УДК 551.590 : 621.396.96

И. Е. АНТИПОВ, д-р техн. наук, А. И. ШКАРЛЕТ, НАБИЛЬ ОДЭ ИМНЕХИР

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТЕОРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИЧИН ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Серьёзную обеспокоенность и внимание в последние десятилетия вызывает проблема глобального потепления климата на Земле, которое происходит буквально на глазах. На основании известных публикаций рассмотрим кратко существующие гипотезы, объясняющие это явление.

Как показывают результаты наблюдений, сам факт повышения глобальной температуры на Земле примерно на 1 ^{0}С за более чем сто лет наблюдений является бесспорным. В отдельных районах планеты это повышение составило 6 ^{0}С и более.

Проводя анализ «тонкой структуры» климатических изменений за последние 130 лет, авторы [1] приходят к выводу, что происходившие в отдельные десятилетия этого периода времени похолодания в 1910-1945 и 1975-1998 не соответствуют постоянно нараставшему выбросу в атмосферу парниковых газов. Это позволяет утверждать, что антропогенное воздействие на климат является далеко не определяющим, и, по крайней мере, не единственным.

Изменения солнечного излучений за указанные период составляет ±1 Вт/м^2, что в относительных единицах составляет менее 0,1 %. Такими вариациями солнечной активности можно объяснить изменения температуры на поверхности Земли на ±0,05 ^{0}С [1]. Аналогичное выводы сделаны в [2], где также показывается незначительность влияние изменений светового солнечного излучения на температуру Земли.

Таким образом, многие авторы приходят к выводу, что происходящие климатические изменения нельзя объяснить ни прямым влиянием солнечной активности, ни деятельностью человека.

По мнению авторов [1], основной причиной изменения климата на Земле является изменение отражающей способности (альбедо) земной атмосферы. Чем больше отражающая способность, тем холоднее на поверхности Земли. Отражающая способность, в свою очередь, напрямую зависит от концентрации пыли в атмосфере. Выявленная корреляция между извержениями вулканов, которые выбрасывали в атмосферу большое количество пыли, и локальными похолоданиями, позволяет утверждать, что запылённость атмосферы и является основной причиной климатических изменений. Но кроме земных источников пыли (вулканических и промышленных выбросов), существует ещё космический источник. Ежедневно в атмосферу Земли попадает по разным оценкам 500…10000 тонн метеорного вещества, причём, большая часть этой массы приходится на частицы очень небольшого размера.

Анализируя физику метеорных явлений можно сказать, что помимо отмеченного выше механизма влияния через альбедо, можно выделить ещё два.

Во-первых, как отмечается в [3], была обнаружена корреляция между метеорными потоками и интенсивными осадками, которые выпадали спустя 29...31 день после потока. Это означает, что мелкие частицы метеорной пыли могут стимулировать выпадение осадков, являясь ядрами конденсации атмосферной влаги. Правда в дальнейшем в [3] приводится ряд примеров, когда ничего подобного не наблюдалось, и даже наоборот, после прохождения метеорного потока наблюдался засушливый период. В качестве объяснения этих несоответствий можно сказать, что не все материалы, из которых состоят метеорные частицы, могут служить ядрами конденсации влаги. Кроме того, время свободного падения частиц с высоты 100 км до 10 км может составлять (по разным оценкам и для разных масс) от 20 до 50 дней. Интенсивные атмосферные вихри могут ещё больше замедлять падение частиц и разносить их над обширной территорией, снижая концентрацию и уменьшая вызываемый ими эффект.

Во-вторых, поскольку разрушения метеорной частицы сопровождается свечением и ионизацией, то в ходе этого процесса образуются ионы атмосферно воздуха, в том числе кислорода, что приводит к возникновению озона. Основная масса озона образуется значительно ниже метеорного слоя, на высоте 20...60 *км* под воздействием солнечного излучения. Метеорный механизм образования озона в атмосфере не является основным, но он не связан с ультрафиолетовым излучением Солнцем и происходит в любое время суток, поэтому нельзя исключать его влияния на процессы в атмосфере, поскольку «озон играет исключительно важную роль в тепловом балансе атмосферного газа и его циркуляции» [2].

