

## СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ В ХАРЬКОВЕ

### Введение

Началом фундаментальных теоретических и экспериментальных радиолокационных исследований метеоров можно считать 30-е годы XX столетия, когда при исследованиях ионосферы методами радиолокации впервые были обнаружены отражения радиоволн от ионизированных метеорных следов. Практически сразу же военные задачи секретной метеорной радиосвязи обуславливают повышенный интерес к этим исследованиям. Во время Второй мировой войны военные радиолокационные исследования метеоров оказались максимально востребованными и для решения других задач. Радиолокаторы для дальнего обнаружения самолетов, работающие в метровом диапазоне волн, нередко принимали метеорные отражения за ложные цели, что вызвало повышение требований к качеству систем противовоздушной обороны и разработке методов идентификации отраженных сигналов с учетом метеорных помех. В 1943 г. в разгар войны в СССР выходит постановление ГКО «О создании Совета по радиолокации при Государственном Комитете Обороны». Прогресс в развитии и совершенствовании радиолокационной техники в связи с запросами военного времени и для военных целей оказал существенное влияние на развитие радиолокационных исследований метеоров.

После окончания войны военные радиолокаторы становятся доступны для научных исследований в мирных целях и начинают применяться в разных странах для радионаблюдений метеоров. Интерес был подогрет ожидаемым и свершившимся в 1946 г. метеорным дождем потока Дракониды. Известный английский радиоастроном Б. Ловелл, впоследствии создатель первого в мире полноповоротного радиотелескопа, организовал при Манчестерском университете экспериментальную станцию Джодрелл Бэнк на начальном этапе именно для радиолокационных метеорных исследований [1]. Наблюдения метеоров радиометодами были начаты также в Канаде [2], США и несколько позже – в Австралии. Изучение метеоров радиолокационными методами в СССР было впервые начато под руководством Б.Ю. Левина во время метеорного дождя Дракониды в 1946 г. [3]. Однако в период 1946 – 1956 гг. общий уровень развития радиотехники и метеорных радиолокационных исследований в СССР значительно отставал от мирового уровня. После войны потребность в радиоспециалистах в СССР остро ощущалась в связи с необходимостью интенсивного развития радиотехнической промышленности, продиктованной веянием времени. Это настоятельно требовало специально обученных кадров наивысшей квалификации. Радиотехника превращается в самостоятельную престижную инженерную науку, связанную с самыми передовыми технологиями и разработками.

### Становление радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове (1946 – 1956 гг.)

Становление радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове непосредственно связано с созданием в 1946 г. радиотехнического факультета в Харьковском электротехническом институте (ХЭТИ) и началом подготовки радиоинженеров. Потребность в радиоспециалистах остро ощущалась после войны в связи с развитием радиотехнической промышленности в стране и в Харькове в частности. Первым деканом радиотехнического факультета был назначен доцент А.А. Миц, который обладал незаурядными организаторскими способностями, проработал на этой должности много лет и внес большой вклад в развитие радиотехнического образования и научных исследований на факультете [4, 5]. Заведующим кафедрой «Основы радиотехники» стал по совместительству акад. А.А. Слуцкий, научный сотрудник Украинского физико-технического института (УФТИ) АН Украины, а его аспирантом – только что окончивший с отличием институт Б.Л. Кашеев.

В 1950 г. радиотехнический факультет вошел в состав Харьковского политехнического института (ХПИ), созданного на базе электротехнического, механико-машиностроительного и химико-технологического институтов, а заведующим кафедрой «Основы радиотехники» стал по совместительству проф. С.Я. Брауде. В этом же году Б.Л. Кашеев успешно защитил кандидатскую диссертацию и начал научные исследования уже в качестве сотрудника кафедры.

О своих первых шагах в науке лучше всего рассказывает сам Б.Л. Кашеев в автобиографическом очерке [6]. В 1950 г. на кафедре «Основы радиотехники» под руководством проф. С.А. Брауде началась интенсивная работа по созданию ионосферной станции, позволяющей определять плотность электронов в различных областях ионосферы. Зная плотность электронов, можно было определить рабочие частоты радиосвязи между конкретными географическими пунктами. В разработке и изготовлении станции приняли участие Б.Г. Бондарь, Б.Л. Кашеев, Е.Г. Прошкин, В.В. Толстов, П.С. Ковтун, Н.А. Сова. На ионосферной станции впервые в Украине начались исследования нижней атмосферы (далее слово «впервые» применимо практически ко всем исследованиям, проводимым на кафедре «Основы радиотехники»). Во время частичного солнечного затмения в июне 1954 г. было продемонстрировано влияние Солнца на плотность электронов в ионосфере.

