

А. Н. ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, Д. М. СОСНОВЧИК, канд. техн. наук,
Ю. В. ЛЫКОВ, В. Д. КУКУШ, С. А. МАКОВЕЦКИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МЕТЕОРНОЙ ЗОНЕ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Введение

В настоящее время радиометеорный метод исследования процессов в атмосфере Земли востребован во многих международных научных программах. Наиболее известными из них являются Международные Геофизический и Гелиофизический Годы, Coupling Energetics and Dynamics of Atmospheric Region (CEDAR), Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES), и др. Интерес представляют как сами метеорные явления, так и использование их для решения ряда прикладных задач. Например, наблюдение метеорных явлений необходимо для оценки орбит объектов «Near Earth Orbit» (NEOs) - астероидов и других космических объектов, которые могут столкнуться с Землей и вызвать катастрофу глобального масштаба. [1, 2]. Также метеорные явления используются для связи, исследования динамики метеорной зоны атмосферы Земли, сличения шкал эталонов времени и частоты и решения других прикладных задач [3-5].

Для проведения радиометеорных исследований, как правило, используются совмещенные радиолокационные комплексы, в которых радиопередающее и радиоприемное устройства расположены в одном пункте. Использование таких метеорных РЛС в настоящее время ограничено в связи с высокой стоимостью их эксплуатации. Она вызвана дорогостоящим регламентным обслуживанием радиопередающих устройств, затратами на использования радиочастотного ресурса и требованием больших расходов на потребляемую электроэнергию.

Одно из перспективных направлений, позволяющих решить задачу минимизации затрат при наблюдении метеоров, является использование сторонних радиопередатчиков в качестве источников зондирующего сигнала. Так как радиопередатчик является сторонним и расположен отдельно от приемного устройства, то такую метеорную РЛС можно назвать разнесенной. Радиопередатчики разнесенной метеорной РЛС должны иметь мощность несколько киловатт и излучать сигнал в диапазоне частот от 30 до 100 МГц. Такими радиопередатчиками являются некоторые радио- и телевизионные (ТВ) вещательных станции [6]. Разнесенная метеорная РЛС может использовать в качестве зондирующих сигналы, излучаемые близко расположенными радиопередатчиками (распространение зондирующего сигнала «назад») либо сигналы от удаленных радиопередатчиков (распространение зондирующего сигнала «вперед») (рис. 1) [7].

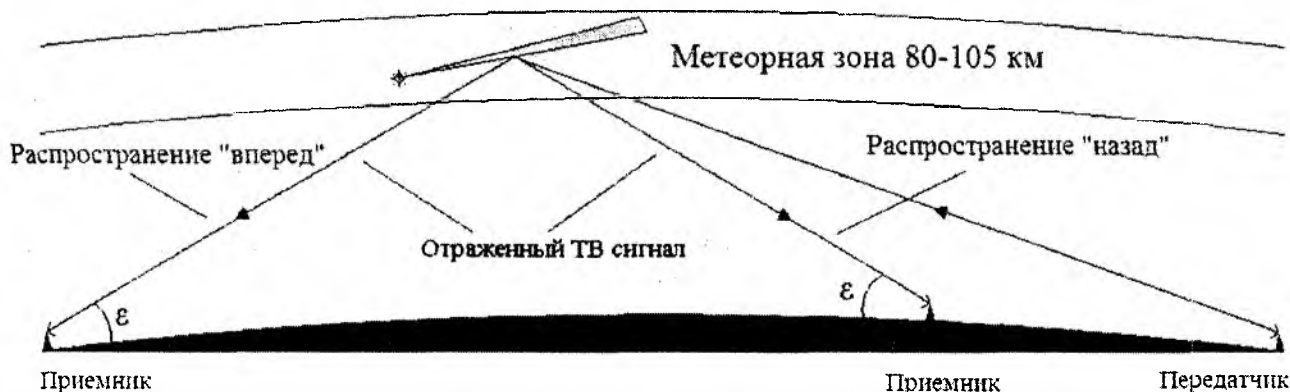


Рис. 1

Некоторые варианты использования сигналов телевизионного вещания для исследования процессов в метеорной зоне атмосферы Земли

Разнесенными метеорными РЛС могут быть решены следующие задачи при использовании сигналов ТВ вещания в качестве зондирующих: исследование метеорной активности и характеристик трасс метеорного радиоканала (МРК); исследование притока метеорного вещества в атмосферу Земли и определение орбит объектов NEOs; исследование динамических явлений в метеорной зоне атмосферы Земли.

