

*И. Е. АНТИПОВ, канд. техн. наук, Г. В. НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук,
Ю. А. КОВАЛЬ, д-р. техн. наук*

О ВОЗМОЖНОСТИ ПАССИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ

В атмосфере Земли на высоте 80...110 км регулярно возникают метеорные следы, представляющие собой плазменные образования длиной несколько километров и диаметром несколько метров. Они формируются в течение нескольких миллисекунд в результате вторжения в атмосферу мелких космических частиц и существуют до нескольких секунд [1, 2].

Способность метеорных следов отражать радиоволны метрового диапазона позволяет использовать их для метеорной радиосвязи на расстояния до 2000 км, высокоточного сличения шкал эталонов времени, а также для изучения геофизических явлений в атмосфере [1, 2].

С начала пятидесятых годов в исследовательских целях используются активные локаторы, содержащие в своём составе приёмники и передатчики большой мощности. Примерами таких локаторов могут служить ВЕТА («Ветровой Автомат») и МАРС («Многофункциональная автоматизированная радиолокационная система») Харьковского национального университета радиоэлектроники [2].

Комплекс ВЕТА предназначен для изучения циркуляции атмосферы на высоте 80...100 км. Антенны – пятиэлементные волновые каналы. Ширина диаграммы направленности (ДН) антенны в азимутальной плоскости 54° , в угломестной 26° , угол подъема главного лепестка 30° , мощность передатчика составляет 30 кВт, рабочая частота 36,9 МГц [3, 4].

Комплекс МАРС предназначен для исследования метеорных явлений. Его антенны ориентированы на восток, максимум излучения направлен под углом 45° к горизонту. Коэффициент усиления антенны 250, мощность передатчика 1 МВт, рабочая частота 31,1 МГц [5]. Изменение ориентации ДН антенн не предусмотрено, но благодаря суточному вращению Земли и её орбитальному движению вокруг Солнца, в течение года в максимум ДН попадают различные области небесной сферы.

Результаты, полученные с использованием активных локаторов, представляют большой научный интерес. На основании данных, полученных на комплексе МАРС, было получено более 250 тысяч орбит метеорных тел, а также разработана модель для расчёта коэффициента заполнения метеорного радиоканала в условиях коротких трасс [6].

В настоящее время существует ряд задач, связанных с исследованием метеорных явлений.

1. Оценка коэффициента заполнения метеорного радиоканала для определения средней скорости передачи данных с использованием аппаратуры метеорной связи. Также может представлять интерес суточный и сезонный ход коэффициента заполнения.

2. Оценка численности метеорных следов для определения среднего количества сеансов сличения и, следовательно, информационно-энергетического потенциала канала сличения.

3. Определение скорости и направления ветра (по доплеровскому смещению частоты сигнала, отражённого от метеорного следа).

4. Определение радиантов метеорных частиц с последующей идентификацией порождающих их космических объектов и оценкой метеорной опасности.

5. Исследование некоторых свойств ионосферы как среды, влияющей на распространение радиоволн.

Из представленных выше технических характеристик метеорных локаторов видно, что их передатчики имеют значительную мощность. Вопросы электромагнитной совместимости, нежелательное воздействие излучения на биологические объекты, а также стремление оптимизировать затраты на научные исследования наводят на мысль об использовании в целях решения вышеизложенных задач сигналов уже существующих вещательных станций. Они практически непрерывно работают, причём, как правило, в густонаселённых районах. Мощности (до 50...100 кВт) и ДН антенн этих станций в ряде случаев таковы, что приём их сигналов возможен не только в пределах зоны обслуживания, радиус которой составляет,

как правило, 60...80 км, но и на расстояниях до 2000 км (за счёт отражения от метеорных следов.)

Наибольший интерес с этой точки зрения представляют телевизионные передатчики, работающие на первом и втором ТВ каналах (частоты 48,5...56,5 и 58,0...66,0 МГц), а также радиовещательные станции в I УКВ диапазоне (66,0...73,0 МГц), схематически показанные на рис. 1. Этот диапазон (40...70 МГц) наиболее благоприятен для метеорного распространения радиоволн.