При зондировании ионосферы на индикаторе ионосферной станции иногда возникали кратковременные сигналы (длительностью десятые доли – единицы секунд), отражающиеся от каких-то образований на высотах 80 – 100 км. У харьковских исследователей возникло предположение: не являются ли метеоры причиной наблюдаемых отражений сигналов? Б.Л. Кашеев был командирован в Москву (в Астрономический совет АН СССР), где ему порекомендовали встретиться с проф. В.В. Федьнским, видным специалистом по метеорам [7]. В.В. Федьнский сразу же подтвердил, что причиной появления наблюдаемых кратковременных отражений сигналов с расстояний 80 – 100 км являются ионизированные метеорные следы. Так были зарегистрированы первые радиометеоры в Украине и в Харькове. С этого началось многолетнее и очень плодотворное научное сотрудничество двух крупных ученых – Б.Л. Кашеева и В.В. Федьнского, имевшее определяющее значение в развитии радиолокационного метода для исследования метеоров в Украине и бывшем СССР.

По предложению В.В. Федьнского Б.Л. Кашеев посетил Междугосударственный геофизический комитет, где ознакомился с проектом научной программы Международного геофизического года (МГГ), которая впоследствии была названа самой масштабной международной программой XX в. Эта комплексная программа впервые предусматривала углубленное изучение метеорологических явлений, процессов в атмосфере Земли, изучение солнечно-земных связей, всестороннее изучение физических процессов в Мировом океане и другие исследования. Исследование метеоров было включено в эту программу в связи с изучением ионосферы, а именно – факторов ее ионизации, воздушных течений и турбулентности, изменений физических параметров верхней атмосферы. Существование самой ионосферы стало считаться научным фактом только в 1927 г., нобелевская премия за это открытие была номинирована в 1947 г. Эплтону. Закономерно, что в 1957 г. ионосфера стала одной из центральных дисциплин программы Международного геофизического года, а ее комплексное исследование было одной из самых насущных задач этой глобальной программы. Кроме того, человечество готовилась в то время к освоению космоса, и данные о верхней атмосфере, получаемые путем радиолокации метеорных следов, представляли большой интерес.

### **Метеорная программа Международного геофизического года (1957-1959 гг.)**

В подготовку и проведение МГГ включилось 67 стран. Были определены сроки проведения МГГ: с 1 июля по 31 декабря 1957 г. (очередной максимум солнечной активности). Среди разделов программы МГГ раздел V (ионосфера, метеоры) предназначался для исследователей метеоров, и Б.Л. Кашеев изъявил желание, чтобы научный коллектив кафедры «Основ радиотехники» принял участие в работах по этому направлению исследований. В.В. Федьнский поддержал это пожелание и передал соответствующие письма ректору ХПИ проф. М.Ф. Семко

и Министру высшего и среднего специального образования Украины Б.А. Ковалю. Для участия в программе МГГ необходимо было, во-первых, специальное радиолокационное оборудование, которое не выпускалось промышленностью, во-вторых, экспериментальная база, удаленная по условиям электромагнитной совместимости от города. Местными властями институту был выделен земельный участок площадью 14 га в 80 км от Харькова (вблизи с. Ольховатка Балаклейского района), а Минвузом – финансовые средства, необходимые для строительства лабораторного корпуса, трансформаторной подстанции, жилых и вспомогательных помещений в Полевой лаборатории.

Первоначально по программе МГГ планировалось провести исследования метеоров радиолокационным методом путем измерения их численности. Сотрудник Астрономической обсерватории им. Энгельгардта (АОЭ) Казанского университета К.В. Костылев стоял у истоков организации метеорных наблюдений по программе МГГ. К.В. Костылев предложил использовать для регистрации метеорной численности типовые радиолокационные станции (РЛС) «Редут» и «Пегматит». Эти РЛС снимались с вооружения и передавались заинтересованным организациям для научных исследований. Но необходимо было разработать приставки РЛС для фоторегистрации отражений от метеорных следов.

Студенты-дипломники радиотехнического факультета ХПИ Б.С. Дудник и М.Ф. Лагутин в течение декабря 1955 г. – февраля 1956 г. впервые зарегистрировали с помощью РЛС «Редут» на частоте 72 МГц метеорные отражения [8]. Наблюдения проводились на территории ХПИ в ночное время. Б.С. Дудник и М.Ф. Лагутин были направлены на стажировку в АОЭ. С этого момента началось не прекращающееся до настоящего времени сотрудничество и научное соперничество харьковских и казанских коллективов и научных школ исследователей радиометеоров, самых мощных в СССР и на постсоветском пространстве.

В 1956 г. благодаря энтузиазму научного коллектива во главе с Б.Л. Кащеевым в основном было завершено строительство экспериментальной метеорной радиолокационной наблюдательной базы – Балаклейской полевой лаборатории, начатое с нуля в чистом поле в 1954 г.

В октябре 1956 г. Б.Л. Кащеев был назначен заведующим кафедрой «Основы радиотехники» и успешно руководил этой кафедрой почти тридцать лет.