Для исследования метеорной активности разнесенная метеорная РЛС должна обеспечить только обнаружение метеора без дополнительного определения его параметров. Такая система способна также определять характеристики трассы МРК. Для этого необходимо дополнительно проводить построение амплитудно-временной характеристики (АВХ) отраженного от метеорного следа телевизионного сигнала [7-9].

Для исследования притока метеорного вещества в атмосферу Земли и определение орбит объектов NEOs разнесенная метеорная РЛС должна обеспечить: обнаружение метеора одновременно в трех разнесенных пунктах, измерение временных задержек дифракционных вариаций АВХ отраженного от метеорного следа сигнала в каждом из выносных пунктов относительно базового. По результатам этих измерений возможно определение радиантов индивидуальных метеоров [10, 11].

Для исследования динамики метеорной зоны разнесенная метеорная РЛС должна обеспечить: обнаружение метеора, определение скорости дрейфа метеорного следа. Исследование тонкой структуры ветровых движений требует так же измерения пространственных координат метеора (его дальности, угла места и азимута). По результатам этих измерений возможно определять высотный профиль ветровых движений в метеорной зоне атмосферы Земли [12].

Выбор источника телевизионного сигнала для исследования процессов в метеорной зоне атмосферы Земли

Погрешность измерения любого из параметров метеора определяется отношением С/Ш для зондирующего сигнала, отраженного от метеорного следа. Отношение С/Ш в разнесенных метеорных РЛС определяется взаимным расположением приемного устройства и источника зондирующего сигнала, мощностью этого источника, типом диаграммы направленности приемной и передающей антенн и другими факторами [13]. Для выбора подходящего источника зондирующего сигнала для разнесенной радиолокации метеоров разработана специальная методика [14]. Данная методика включает:

- 1) экспериментальное определение частот, на которых отсутствуют помехи от близко расположенных вещательных станций в точке приема;
- 2) поиск источников радиоизлучения с мощностью более 20 кВт , находящихся на расстоянии до 1000 км от точки приема и излучающих сигнал в диапазоне частот от 30 до 100 МГц (для этого можно воспользоваться электронным ресурсом [15]);
- 3) расчет оценочного критерия, по которому определяется наиболее пригодный источник зондирующего сигнала для радиолокации метеорных следов [14]. В качестве этого критерия рассчитывается отношение С/Ш – отношение амплитуды сигнала, пришедшего от конкретной ТВ/радио станции в точку приема по трассе МРК к эффективной амплитуде шума в точке приема.

К примеру, в соответствии с данной методикой для Харьковской области выбрано более 20 радиоисточников, которые могут быть использованы в качестве источников зондирующего сигнала для метеорной радиолокации [14]. На рис. 2 показана карта с нанесенными телевизионными вещательными станциями, которые находятся на расстоянии до 1000 км от г. Харькова и излучают сигналы мощностью более 20 кВт в диапазоне частот I и II телевизионных каналов ($49,75$ и $59,25 \text{ МГц}$);

