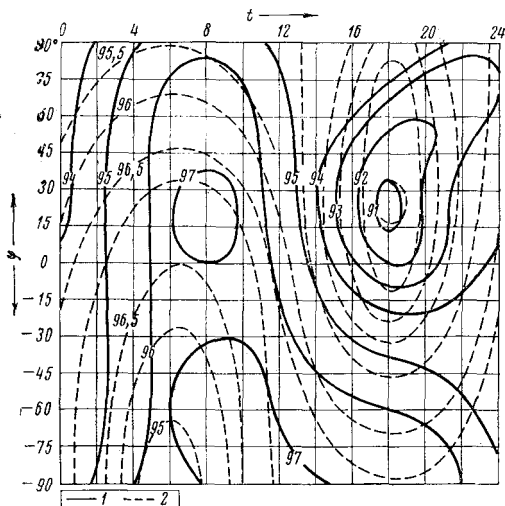


Рис. 2. Рельеф функции $h_{cp}(t, \varphi)$. Нанесены контуры постоянной высоты при ориентации антенны на восток (1) и на север (2)

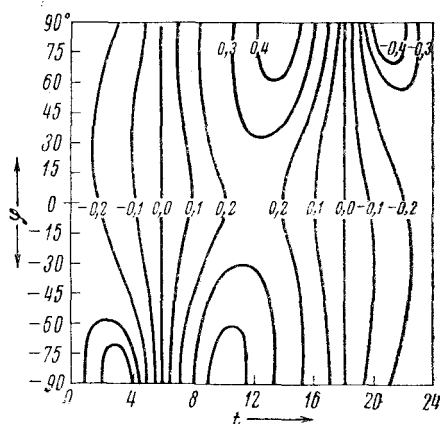


Рис. 3. Рельеф функции $\alpha_0(t, \varphi)$. Контуры постоянного смещения α_0 нанесены для случая ориентации антенны на север

в первую очередь, возможные вариации смещения, поскольку последние, особенно при интерпретации разноширотных наблюдений, могут быть припаяты за вариации метеорологического параметра. Поэтому представляется важным иметь в составе глобальной метеорологической сети не менее трех станций, расположенных на экваторе и на средних широтах северного и южного полушарий, подобных комплексу МАРС⁽⁶⁾, для получения оценок распределения параметров радиантов метеоров с целью оперативной коррекции функций смещения координат отражающих точек на следе.

Харьковский институт
радиоэлектроники

Поступило
19 VI 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. Б. Бабаджанов, Б. Л. Кашеев и др., Радиометеорные исследования циркуляции верхней атмосферы, Душанбе, «Дониш», 1974. ² Б. Л. Кашеев, Н. В. Новоселова, Астрономический циркуляр, № 776, М., 1973, стр. 1. ³ В. В. Федьинский, Б. Л. Кашеев, В. А. Нечитайленко, ДАН, т. 203, № 5, 1047 (1972). ⁴ Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединцев, М. Ф. Лагутин, Метеорные явления в атмосфере Земли, М., «Наука», 1967. ⁵ Ю. А. Полляк, Вероятностное моделирование на ЭВМ, М., «Сов. радио», 1970. ⁶ Ф. М. Гольцман, Статистические модели интерпретации, М., «Наука», 1971.