В первой половине 1957 г. ведутся интенсивные работы по подготовке к радиолокационным наблюдениям метеоров по программе МГГ: завершаются последние работы в Полевой лаборатории, получено из воинских частей три комплекта РЛС «Редут» с автономными электростанциями, модернизированы, установлены и опробованы РЛС. В работе принимает участие практически весь, пока еще немногочисленный, коллектив преподавателей и сотрудников кафедры под руководством Б.Л. Кащеева (Б.С. Дудник, М.Ф. Лагутин, М.И. Гуртовой, И.А. Лысенко, В.В. Толстов, И.А. Делов, А.П. Борщов). Б.С. Дудником и др. [9] была разработана эффективная система защиты аппаратуры от импульсных помех при регистрации сигналов на фотопленку. В это же время в работу по подготовке к МГГ подключился талантливый астроном, воспитанник Астрономической обсерватории Харьковского государственного университета В.Н. Лебединец.

Летом 1957 г. впервые побывал в Харькове и В.В. Федьинский. Состоялось детальное обсуждение перспектив радиолокационных наблюдений метеоров. В.В. Федьинский также поддерживал развитие в Харькове работ по исследованию неоднородностей структуры ионосферы по программе МГГ. Но для этого необходимо было создать новые ионосферные станции. Этими работами занялись Б.Г. Бондарь, В.И. Таран, Е.Г. Прошкин, В.В. Толстов, В.М. Жебко, Ю.И. Суворов. В это же время начались первые работы по исследованию метеорного распространения радиоволн с целью использования метеоров для радиосвязи (Б.Г. Бондарь, В.Ф. Чепура).

Межведомственным геофизическим комитетом был подготовлен План научных исследований различных организаций СССР по программе МГГ [10], а также Инструкция по наблюдениям метеоров [11]. Программа изучения метеоров в течение МГГ включала следующие задачи: регистрация метеорной активности (численности метеоров); изучение физических свойств атмосферы в зоне слоя Е ионосферы; определение направления и скорости дрейфа метеорных следов на высоте 80 – 100 км. По инструкции, изданной Специальным

комитетом МГГ, метод определения скорости и направления ветра по дрейфу метеорных следов получил наименование «метод D2».

Летом 1957 г. к выполнению национальной программы МГГ по радионаблюдениям метеоров приступили семь научных коллективов СССР. Наибольших успехов в развитии радиолокации метеоров достиг коллектив кафедры «Основы радиотехники» ХПИ под руководством Б.Л. Кащеева. В период с июля по декабрь 1957 г. по программе МГГ в Харькове были проведены первые регулярные наблюдения метеоров радиолокационным методом, были получены и в 1958 г. опубликованы первые экспериментальные результаты [12].

В июле 1958 г. в Москве состоялась пятая Ассамблея Специального комитета МГГ, на которой были рассмотрены результаты выполнения программы МГГ. В работе Ассамблеи приняли участие ведущие геофизики США, Великобритании, Японии, Швеции, СССР и других стран. Б.Л. Кащеев получил приглашение принять участие в этой Ассамблее и выступить с докладом, в котором осветить результаты применения в СССР радиометодов при проведении наблюдений метеоров по программе МГГ. Позже этот доклад был опубликован в сборнике статей [13]. Ведущие ученые мира в области метеорных исследований (Ф. Уиппл, Д. Дэвис, Т. Кайзер, Н. Герлофсон) дали высокую оценку первым результатам работ в Харькове. Благодаря этим результатам в 1958 г. Б.Л. Кащеев и В.Н. Лебединец на X Конгрессе Международного астрономического союза (МАС) были приняты в члены МАС и включены в состав Комиссии 22 МАС «Метеоры и метеориты».

Успешное выполнение запланированных работ в период МГГ и международное признание результатов этих работ послужило немаловажным фактором при решении вопросов дальнейшего финансирования научных исследований, проводимых на кафедре Основы радиотехники, выделению фондов на оборудование, увеличения штатов и выделения жилья сотрудникам. В результате в сентябре 1958 г. решением Правительства СССР при кафедре «Основы радиотехники» ХПИ была создана Проблемная научно-исследовательская лаборатория (ПНИЛ) радиотехники с ежегодным целевым финансированием за счет госбюджета. Научным руководителем лаборатории был назначен Б.Л. Кащеев. Именно в этой должности за 42 года беспрерывного руководства проявились выдающиеся способности Б.Л. Кащеева как научного организатора.

Летом 1958 г. Полевую лабораторию посетил известный астроном и исследователь метеоров И.С. Астапович [14], работавший в то время в Туркмении и создавший вблизи Ашхабада метеорную обсерваторию. По просьбе И.С. Астаповича сотрудниками кафедры «Основы радиотехники» ХПИ на базе РЛС «Пегматит» была разработана аппаратура для регистрации метеоров, внедренная затем в Институте физики Земли в Ашхабаде.

Программа МГГ была продлена на 1958 г., а затем МГГ был продлен программой Международного геофизического сотрудничества (МГС) и на 1959 г. Содержание работ было расширено, и коллектив сотрудников кафедры Основы радиотехники и ПНИЛ продолжил успешно начатые работы.