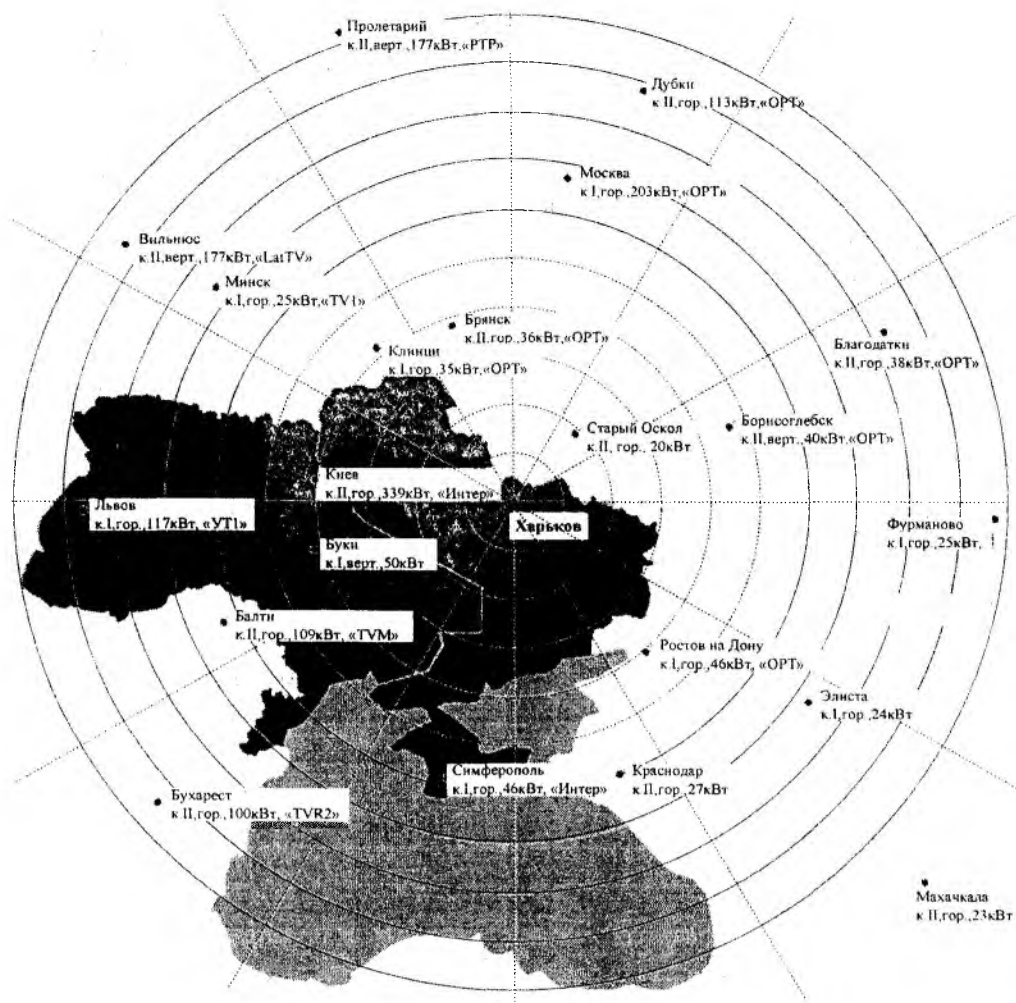


Рис. 2

Обнаружение метеорных следов по сигналам телевизионного вещания

По своей структуре ТВ-сигнал можно представить в виде случайной и детерминированной составляющих. К случайной составляющей ТВ-сигнала относится сигнал яркости полного ТВ сигнала, который зависит от передаваемого видеоизображения. К детерминированной составляющей ТВ сигнала относятся служебные сигналы, которые строго определены по ГОСТ 7845-92. Это последовательность кадровых и строчных синхроимпульсов (КСИ и ССИ), эталонные сигналы частоты и времени (ЭСЧВ) и др.

Задача обнаружения отраженного от метеорного следа ТВ сигнала осложнена из-за того, что помимо отражения от метеорных следов прием ТВ сигналов возможен также за счет механизмов ионосферного и тропосферного распространения радиоволн [16, 17]. На трассе МРК могут наблюдаться явления многолучевого распространения ТВ радиосигнала. Все это усложняет решение задачи обнаружения сигналов, отраженных от метеорных следов.

Для обнаружения сигналов, отраженных от метеорных следов, могут использоваться следующие критерии [18]:

- наличие дифракционных вариаций АВХ;
- экспоненциальное убывание АВХ (для ненасыщенных следов);
- практически линейное изменение фазо-временной характеристики (ФВХ) с малыми дифракционными вариациями;
- резкое изменение (увеличение градиента) фазы отраженного сигнала на «подлете» метеорной частицы и при разрушении метеорного следа.

Как видно из приведенных критериев, обнаружение сигнала, отраженного от метеорного следа, выполняется по АВХ принятого сигнала.

Для нахождения АВХ пригодными являются только детерминированные составляющие ТВ сигнала, из которых возможно использовать несущую частоту, кадровые и строчные синхроимпульсы в ТВ радиосигнале.

Отражение ТВ-сигнала от метеорного следа, можно рассмотреть как амплитудную модуляцию ТВ-сигнала медленно изменяющимся сигналом в виде АВХ метеорного следа. В этом случае спектр отраженного от метеорного следа ТВ-сигнала также можно считать амплитудно-модулированным. Далее, используя при приеме ТВ-сигнала радиоприемное устройство для амплитудно-модулированных колебаний и измеряя величины гармоник ССИ или КСИ на выходе амплитудного детектора, можно восстановить вид модулирующего колебания, т.е. найти АВХ сигнала, отраженного от метеорного следа [7].