Таким образом, существует задача определить вклад, прояснить механизмы и оценить степень влияния притока метеорного вещества на климат Земли. Эта задача может быть решена путём сопоставления информации о притоке метеорного вещества и средней температуры на Земле. Для проверки справедливости второй гипотезы необходимо принять во внимание не только глобальные, но и местные изменения в погоде (выпадение осадков и т. д.)

Двигаясь в межпланетном пространстве, Земля встречается на своем пути с частицами, с массами от долей грамма до нескольких десятков грамм, которые вторгаются в верхние слои атмосферы со скоростями 11...72 *км/с*. Движение частицы в атмосфере сопровождается её значительным нагревом, плавлением, сложным механизмом разрушения, дробления и испарения. В результате соударения испарившихся молекул с атомами и молекулами атмосферы, происходит возбуждение и ионизация образующихся атомов. Возбужденные атомы и ионы метеорного вещества излучают, при этом можно визуально наблюдать явление свечения метеорного следа. Протяжённость метеорного следа может составлять несколько десятков километров (в среднем около 15 *км.*) [4].

Метеорные следы могут отражать волны метрового диапазона, что было положено в основу радиолокационного метода их исследований. Отражённый от метеорного следа сигнал несёт в себе разнообразную информацию о характеристиках частиц и атмосферы. Так, регистрируя количество и длительность метеорных отражений, можно определить количество метеорного вещества, поступающего в атмосферу. Импульсное зондирование даёт возможность определить дальность до метеорного следа. При регистрации дифракционной картины на этапе формирования следа определяется скорость движения частицы в верхних слоях атмосферы. Измерение доплеровского сдвига частоты позволяет определить радиальную скорость дрейфа метеорного следа. Применение метода регистрации с разнесенными пунктами позволяет определять радианты орбит, применение метода регистрации с несколькими базами и использование когерентной РЛС позволяет определять координаты отражающей области [4].

На Балаклейском научном полигоне (Харьковская обл.) имеется Метеорная автоматизированная радиолокационная система (МАРС) Харьковского национального университета радиоэлектроники предназначенная для сбора информации о метеорных явлениях при решении астрономических, геофизических и прикладных задач. С помощью МАРС можно определять следующие данные о метеорных телах и атмосфере Земли: время появления метеора; координаты отражающей области метеорного следа; скорость движения метеорного тела; координаты радиантов и элементы орбит метеорных тел; распределение метеорных тел по массе; радиальную составляющую скорости ветра в метеорной зоне атмосферы; распределение радиосигналов, рассеянных метеорными следами по амплитуде и длительности.

Антенны МАРС ориентированы на восток, максимум излучения под углом 45^0 к горизонту. Уровень бокового излучения составляет - 20 *дБ*, уровень задних лепестков -40 *дБ*. Коэффициент усиления антенны 250 [4].

Автоматический угломер (АУ), который является подсистемой МАРС, предназначен для исследования динамических параметров атмосферы Земли на высотах 80...105 *км* с возможностью выявления высотной структуры ветровых движений. На рис. 1 представлена его функциональная схема. Его приёмная антенна представляет собой многошкальную измерительную систему, состоящую из пяти антенн типа волновой канал, расположенных в виде

креста (рис. 2). В точке пересечения базовых линий, ориентированных по странам света, находится общая для всех баз антенна.