### **Первые харьковские метеорные радиолокационные комплексы МС-1 и МС-2**

На основании ставших известными (в основном, зарубежных) работ по физической теории образования ионизированных метеорных следов и теории рассеяния радиоволн на метеорных следах, а также на основании собственных экспериментальных данных стало ясно, что применяемые военные радиолокаторы не совсем годятся для наблюдений метеоров. Прежде всего, это касается относительно высокой (72 МГц) рабочей частоты. Согласно классической теории радиолокации метеоров, с уменьшением частоты (увеличением длины волны) в геометрической прогрессии возрастает мощность рассеянного на метеорном следе радиосигнала, а также увеличивается численность наблюдаемых метеоров. Кроме того, применяемые фоторегистраторы с непрерывной протяжкой пленки позволяли измерять ограниченное количество параметров метеорных сигналов (дальность, амплитуду, длительность). Для проведения дальнейших исследований необходимо было разработать специальную метеорную радиолокационную аппаратуру.

И такая аппаратура была разработана и создана в Харькове [15]. Это были радиолокационные комплексы аппаратуры МС-1 и МС-2. Комплекс МС-1 предназначен для регистрации численности метеорных отражений, момента появления метеоров, длительности их существования, измерения наклонной дальности. Комплекс МС-2 предназначен для определения скорости, радиантов и орбит метеорных тел, а также некоторых параметров атмосферы на высоте 80 – 100 км. В обоих комплексах использовалось одно и то же передающее устройство, работающее на частоте 36,9 МГц. Частота повторения основной последовательности импульсов 500 *имп/с*; длительность импульсов 10 *мкс*, мощность в импульсе 75 *кВт*. В комплексах МС-1 и МС-2 различались функционально и, соответственно, сложностью реализации приемно-регистрирующие устройства. В комплексе МС-1 радиометеорные сигналы индицировались в виде яркостных меток на экране электронно-лучевой трубки с вертикальной разверткой дальности и регистрировались на фотопленку с непрерывной ее протяжкой с постоянной скоростью.

Радиоприемное устройство комплекса МС-2 более сложное: кроме амплитудного канала, который используется для определения параметров метеоров в верхней атмосфере, имеется фазовый канал для определения скорости дрейфа метеорных следов в атмосфере когерентно-импульсным методом по доплеровской частоте. Имеется возможность ввода сигналов одновременно от двух приемных антенн, что позволяет измерить амплитудно-фазовым методом угол прихода метеорных сигналов и определить при известной наклонной дальности высоту метеора. Скорость метеорного тела определялась дифракционным методом по амплитудно-временным характеристикам сигнала, рассеянного на ненасыщенных метеорных следах, впервые примененным Эллиетом и Дэвисом в Джодрел Бэнк [16].

Радианты индивидуальных метеоров определялись импульсно-дифракционным методом (методом Дэвиса [17]). По методу Дэвиса прием метеорных радиосигналов осуществляется не только в пункте, совмещенном с радиопередающим устройством (в основном пункте), но и в двух вынесенных на расстояние несколько километров от основного дополнительных пунктах. Принятые в вынесенных пунктах сигналы ретранслируются в основной пункт, где совместно регистрируются на кинопленку. Покадровый фоторегистратор работает в ждущем режиме и запускается импульсным сигналом при обнаружении и распознавании метеорного радиосигнала. По известным значениям скорости и координат радианта метеоров можно вычислить элементы орбиты метеорного тела, породившего этот метеор. В обоих комплексах аппаратуры использовались антенны типа «полуволновый вибратор» и «волновой канал». Большое внимание было уделено разработке устройств защиты от импульсных помех.

В декабре 1957 г. в Харькове были начаты регулярные измерения численности метеоров с помощью радиолокационного комплекса МС-1, которые продолжались несколько лет [18, 19]. В декабре 1958 г. в Харькове впервые были проведены с помощью комплекса МС-2 радиолокационные наблюдения метеорного потока Геминиды и определены скорости метеоров этого потока [20], а в декабре 1959 г. впервые определены по данным радиолокационных наблюдений радианты и орбиты метеорных тел, принадлежащих потоку Геминиды [21, 22]. С ноября 1959 по декабрь 1960 г. М. Ф. Лагутиным был проведен годичный цикл радиолокационных наблюдений метеоров (по 7–10 суток наблюдений в каждом месяце), по данным которых были определены скорости и радианты индивидуальных метеоров до  $+7^m$  [23].

В 1961 г. вышла из печати фундаментальная монография Б.Л. Кашеева и В. Н. Лебединца «Радиолокационные исследования метеорных явлений» [24], получившая высокую оценку И.С. Астаповича [6]. В этой книге рассмотрены: физическая теория метеоров; методы регистрации метеорных следов при радионаблюдениях; вопросы рассеяния радиоволн на ионизированных метеорных следах, аппаратура и результаты измерений численности метеоров; аппаратура, методика и результаты определения скоростей и радиантов индивидуальных метеоров; методика и результаты исследования циркуляции атмосферы радиометеорным методом. Эта, переработанная и дополненная новыми экспериментальными результатами, книга стала основой новой монографии Б.Л.Кашеева, В.Н.Лебединца и М.Ф.Лагутина [25]. В ней,

в частности, впервые приведен каталог орбит более 12500 метеорных тел, полученный по данным радиолокационных наблюдений в Харькове. Последняя из указанных монографий, наравне с монографией Д. Мак-Кинли [3], стала настольной книгой и руководством не одного поколения исследователей метеоров радиолокационным методом.