Приемлемым вариантом получения АВХ является использование строчных синхроимпульсов (ССИ), период повторения которых равен 64 мкс. В этом случае за время существования метеорного следа будет принято около 1,5 – 3 тыс. импульсов.

Определение радиантов индивидуальных метеоров по сигналам телевизионного вещания

Для определения радианта индивидуальных метеоров может использоваться многопозиционная разнесенная метеорная РЛС (рис. 3). Здесь T – источник зондирующего сигнала; приемное устройство этой РЛС состоит из трех пунктов: основного O и двух выносных – A и B ; M_0, M_0' – точки зеркального отражения на метеорном следе.

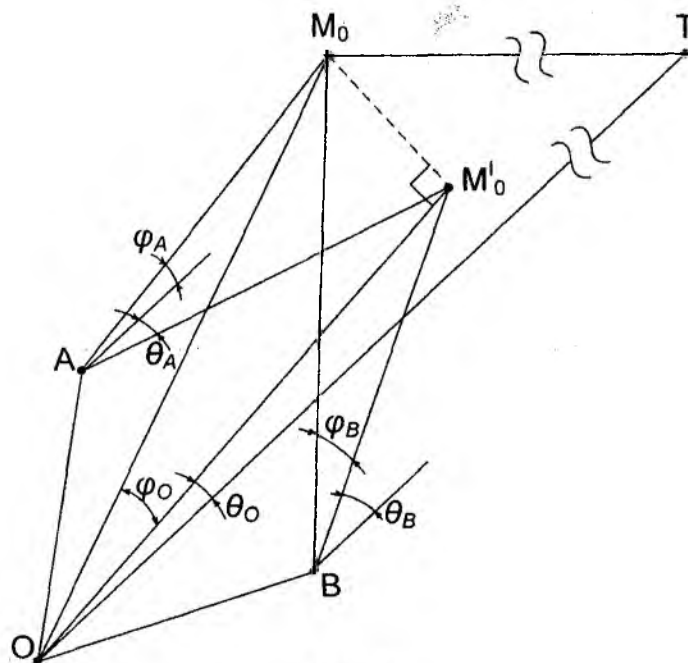


Рис. 3

Азимут радианта определяется: временными сдвигами дифракционных вариаций АВХ сигналов, принятых в выносных пунктах A и B относительно основного пункта O ; расстояниями OA и OB ; углами между направлением из основного пункта на точку севера и базами OA и OB (ϕ_A и ϕ_B) [11]

Определение высоты отражающей области метеорного следа по сигналам телевизионного вещания

Для определения высоты отражающей области метеорного следа необходимо измерить угол места отражающей области метеорного следа и время распространения зондирующего ТВ сигнала по трассе МРК от передатчика к приемнику разнесенной метеорной РЛС (для дальнейшего расчета наклонной дальности).

Определение времени распространения сигнала от передатчика к приемнику возможно при использовании эталонных сигналов частоты и времени (ЭСЧВ) ТВ радиосигнала. Характерная точка ЭСЧВ совмещена с метками шкалы всемирного координированного времени UTC с погрешностью не более 1 мкс, что вызовет погрешность определения наклонной дальности не более 300 м.

Необходимым условием определения времени распространения зондирующего сигнала является восстановление момента излучения сигнала ЭСЧВ в пункте приема. Для этого необходимо использовать навигационные системы (GPS, ГЛОНАСС) для синхронизации собственного высокостабильного синхрогенератора. Этот синхрогенератор предназначен для имитирования моментов излучения ЭСЧВ ТВ сигнала в точке приема. В результате этого временной сдвиг между ЭСЧВ отраженного от метеорного следа ТВ сигнала и тактами синхрогенератора будет соответствовать времени распространения этого сигнала по трассе МРК [12].

При распространении зондирующего сигнала «вперед» поверхность погрешности определения высоты имеет области минимальных значений, которые расположены по бокам от прямой приемник-передатчик. В случае распространения сигнала «назад» поверхность погрешности определения высоты имеет вид концентрических окружностей, с возрастающей величиной погрешности при удалении от приемника [12].