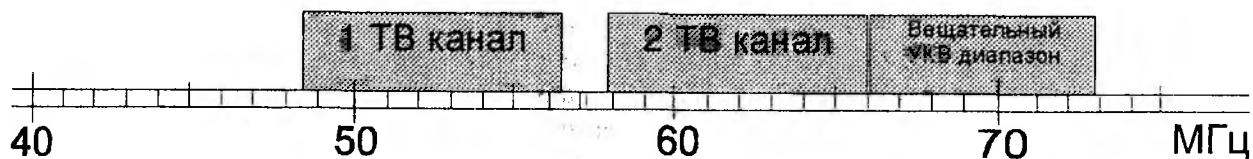


Рис. 1

ДН антенн вещательных передатчиков, как правило, формируются таким образом, чтобы их главный «лепесток», в котором сосредоточен максимум излучения, был «прижат» к земной поверхности, за счёт чего достигается максимальный радиус зоны обслуживания. С точки зрения применимости для исследовательских целей такая форма ДН также является наиболее выгодной, поскольку в этом случае часть излучаемой энергии, неизбежно проходя над горизонтом, попадает в область, в которой формируются метеорные следы, причём под углом, обеспечивающим максимальную дальность метеорного распространения (рис. 2.)

Не исключено, что в исследовательских целях можно также использовать сигналы радиолокационных станций специального назначения, работающих в метровом диапазоне.

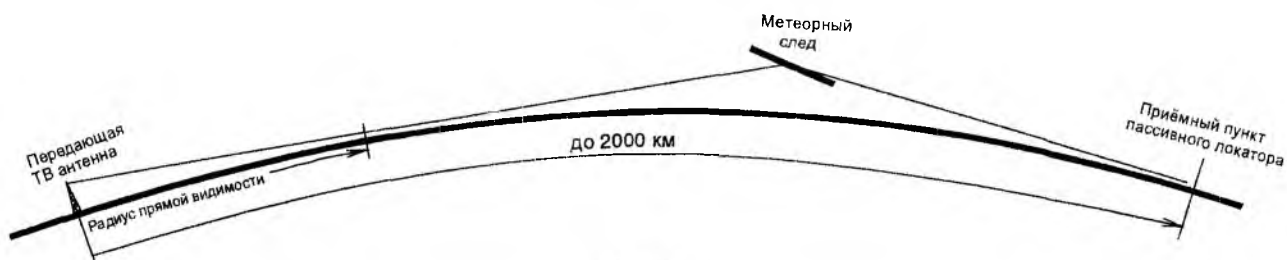


Рис. 2

Потенциальная информативность пассивного метода достаточно высока. Перечислим те характеристики метеорного радиоканала и метеорной частицы, которые могут быть найдены методами пассивной локации.

Для определения численности метеорных следов на заданной трассе достаточно провести цикл измерений, заключающийся в регистрации факта приёма сигнала удалённого радио(теле-) центра.

Для оценки коэффициента заполнения метеорного радиоканала кроме самого факта его возникновения необходимо зафиксировать как уровень принимаемого сигнала, так и время его существования.

Для оценки фазовой стабильности канала можно использовать сигналы строчной синхронизации, которые входят в состав телевизионного сигнала при условии, что они синхронизированы высокоточным хранителем времени. Отклонение интервала между синхроимпульсами от стандартного значения (64 мкс) будет характеризовать изменение времени распространения сигнала по метеорному радиоканалу.

Направление на метеорный след может быть определено фазовым методом (приём на пространственно разнесённые антенны с последующим измерением разности фаз между ними.) Расстояние между антеннами должно составлять десятки метров [7].

Для определения расстояния до следа можно применить пассивный разностно-дальномерный метод, заключающийся в приёме сигнала на пространственно разнесённые

антенны, причём расстояние между антеннами (база) в этом случае должно составлять километры [8].

Определить расстояние до следа можно и другим методом. Если кадровые и строчные синхроимпульсы ТВ сигнала «привязаны» к шкале времени того пункта, в котором формируется сигнал, то это обстоятельство может быть использовано для определения задержки распространения сигнала и, следовательно, длины трассы, что при известных угловых координатах следа позволит определить его положение в пространстве. Для этого хранитель времени приёмного пункта должен иметь известный и стабильный сдвиг шкалы времени относительно шкалы передающего пункта [7].