В 1961 г. В.Н. Лебединец и И.А. Лысенко перешли на работу в только что созданный Институт экспериментальной метеорологии (ИЭМ), г. Обнинск (в настоящее время НПО «Тайфун»). В.Н. Лебединец возглавил отдел астрофизических исследований. Харьковский горный институт в 1962 г. был преобразован в Харьковский институт горного машиностроения, автоматики и вычислительной техники (ХИГМАВТ), и в нем был создан радиотехнический факультет. Ряд сотрудников кафедры «Основы радиотехники» ХПИ (М.Ф. Лагутин, В.В. Толстов, Е.Г. Прошкин) перешли на работу в ХИГМАВТ. М.Ф. Лагутин возглавил кафедру радиопередающих устройств (РПУ) и продолжил радиолокационные исследования метеоров на новом месте непрерывно-волновым методом. В 1966 г. постановлением Совета Министров СССР ХИГМАВТ был переименован в Харьковский институт радиоэлектроники (ХИРЭ), затем в 1993 г. – в Харьковский технический университет радиоэлектроники (ХТУРЭ). В настоящее время – Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ).

По проекту ИЭМ планировалось создание глобальной модели ветров в метеорной зоне атмосферы. Коллектив кафедры РПУ принял участие в модернизации радиометеорной аппаратуры, которая устанавливалась на всех пунктах наблюдений ИЭМ [8]. Было разработано новое типовое радиопередающее устройство для этих станций. Совместно с ИЭМ были созданы радиометеорные станции в Обнинске, на о. Хейса в Заполярье, в Ашхабаде и в ГДР. Впервые в мировой практике в составе 12 советской антарктической экспедиции на станции Молодежная начались исследования ветра и притока метеорного вещества радиометодом.

### **Создание метеорной автоматизированной радиолокационной системы.**

#### **МАРС первого поколения. Ряды наблюдений 1967 – 1970 гг.**

После успешного выполнения программ МГГ и МГС международным сообществом была принята новая программа исследований на 1964 – 1965 гг. – Международный год спокойного Солнца (МГСС). Коллектив кафедры «Основы радиотехники» и ПНИЛ радиотехники ХПИ включился в подготовку к новым работам. Необходимо было определить направление дальнейшего совершенствования аппаратуры и методики радиолокационных наблюдений метеоров. Были изучены и проанализированы многочисленные зарубежные публикации по этим вопросам. Кроме упомянутой выше книги Б.Л. Кащеева и В.Н. Лебединца [24] появились и другие отечественные работы по радиолокации метеоров [26, 27]. В 1963 г. Б.Л. Кащеев поставил перед коллективом задачу: в кратчайшие сроки разработать и создать радиолокационный комплекс с высокой эффективной чувствительностью, который бы позволил наблюдать очень слабые метеоры (до  $+12^m \dots 15^m$ ). Задача была сложная, но интересная и достаточно реальная. Появилась информация, что подобные радиолокационные системы создаются и за рубежом (в США и Канаде).

Пути достижения поставленной цели, в общем, были ясны. Это — увеличение мощности радиопередающего устройства, увеличение длины волны, увеличение коэффициента усиления антенны, улучшение помехозащищенности приемно-регистрирующей аппаратуры, совершенствование методов обработки радиометеорной информации. В результате были выработаны следующие основные технические требования к новому радиолокационному комплексу для наблюдений слабых метеоров: частота – (22...23) МГц; мощность радиопередатчика в импульсе – (1...5) МВт; коэффициент усиления антенны – (200...300).

В 1964 г. началась напряженная работа по разработке нового высокоэффективного радиолокационного комплекса для исследований метеоров, которая успешно завершилась в 1967 г. Разработкой антенно-фидерной системы занимался Б.Г. Бондарь, радиопередающего устройства – Б.С. Дудник и А.А. Ткачук [28], радиоприемных устройств и ретрансляторов для вынесенных пунктов – И.А. Делов, главного синхронизатора и регистраторов – В.А. Нечитайленко

и Ю.И. Волощук [29]. В создании радиолокационного комплекса принимал участие практически весь состав ПНИЛ радиотехники и Полевой лаборатории, а также студенты во время практики. В целом этот радиолокационный комплекс описан в работе [30].

Методы радиолокационных наблюдений метеоров с фоторегистрацией и определения параметров метеоров были теми же, что применялись раньше, но использовалась современная элементная база и электронные приборы. Так, впервые, по предложению В.А. Нечитайленко, были применены феррит-диодные логические элементы в устройстве предварительной обработки регистратора метеорных сигналов. Уникальными были антенны в основном пункте с коэффициентом усиления (250...270) и передающее устройство с мощностью в импульсе около 1 МВт.