Определение скорости дрейфа метеорного следа по сигналам телевизионного вещания

В метеорной радиолокации для измерения скорости дрейфа метеорного следа используется эффект Доплера. При измерении определяется величина смещения частоты отраженного от метеорного следа сигнала относительно частоты излучаемого зондирующего сигнала. Это смещение («доплеровское смещение частоты») пропорционально радиальной составляющей скорости дрейфа метеорного следа, т. е. проекции истинного вектора скорости ветра на направление зондирования метеорной РЛС.

При использовании сигналов ТВ вещания в разнесенных метеорных РЛС возникает сложность проведения подобных измерений. Это вызвано тем, что несущая частота ТВ сигнала не обладает необходимой для измерения долговременной стабильностью.

Поэтому возможны следующие способы измерения смещения частоты отраженного от метеорного следа ТВ сигнала:

1) установить опорный генератор несущей частоты изображения с нестабильностью не хуже 10^{-8} на передатчике телевизионного сигнала и определять смещение частоты несущей видео изображения. При этом ожидаемая погрешность измерения скорости будет составлять 2-3 м/с;

2) использовать эталонные сигналы частоты и времени (ЭСЧВ) ТВ сигнала. Эталонные сигналы частоты передаются в виде пакетов, состоящих из 15 периодов колебания с частотой 1 МГц, нестабильность которых не превышает $2 \cdot 10^{-12}$ на интервале 1 сутки. Проведенные расчеты показали, что использование этих сигналов для нахождения скорости дрейфа метеорного следа оказывается ограниченным и может использоваться только для скоростей ветра более 150 м/с;

3) организовать дополнительный канал приема зондирующего ТВ сигнала по трассе земного радиоканала для использования его в качестве опорного сигнала [19]. Антенну, выполняющую прием зондирующих сигналов, отраженных от метеорных следов, следует экранировать от «земных» сигналов естественными или искусственными препятствиями.

Экспериментальные исследования метеорной активности по сигналам телевизионного вещания

С 1 сентября 2008г. на Балаклеевском научно-исследовательском полигоне ХНУРЭ введена в действие разнесенная метеорная радиолокационная станция (РМРЛС ХНУРЭ) для исследования метеорной активности. Режим работы станции – непрерывный круглогодичный. Структурная схема этой станции представлена на рис. 4. Источником зондирующего сигнала выбран Останкинский телецентр, который излучает телевизионный сигнал на частоте 49,75 МГц и находится на расстоянии 710 км от приемной антенны РМРЛС ХНУРЭ.



Рис. 4

Приемное устройство РМРЛС ХНУРЭ построено на базе сканирующего приемника IC-PCR100. Этот приемник работает в режиме детектирования амплитудно-модулированных колебаний. Ширина полосы пропускания тракта ПЧ приемника составляет 50 кГц. Сигнал с выхода амплитудного детектора приемника проходит дискретизацию на частоте 48 кГц и цифровую обработку по специальному алгоритму. Этот алгоритм используется для обнаружения отраженного от метеорного следа зондирующего ТВ сигнала и получения его АВХ.

Алгоритм получения отсчетов АВХ следующий. Находится спектр сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Входной буфер данных равен 1024 отсчета сигнала, что при указанной частоте дискретизации эквивалентно длительности интервала измерения 21 мс. По этим данным выделяется амплитуда 1-й гармоники периода повторения ССИ (15625 Гц). Далее производится циклический сдвиг интервала измерения на 64 отсчета (1,3 мс). На каждом шаге циклического сдвига находится спектр и амплитуда 1-й гармоники периода повторения ССИ.

Обнаружение отраженного от метеорного следа ТВ сигнала по его АВХ выполняется в несколько этапов [20]. На первом этапе каждый отсчет АВХ проверяется на превышение порогового значения. Пороговое значение динамически изменяется и вычисляется как средняя величина амплитуды первой гармоники ССИ на интервале 7 с. Далее строится АВХ принятого сигнала. После этого АВХ проверяется на наличие признаков, характерных для отраженных от метеорных следов сигналов (см. выше в разделе «Обнаружение метеорных следов по сигналам ТВ вещания»).