Использование метода разнесённого синхронного приёма даёт возможность определить координаты более чем одной точки метеорного следа, на основании чего могут быть найдены горизонтальные координаты радианта.

По амплитудно-временной характеристике, отображающей дифракционную картину на этапе формирования следа, зафиксированной в каком-либо из приёмных пунктов, возможно определение скорости порождающей частицы. По известной скорости частицы и горизонтальным координатам радианта могут быть найдены его гелиоцентрические координаты.

Самое главное преимущество пассивного метода по сравнению с активным – отсутствие специального передатчика, что значительно упрощает проведение исследований как технически, так и организационно. Значительно упрощается оборудование, не требуются передающая антенна или антенный коммутатор, не требуется специального разрешения контролирующих органов, значительно снижаются эксплуатационные расходы. Отсутствует вредное воздействие на окружающую среду (реальное или мнимое) и, следовательно, воздействие на население и обеспокоенные таким воздействием организации.

Следует добавить, что пассивная локация позволяет исследовать различные трассы, не перемещая приёмное оборудование. Достаточно переориентировать антенны на другой передающий центр.

На этом преимущества пассивного метода заканчиваются и возникает ряд вопросов, которые и побудили авторов написать данную статью. Некоторые из этих вопросов могут представлять собой тему отдельного научного исследования.

Во-первых, не очевидны и требуют выяснения точные географические координаты, рабочие частоты и мощности передатчиков, форма ДН и высоты установки антенн наиболее мощных ТВ и радиовещательных станций, а также режим их работы и передаваемые ими программы. Эта информация хоть и не является конфиденциальной, но для её сбора могут потребоваться значительное время и ресурсы. Если приёмный пункт будет размещён в Харьковской области, то потенциальными источниками сигналов для исследовательских целей могут служить передающие центры, расположенные в пределах от Архангельска и Стокгольма на севере до Дамаска и Багдада на юге, от Рима и Берлина на западе до Екатеринбурга на востоке.

Во-вторых, в радиусе прямой видимости от приёмного пункта могут располагаться радиоэлектронные средства, которые на законных основаниях работают в полосе частот, принимаемых в исследовательских целях. При наличии местных мешающих сигналов приём удалённых станций может оказаться невозможным. По этой причине необходимо выбирать место для размещения исследовательского приёмного пункта с учётом электромагнитной обстановки в нём.

В третьих, в радиусе до 2000 км от приёмного пункта может располагаться не один, а несколько передатчиков, работающих на одной и той же частоте и даже передающих одну и ту же программу. Сигнал опознавания телецентра, который должен включаться в 19 строку ТВ сигнала, включается в неё далеко не всеми телецентрами. Кроме того, даже если этот сигнал присутствует в указанной строке, нет уверенности, что в течение времени существования метеорного следа он будет принят и распознан. Это влечёт необходимость пространственной селекции при приёме.

Значительные сложности могут возникать в тех случаях, когда при обработке «чужого» сигнала, принятого по метеорному радиоканалу, требуется информация об опорном сигнале. Причём немодулированная несущая частота в сигналах радиовещательных станций присут-

ствует только в коротких паузах между речевыми (музыкальными) фонограммами. Основное время их сигнал модулирован по сложному закону.

В ряде случаев в качестве опорного можно использовать сигнал той же вещательной станции, принимаемый приземной волной на отдельную антенну (рис. 3). В этом случае требуется специальное устройство, осуществляющее адаптивную компенсацию сигнала приземной волны в антенне, предназначенной для приёма метеорного сигнала.

Получение опорного сигнала возможно также путём его приёма по отдельному каналу (например, от другой вещательной станции, ретранслирующей ту же программу). Однако в этом случае возникает вопрос о характеристиках этого канала и стабильности этих характеристик.

Необходимо отметить, что попытки использования существующих вещательных станций для исследования метеорных явлений уже предпринимаются. Существует Global-MS-Network – Глобальная сеть метеорных станций, работающая в интересах Национального космического агентства США, но её функция ограничивается только учётом численности метеорных следов, главным образом в астрономических целях. [9, 10]. В качестве источников сигналов для Глобальной сети метеорных станций используются радиовещательные передатчики и передатчики специального назначения, находящиеся в Финляндии, Австрии, Бельгии, Японии, Бразилии, Австралии, ЮАР и Новой Зеландии и работающие в диапазоне частот от 53 до 107 МГц как с частотной, так и с однополосной амплитудной модуляцией.