В октябре 1967 г. были начаты первые радиолокационные наблюдения слабых метеоров. В декабре провели наблюдения ежегодного метеорного потока Геминиды, после чего наблюдения стали регулярными и продолжались до 1970 г. Ежемесячно проводилось по два недельных цикла наблюдений, иногда наблюдения проводились непрерывно в течение 20 – 30 суток. Наблюдения проводились под руководством А.А. Ткачука, он же осуществлял инженерно-техническое обеспечение функционирования метеорного радиолокационного комплекса. Группу обработки данных наблюдений возглавляла Н.В. Новоселова, астроном по образованию. Первые результаты измерений численности слабых метеоров [31], а также результаты определения радиантов и орбит [32] были опубликованы в 1969 г. Далее результаты радиолокационных наблюдений слабых метеоров регулярно публиковались в различных журналах, например [33, 34]. По данным радионаблюдений только в 1968 г. были определены скорости, радианты и орбиты 37 тысяч мелких метеорных тел, порождающих метеоры до  $+12^m$  [35]. При интерпретации результатов радионаблюдений метеоров большое внимание уделялось совершенствованию методов учета избирательности наблюдений по отношению к различным параметрам метеоров и аппаратуры [36].

Было показано, что результаты измерений численности слабых метеоров (до  $+14^m$ ), которые порождаются метеорными телами с минимальной массой  $\sim 10^{-6}$  г, отличаются от результатов измерений численности более ярких метеоров (до  $+8^m$ ) иным суточным и сезонным ходом, значением параметра  $s$  степенного закона распределения метеорных тел по массе и другими характеристиками. Распределения элементов орбит метеорных тел по радионаблюдениям метеоров до  $+12^m$  также существенно отличались от соответствующих распределений элементов орбит по радионаблюдениям метеоров до  $+7^m$  в Харькове и были сопоставимы с распределениями элементов орбит метеорных тел по радионаблюдениям метеоров до  $+10^m$  по Гарвардскому радиометеорному проекту в США [37, 38].

В течение 1968 – 1969 гг., в дополнение к подсистемам ПАОРО и САЧМО, В.В. Жуковым и Б.С. Дудником был создан фазовый угломер для измерения высот отражающих «точек» метеорных следов, работающий в импульсном режиме [39]. Индикация разности фаз сигналов, принятых пятью разнесенными антеннами, осуществлялась на экране электронно-лучевых трубок с круговой разверткой. Фоторегистрация осуществлялась на 35 мм киноплёнку. В течение нескольких месяцев 1969 – 1970 гг. В.В. Жуков провел наблюдения с целью исследовать высотные зависимости метеорных явлений. Такие высокоточные и статистически обеспеченные данные о зависимости скорости метеоров, начального радиуса ионизированных метеорных следов, коэффициента амбиполярной диффузии от высоты также были получены впервые.

### **Советская экваториальная метеорная экспедиция (СЭМЭ) 1967 – 1970 гг. Метеорный комплекс «Тропик»**

В процессе развития радиометеорных исследований циркуляции атмосферы сложилась такая ситуация, что к 1967 г. станции наблюдений располагались на средних широтах северного и южного полушарий, а также в Арктике и Антарктике, однако полностью отсутствовали в экваториальной области. Для получения информации о циркуляции атмосферы в метеорной зоне над экватором Междудементственный геофизический комитет АН СССР организовал Советскую экваториальную метеорную экспедицию (СЭМЭ), выполнение программы работ которой было поручено Институту астрофизики АН Таджикской ССР и Харьковскому политех-

ническому институту. В течение двух лет (1968 – 1970 гг.) экспедиция проводила исследования метеорных явлений в Республике Сомали в районе г. Могадишо (2° с. ш., 45° в. д.) под руководством акад. АН Таджикской ССР П.Б. Бабаджанова и проф. Б.Л. Кашеева. В экспедиции от ХПИ принимали участие В.А. Нечитайленко, Б.В. Кальченко, В.В. Балабанов, М.И. Гуртовой и В.В. Лизогуб.

СЭМЭ в Республике Сомали представляет собой уникальный научный эксперимент. Разработанная и изготовленная харьковскими специалистами радиолокационная аппаратура в тропическом исполнении (метеорная РЛС «Тропик») позволила в течение 320 круглосуточных циклов измерений получить уникальные данные о динамике верхней атмосферы над экватором, о тонкой структуре движения атмосферы, о южных потоках метеоров, о сравнительном притоке метеорного вещества из южной и северной полусферы. Материалы экспедиции показали ошибочность существовавших моделей циркуляции атмосферы над экватором: в действительности наблюдается устойчивое движение воздушных масс на запад. В метеорной зоне над экватором была обнаружена квазидвухсуточная составляющая скорости ветра и связь появления этой составляющей с солнечным ветром. Результаты исследований по программе СЭМЭ опубликованы в монографиях [40, 41] и в ряде научных статей, например [42, 43].

В итоге работы СЭМЭ и одновременно проводившихся наблюдений в Харькове и в Душанбе был собран огромный экспериментальный материал, содержащий сотни тысяч измерений радиальных компонент скорости дрейфа метеорных следов. Полученные данные в значительной мере заполнили тот пробел, который существовал в наших знаниях об атмосферных процессах в экваториальной зоне.