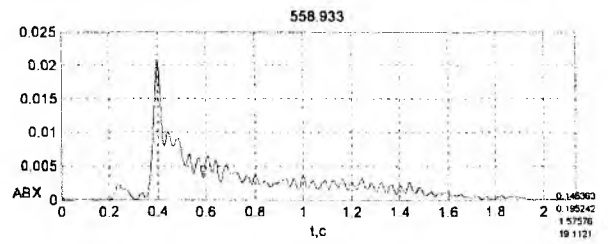
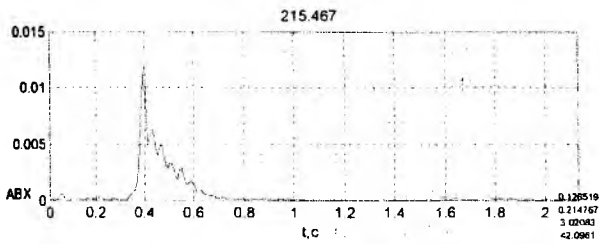
РМРЛС ХНУРЭ участвует в международной программе «Global Meteor Scatter Network» (GMSN) [21]. Она обладает существенным преимуществом по сравнению с другими метеорными станциями, которые используются в рамках программы GMSN. Преимущество заключается в том, что РМРЛС ХНУРЭ дает возможность исследовать АВХ отраженных от метеорных следов сигналов. За счет этого, кроме исследования метеорной активности, РМРЛС ХНУРЭ позволяет определять длительность и амплитуду отраженных от метеорных следов сигналов.

За годичный цикл наблюдений метеоров (01.09.2008 – 01.09.2009) с помощью РМРЛС ХНУРЭ получены следующие результаты [22]:

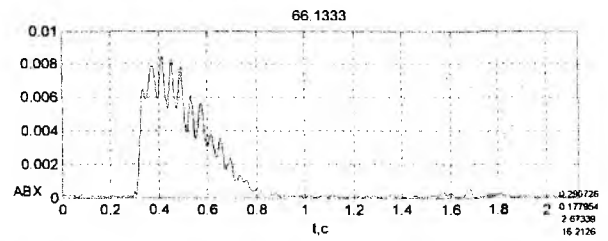
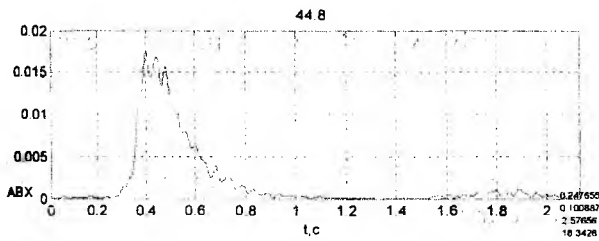
- число зафиксированных метеорных отражений – 240000;
- среднее число отражений в день – 660;
- среднее число отражений в час – 28;
- средняя длительность метеорного отражения – 0,11с.

В качестве примера на рис. 5 приведены АВХ ТВ сигналов, отраженных от различных метеорных следов: ненасыщенного, промежуточного типа и насыщенного. Приведенные АВХ сигналов, отраженных от метеорных следов, получены с 7^{05} до 7^{15} 10.12.2008.

Пример отраженного сигнала от ненасыщенного следа



Пример отраженного сигнала от следа промежуточного типа



Пример отраженного сигнала от насыщенного следа

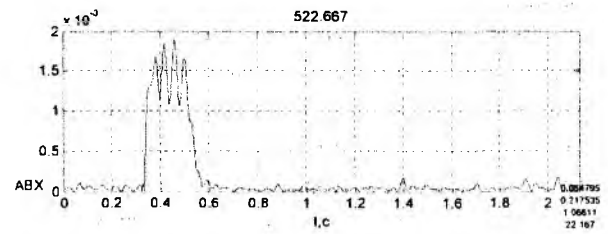
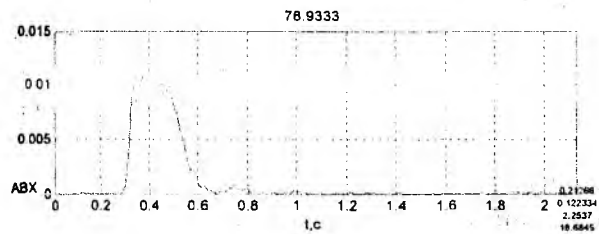


Рис. 5

Вариации среднесуточной численности метеорных отражений изображены на рис. 6. [22]. Действующие потоки, указанные на рис. 6, привязывались к локальному максимуму среднесуточной вариации численности метеорных отражений. Наименование потока выбиралось из специального каталога [23].