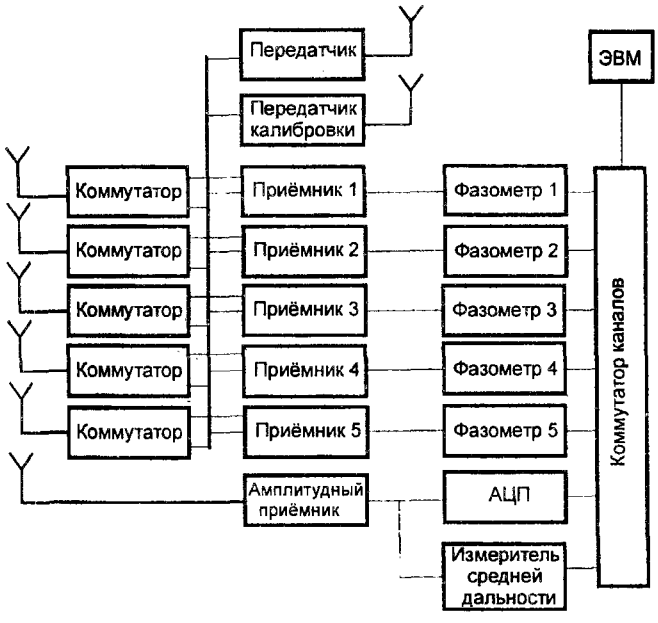

Рис. 1

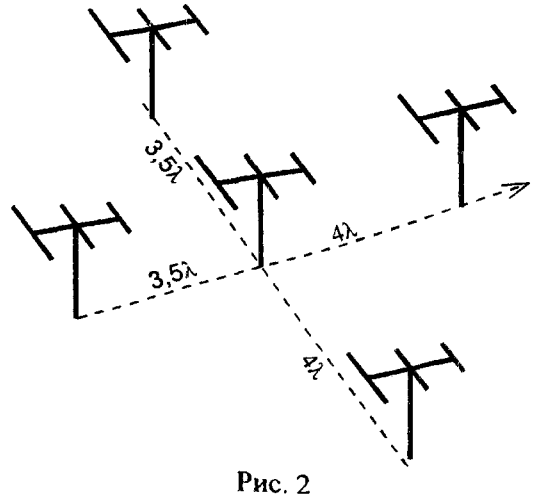

Рис. 2

В [4] представлено более подробное описание и технические характеристики комплекса. Здесь отметим только, что среднеквадратическая погрешность измерения угловых координат отражающей точки метеорного следа не превышает 17 угловых минут.

Следует заметить, что измерения на комплексе МАРС непосредственно позволяют получать информацию о притоке метеорного вещества только в сравнительно небольшой зоне земной атмосферы, ограниченной его диаграммой направленности. Для пересчёта полученных данных на всю земную поверхность необходимо воспользоваться моделью, которая уже была разработана для прогнозирования метеорного распространения радиоволн [5] и впоследствии применялась для моделирования случайных характеристик метеорного радиоканала [6]. Модель должна быть дополнена характеристиками комплекса МАРС, которые определяют так называемые коэффициенты замечаемости для разных радиантов. Эти коэффициенты учитывают то обстоятельство, что метеоры из разных радиантов по-разному ориентированы относительно ДН комплекса, поэтому весовой вклад каждого зарегистрированного метеора в рассчитываемую активность радианта будет разным. Укрупнённый алгоритм работы модели показан на рис.3. Для решения поставленной задачи информация об активности того или иного радианта важна лишь потому, что она впоследствии позволит оценить количество частиц, выпадающих по всей поверхности Земли (по крайней мере, в её Северном полушарии). Оценка масс и плотностей частиц может быть осуществлена с использованием общепринятых законов их распределения [5]. Располагая данными об активности радиантов для каждого интервала времени с дискретностью в несколько суток, можно найти среднее количество метеорного вещества, выпадающего в указанный интервал времени в том или ином районе планеты и в дальнейшем сопоставить с данными погоде в этом районе.