#### **МАРС второго поколения. Ряды наблюдений 1972 – 1978 гг.**

Несмотря на то, что созданный в Харькове радиолокационный комплекс для наблюдений слабых метеоров был уникальным, а полученные на этом комплексе результаты наблюдений – выдающимися и получившие международное признание, со временем стали очевидными некоторые ограничения этого комплекса. Во-первых, понятное стремление понизить рабочую частоту до 22 МГц привело к тому, что проводить круглосуточные наблюдения при постоянном пороге чувствительности радиоприемного устройства было невозможно. В дневное время уровень помех от различных радиостанций за счет ионосферного распространения радиоволн возрастал настолько, что эффективная чувствительность радиолокационного комплекса падала в пять-шесть раз по сравнению с ночными условиями в связи с необходимостью повышения порога амплитудного дискриминатора. Это значительно усложняло интерпретацию результатов радионаблюдений метеоров. Кроме того, при такой большой мощности передатчика выявился такой вид помех, который для всех оказался неожиданностью. Имеются в виду сигналы возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ), или эффект Кабанова. Поскольку это были «свои» сигналы, существующая в метеорной РЛС система защиты от помех оказалась бессильной против такого вида помех. Наличие сигналов ВНЗ явилось одной из причин, почему в Харькове ограничились мощностью передатчика на уровне 1 МВт и не стали ее повышать, хотя первоначально в проекте это было предусмотрено.

Во-вторых, объем получаемых при наблюдениях метеоров данных был настолько огромным, что обработка этих данных (съем информации с киноплёнок, подготовка данных для вычислений на ЭВМ, последующая статистическая обработка с учетом различных факторов замечаемости радиометеоров и т. п.) были очень трудоемкими и продолжительными. Стало очевидным, что без автоматизации процессов первичной и вторичной обработки радиометеорной информации непосредственно в самой РЛС в дальнейшем не обойтись. Такая задача была поставлена Б.Л. Кашеевым и в течение 1969 – 1971 гг. успешно выполнена.

После длительного наблюдения за радиопомехами в диапазоне частот от 22 до 35 МГц, была выбрана в качестве оптимальной рабочая частота 31,1 МГц, на которую и были переоборудованы все устройства метеорной радиолокационной станции. Подсистему автоматического определения радиантов и орбит (ПАОРО) метеоров решили создавать на базе управляющей ЭВМ типа «Днепр-1», которую только что начали выпускать в Киеве. За решение этой новой,

сложной, но интересной работы взялся А.А. Дьяков [44, 45]. Автоматический статистический анализатор численности радиометеоров разрабатывал и создавал Ю.И. Волощук [46]. Вначале вся обработка метеорных сигналов (предварительная, первичная и вторичная) в САЧМО была реализована аппаратными средствами. Здесь впервые были применены феррит-транзисторные логические элементы. В дальнейшем для вторичной обработки (для расчета параметра  $s$  распределения метеорных тел по массе и определения плотности потока метеорных тел) в состав САЧМО была включена малая управляющая ЭВМ типа УМ1-НХ-М. Так была создана впервые в Харькове Метеорная автоматизированная радиолокационная система – впоследствии знаменитая на весь мир система МАРС [47]. Около 40 параметров метеоров, включая элементы орбит, выдавались на печать практически в реальном времени (в течение 5 с после наблюдения), что поражало всех специалистов, знакомых с длительным и трудоемким процессом обработки данных наблюдений метеоров, который повсеместно применялся ранее.

С 1971 г. была прекращена подготовка радиоспециалистов в ХПИ, и значительное число сотрудников и студентов радиотехнического факультета ХПИ были переведены в ХИРЭ. В полном составе были переведены в ХИРЭ кафедра «Основы радиотехники» вместе с ПНИЛ радиотехники и Балаклейской полевой лабораторией. НИЛ ионосферы (научный руководитель В.И. Таран) осталась в ХПИ.

В 1972 г. в Балаклейской полевой лаборатории были начаты регулярные радиолокационные наблюдения метеоров с помощью системы МАРС, продолжавшиеся в течение восьми лет. Проведением наблюдений руководил непосредственно А.А. Ткачук. Наиболее выдающимся результатом этой работы, не превзойденным до настоящего времени, является создание самого большого в мире каталога орбит (более 250 тысяч) мелких метеорных тел (с массой до  $10^{-5}$  г). Первые результаты радиолокационных наблюдений метеоров с помощью системы МАРС и их сравнение с результатами, полученными ранее [35], опубликованы в работе [48]. В 1980 г. был опубликован каталог орбит 5317 индивидуальных метеоров до  $+12^m$ , зарегистрированных в течение 1-2 суток непрерывных наблюдений в каждом месяце 1975 г. [49], который считается одним из наиболее точных и статистически однородных каталогов метеорных орбит.

Система МАРС постоянно развивалась и совершенствовалась: в ее состав были включены в 1974 – 1975 гг. новые подсистемы – автоматический угломер и ветровой автомат. Метеорная автоматизированная радиолокационная система МАРС в полном составе описана в [50].