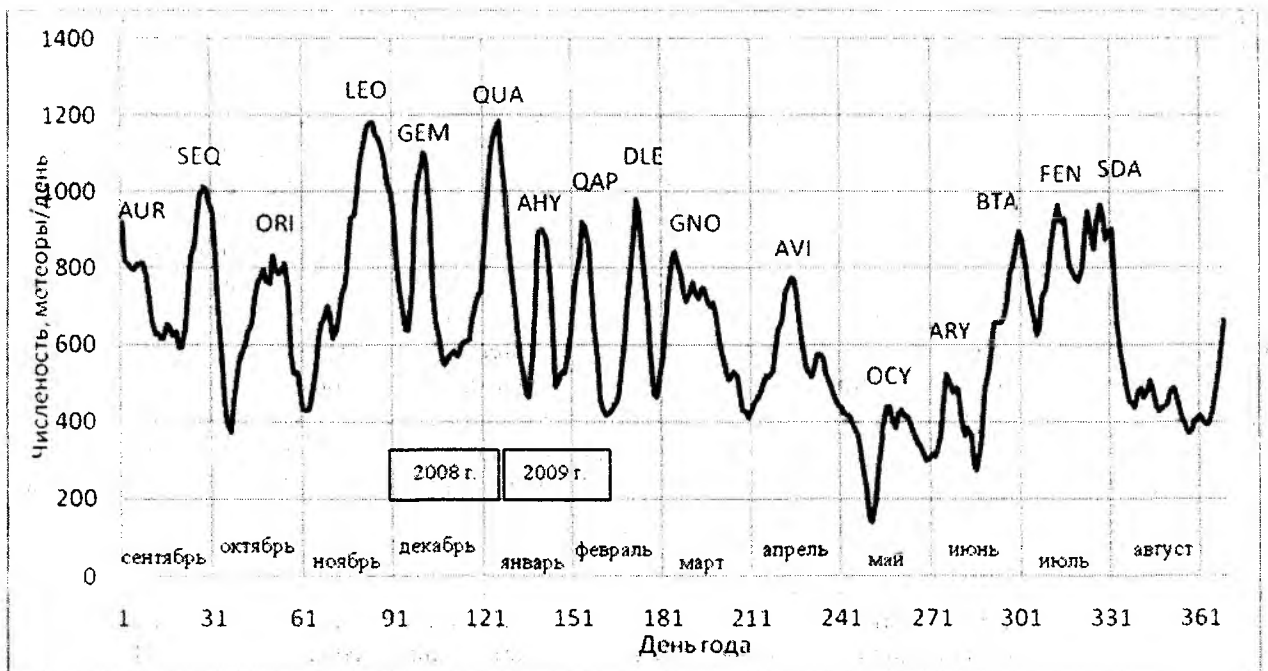


Рис. 6

Сокращения, принятые в рис.6:

AUR	Ауригиды	DLE	дельта-Леониды
SEQ	Секстантиды	GNO	гамма-Нормиды
ORI	Ориониды	AVI	альфа-Виргиниды
LEO	Леониды	OCY	омикрон-Цитиды
GEM	Гемениды	ARY	Ариетиды
QUA	Квадрантиды	BTA	бета-Тауриды
ANU	альфа-Гидриды	FEN	июльские-Фенициды
QAP	Каприкорниды	SDA	южные дельта-Аквариды

Как видно из рис. 6 за годичный цикл измерений РМРЛС ХНУРЭ практически все сильные метеорные потоки были обнаружены.

Выводы

При помощи сигналов телевизионного вещания возможно решать широкий спектр задач, связанных с исследованием процессов в метеорной зоне атмосферы Земли. Это как сравнительно простые задачи по исследованию метеорной активности, так и более сложные задачи, связанные с исследованием притока метеорного вещества и динамики метеорной зоны.

Одним из основных преимуществ систем, использующих сигналы телевизионного или радиовещания в научно-исследовательских целях, является низкая эксплуатационная стоимость таких систем. В настоящее время именно это фактор является решающим при планировании каких-либо экспериментальных исследований. Поэтому совершенствование и разработка систем, которые используют сигналы телевизионного или радиовещания в научно-исследовательских целях, дадут возможность проведения новых экспериментальных исследований метеорной зоны атмосферы Земли при выполнении престижных международных программ.