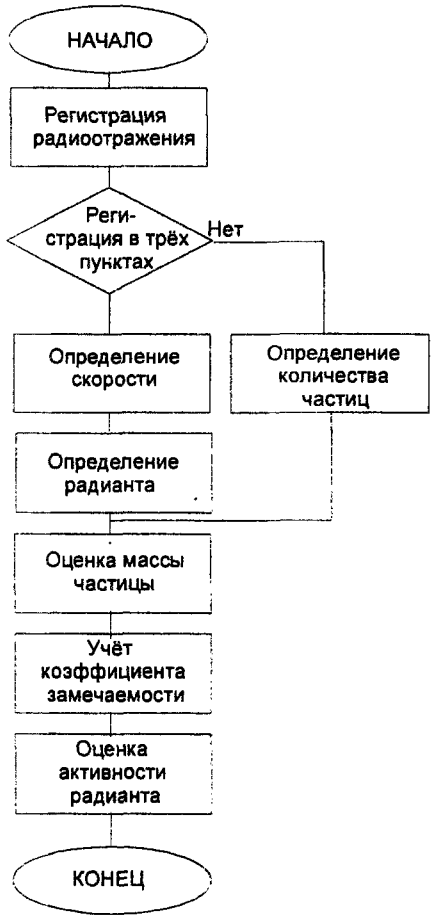

Рис. 3

Для сопоставления могут быть также использованы архивные данные. На протяжении многих лет на комплексе МАРС проводились непрерывные наблюдения, результаты которых фиксировались на фотоплёнку. В условиях отсутствия быстродействующих ЭВМ это был единственный способ записи большого объёма графической информации. В ходе измерений в 1968-1977 гг. было зарегистрировано несколько сотен тысяч метеорных радиоотражений. Для дальнейшей обработки и составления каталога орбит использовались только те из них, которые регистрировались одновременно в трёх пунктах и формировали чёткие амплитудно-временные характеристики (АВХ), как показано на рис. 4. Это позволяло определить скорость частицы и выполнить все дальнейшие действия согласно алгоритму. Таких радиоотражений было всего несколько процентов от общего количества. Остальные наблюдавшиеся метеоры не учитывались и не обрабатывались.

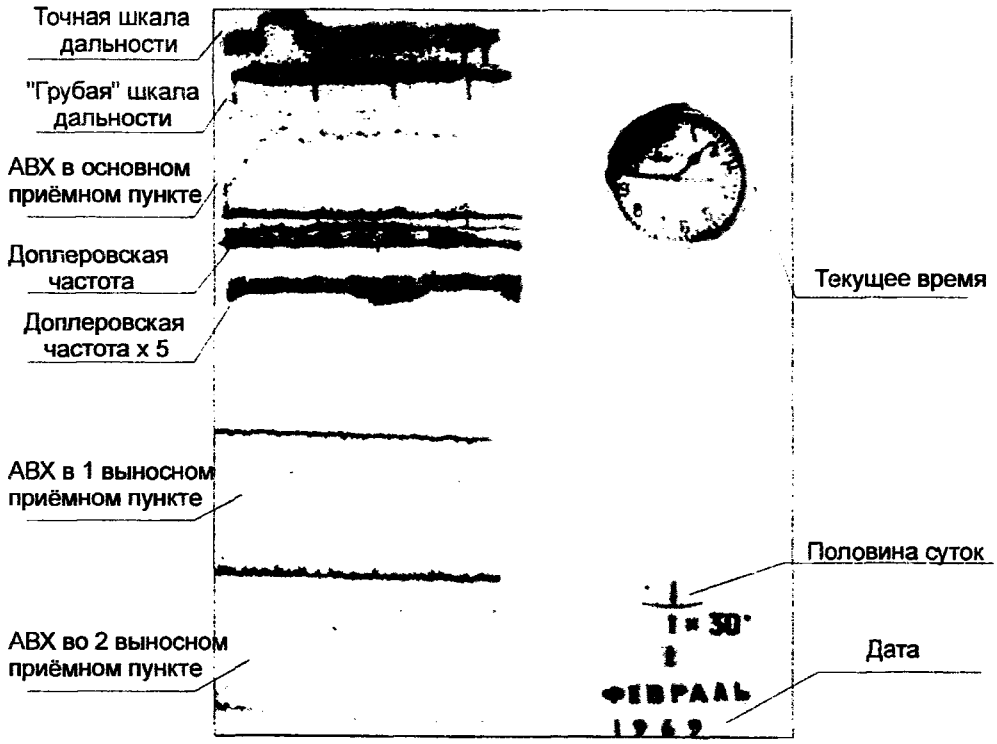

Рис. 4

Для оценки притока метеорного вещества предлагается использовать все зарегистрированные радиоотражения, полагая, что их неизвестные характеристики (скорость и направление движения) соответствуют характеристикам частиц, для которых эти параметры удалось

определить в течение определённого временного интервала (часа). Для такого анализа должно быть предварительно осуществлено преобразование в цифровую форму и распознавание фотографических изображений АВХ и вспомогательной информации. На рис.4 показан пример одного фотоснимка с указанием изображённых на нём элементов.