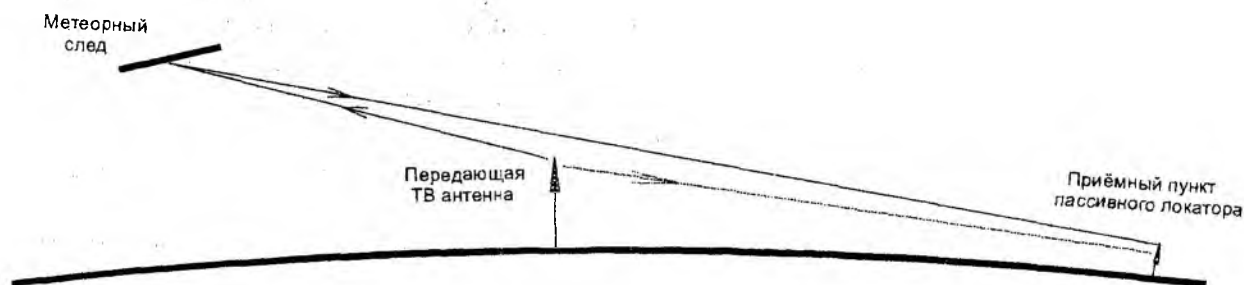


Рис. 3

Таким образом, из перечня тех вопросов, которые могут быть решены методом пассивной локализации метеорных следов и тех технических трудностей, с которыми связано их решение видно, что исследование пассивной локализации является серьёзной научной задачей, заслуживающей глубокого изучения.

Список литературы: 1. Б. Л. Кашеев, Б.Г. Бондарь, В.И. Горбач, Ю.А. Коваль. *Метеоры сегодня*. – Киев: Техніка. 1996. – 196 с. 2. *Дистанционные методы исследования процессов в атмосфере Земли* / Под общ. ред. Б. Л. Кашеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. Харьков: Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники, Бизнес Информ, 2002. 416 с. 3. Олейников А. Н., Лизогуб В. В. *Аппаратура для радионаблюдений дрейфа метеорных следов Харьковского института радиоэлектроники* // Глобальная система метеорных наблюдений. М.: 1987. С. 23 – 31. 4. Б. Л. Кашеев, Г. Д. Крутоголов, В. В. Лизогуб, В. А. Нечитайленко *Автоматическая метеорная РЛС для исследования циркуляции атмосферы* // *Кометы и метеоры*, Душанбе: «Дониш». 1976, N 24, С. 3 – 18. 5. Ю. И. Волощук, А. А. Ткачук *Имитационное моделирование метеорных явлений* // *Метеорные исследования*. 1977, N 4. С. 103 – 116. 6. И. Е. Антипов *Оптимизация ориентации диаграмм направленности антенн метеорных радиотехнических систем с целью повышения их пропускной способности в условиях коротких трасс*. Дисс... канд. техн. наук. Харьков, 1996. 144 с. 6. Б. Л. Кашеев, В. В. Жуков *Автоматический угломер*. Сообщение 1. Принципы построения / *Радиотехника*. Вып. 47. Харьков, 1978. С. 3 – 9. 7. Пат. 37929 Украина, А G 04 G7/02 / И. Е. Антипов, Ю. О. Коваль, Г. В. Нестеренко та ін.; ХДГУРЕ. Оп 15.05.01., Бюл N 4. 8. Пат. 54198 Украина, А G 04 G7/02 / И. Е. Антипов, В. В. Бавикіна, Ю. О. Коваль, Г. В. Нестеренко; ХНУРЕ. Оп 17.02.03., Бюл N 2. 9. P. Jenniskens, 1996, *Meteor Stream Activity*. III. The first in a new series of Leonid outbursts, *Meteoritics and Planetary Science*, P. 177 – 184. 10. P. Jenniskens, 1996, A second Leonid outburst in 1995, *WGN the Journal of IMO* 23, P. 198 – 200.