Список литературы: 1. Горелов Д. Ю., Волощук Ю. И. Усовершенствование методики учета физического фактора замечаемости при построении истинных распределений параметров радиометеоров // Радиотехника. 2006 №145 С.71-79. 2. Горелов Д. Ю., Плащенко Н. В. Вероятность столкновения гипотетических родительских тел метеорных потоков с Землей // Радиотехника. 2008. №157. С30-36. 3. *Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли* / Под общ. ред.. Б. Л. Кашеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. Харьков: ХНУРЭ; Бизнес Информ, 2002. 426 с. 4. Oleynikov A. N., Jacobi Ch., Sosnovchik D. M. Parameters of internal gravity waves in the mesosphere-lower thermosphere region derived from meteor radar wind measurements // Ann. Geophysicae. 2005. Vol. 23. P. 1-7. 5. Oleynikov A. N., Sosnovchik D. M., Kukush V. D., Jacobi Ch., Fröhlich K. Seasonal variation of space-time parameters of internal gravity waves over Kharkiv (49°30'N, 36°51'E) // Journal of atmospheric and solar – terrestrial physics. 2007. Vol. 69, p. 2257 – 2264. 6. Антипов И. Е., Бавыкина В. В., Коваль Ю. А., Нестеренко Г. В. Анализ элементов ТВ сигнала для применения в полуактивной радиолокации // Радиотехника. 2005. № 140. С. 180-184. 7. Oleynikov A. N., Sosnovchik D. M. Research of Amplitude – Time Characteristic of Television Signal Reflected From a Meteoric Trail in Spaced Radar System // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: Proceedings of the international conference TCSET'2006. Lviv, 2006. P.291–293. 8. Олейников А. Н., Сосновчик Д. М., Шкарлет А. И. Использование сигналов телевизионного вещания для исследования вариаций коэффициента заполнения метеорного канала связи // Вестник Государственного университета информационно-коммуникационных технологий. 2006. Т.4, №3. С. 143-149. 9. Лыков Ю. В., Олейников А. Н. Исследование характеристик метеорного радиоканала с использованием сторонних источников радиоизлучения // Вісник ДУІКТ 2008. Т. 6. №4. С.296. 10. Лыков Ю. В. Методика определения радианта индивидуальных метеоров в разнесенной системе метеорной радиолокации при использовании ТВ сигналов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2008. Материалы Междунар. Науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Севастополь: СЕВНТУ. 2008. С. 80-81. 11. Лыков Ю. В., Горелов Д. Ю. Многопозиционная разнесенная радиолокационная станция для исследования распределения метеорного вещества в атмосфере Земли // Восточно-Европейский науч.-техн. сб.

2010. №1. С.5-15. 12. *Олейников А. Н., Сосновчик Д. М.* Определение высоты отражающей области метеорного следа при использовании телевизионного сигнала в разнесенной системе радиолокации // Радиотехника. 2005. №143. С.201-208. 13. *Лыков Ю. В., Олейников А. Н.* Выбор оптимальной ориентации приемной антенны в разнесенной системе метеорной радиолокации при использовании ТВ сигналов // Радиотехника. 2008. №152. С.72-77. 14. *Олейников А. Н., Лыков Ю. В., Кукуш В. Д.* Повышение эффективности разнесенной системы радиолокации метеорных следов // Радиотехника. 2009. №157. С.5-13. 15. <http://www.ukwtv.de/fmscan/main.php> FMLIST, the international FM frequency database. 16. *Локишин М. Г.* и др. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания. М.: Радио и связь, 1988. 144 с. 17. *Никольский В. В., Никольская Т. И.* Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989. 544с. 18. *Кащеев Б. Л., Лебединец В. Н., Лагутин М. Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260с. 19. *Кукуш В. Д.* Измерение частоты Доплера телевизионного сигнала, отраженного от метеорного следа, в разнесенной системе радиолокации // Материалы XIII Междунар. молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Харьков: ХНУРЭ, 2009. С.26. 20. *Лыков Ю. В., Олейников А. Н.* Синтез оптимального обнаружителя и измерителя АВХ ТВ сигналов отраженных от метеорных следов // Радиотехника. 2009. №158. С.5-13. 21. www.rmob.org Global Meteor Scatter Network. 22. *Олейников А. Н., Лыков Ю. В., Кукуш В. Д., Шкарлет А. И.* Результаты исследования параметров метеорных отражений сигналов телевизионного вещания разнесенной радиолокационной системой // Системы обработки информации. 2010. №1. С.25-34. 23. www.maa.aglea.de/comet/meteors/showers. Каталоги метеорных потоков Гари Кронка.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 05.01.2010