Для наблюдения скорости метеорной частицы используют радиолокационные станции, которые состоят из выносного пункта, передающей антенны и приёмной антенны ретрансляторов. Каждый выносной пункт имеет одну приёмную антенну (f_0 = 31,1 *МГц*) и одну антенну для ретрансляции (f = 90 *МГц*). Комплекс МАРС работал с периодом повторения импульсов $T_п$ = 2 *мс* (F = 500 *Гц*), а каждый 5-й импульс был сдвоенным. Оценка погрешности наклонной дальности при считывании показаний с электронно-лучевого индикатора дальности приняты исследователями при наблюдениях как $\Delta R = \pm 1$ *км*.

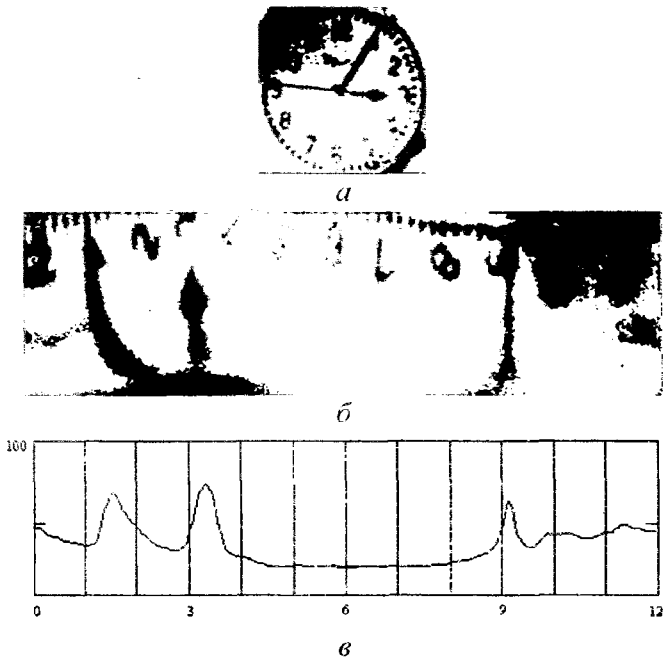

Рис. 5

Для обработки изображения применяется разработанная авторами методика, основанная на поэтапном выделении нужного элемента, преобразования его в удобную для анализа форму и определении содержащейся в нём информации. Например, для автоматического распознавания времени по фотографии часов используется: а) совмещение шаблона часов (без стрелок) с их изображением на снимке; б) преобразование системы координат; в) преобразование линий стрелок, г) определение их положения. Отдельные этапы преобразования показаны на рис. 5.

Таким образом, в работе проанализированы существующие гипотезы о причинах изменения климата на Земле и предложен путь проверки метеорных гипотез с использованием имеющейся в ХНУРЭ Метеорной автоматизированной радиолокационной системы. Представлены технические характеристики и возможности этой системы, предложен алгоритм обработки результатов наблюдений, в том числе архивных.

Список литературы: 1. *Ермаков В. И., Охлопков В. П., Стожков Ю. И.* Влияние пыли космического происхождения на облачность, альбедо и климат Земли // Вестник Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 2007 № 5. С. 41 – 45. 2. *Мизун Ю. Г.* Космос и погода. – М.: Наука, 1986. – 143 с. 3. *МакКинли Д.* Методы метеорной астрономии. – М.: Мир, 1964. – 383 с. 4. *Антипов И. Е., Костыря А. А., Шкарлет А. И.* Современные средства и методы радиолокационных метеорных исследований // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 160. – С. 39-46. 5. *Антипов И. Е.* Оптимизация ориентации диаграмм направленности антенн метеорных радиотехнических систем с целью повышения их пропускной способности в условиях коротких трасс: Дис. … канд. техн. наук. – Харьков, 1996. – 144 с. 6. *Антипов И. Е., Костыря А. А., Шернин М. А.* Моделирование характеристик метеорного радиоканала для формирования случайных числовых последовательностей // Радиотехника: Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 161. – С. 82-86.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 10.02.2011