Автоматический угломер, разработанный и созданный В.В. Жуковым, В.Н. Олейниковым, А.Н. Олейниковым представлял собой многоканальный цифровой радиоимпульсный фазометр, предназначенный для определения угловых координат отражающей области и высоты метеорного следа. Вторичная обработка осуществлялась первоначально с помощью управляющей ЭВМ «Днепр-1», входящей в состав ПАОРО, а после дальнейшей модернизации автоматического угломера – с помощью управляющей ЭВМ типа М-6000. Ветровой автомат (ВЕТА), разработанный В.А. Нечитайленко, В.В. Лизогубом и др. [51 – 53] предназначен для измерения скорости дрейфа метеорных следов. В этой аппаратуре измерение доплеровского смещения частоты принятого сигнала производится путем вычисления среднего значения приращения фазы сигнала от импульса к импульсу. Измерение фазового сдвига производится с помощью цифрового импульсного фазометра. В комплексе аппаратуры ВЕТА использовалась малая управляющая ЭВМ типа УМ1-НХ-М, и были оптимально разделены аппаратурная и программная реализация алгоритмов предварительной и первичной обработки информации. В процессе последующей модернизации РЛС ВЕТА автоматизация измерений была осуществлена с помощью ЭВМ типа ДЗ-28, а в дальнейшем – современного компьютера. Увеличение численности регистраций было достигнуто разработкой и внедрением поискового метода метеорной радиолокации [54 – 55].

### **Международные проекты 80-х годов XX века. МАРС третьего поколения. АССОРМИ. Исследования в 1980 – 2010 гг. Некоторые итоги**

В 1982 – 1987 гг. научные учреждения СССР, и ПНИЛ РТ в том числе, участвовали в выполнении международных программ по исследованию кометы Галлея и исследованию средней

атмосферы (МАР). По предложению Межведомственного геофизического комитета АН СССР, одобренному Научным комитетом по солнечно-земной физике, в проект МАР был включен отдельный проект ГЛОБМЕТ (Глобальная система метеорных наблюдений), предусматривавший комплексные исследования радиометеоров в различных регионах Земного шара по единой методике и на унифицированной аппаратуре [56].

На период МАР (1982 – 1985) 23 страны представили свои научные программы исследования средней атмосферы (15 – 120 км), из которых следует, что основным источником информации о поле скоростей ветра на высотах 80 – 100 км являются метеоры. Установление основных закономерностей динамики атмосферы на этих высотах, исследование структуры, энергетики и взаимосвязи процессов в различных областях атмосферы – вот круг задач, в решение которых существенный вклад вносят радионаблюдения метеоров. Для реализации этих возможностей требуется унификация параметров радиолокационной аппаратуры, методики наблюдений, алгоритмов обработки и интерпретации их результатов. В период МАР и ГЛОБМЕТ проводились координированные наблюдения метеорного дрейфа по согласованной программе одновременно в Харькове, Обнинске и Казани (1982 г.). Результаты этих совместных измерений циркуляции атмосферы опубликованы в работе [57].

Дальнейшее развитие радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове шло в направлениях совершенствования методов и технических средств, используемых при измерениях и при обработке и анализе результатов измерений. При этом применялись все более мощные средства вычислительной техники, использовались методы математического моделирования метеорных явлений, в том числе, имитационное моделирование методом Монте-Карло (Ю.И. Волощук, А.А. Ткачук), статистическое моделирование временных рядов численности радиометеоров (Ю.И. Волощук, М.И. Малыняк, Н.Б. Назаренко) и пр. В итоге под руководством Ю.И. Волощука была создана Автоматизированная система сбора и обработки радиометеорной информации (АССОРМИ), технические условия которой обеспечивали М.И. Малыняк, С.Г. Кундюков и др.

Радиометеорные исследования в Харькове проводились по научным направлениям, которые в зависимости от цели исследований можно условно разделить на три группы:

1) радиометеорная физика и астрономия – исследование параметров и характеристик радиометеоров (высота, начальный радиус, коэффициент амбиполярной диффузии, ионизационная кривая, поляризационные и резонансные эффекты при рассеянии радиоволн метеорными следами) и порождающих их метеорных тел (скорость, торможение, дробление, плотность потока, распределение по массе, радианты, орбиты, метеорные потоки и ассоциации, спорадический метеорный фон и пр.);

2) радиометеорная геофизика – использование радиометеорных методов для исследования процессов в верхней атмосфере Земли;

3) метеорное распространение радиоволн и его использование для радиосвязи и высокоточной синхронизации мер времени и частоты, включая сличение эталонов.

В первое направление исследований наиболее весомый вклад внесли В.Н. Лебединец, М.Ф. Лагутин, Б.С. Дудник, Н.В. Новоселова, Ю.И. Волощук, А.А. Ткачук, В.В. Жуков, В.Н. Олейников, А.А. Дьяков, М.И. Малыняк, С.Г. Кундюков, О.А. Соляник, Л.П. Татарец и др.; во второе направление – И.А. Делов, И.А. Лысенко, В.А. Нечитайленко, Ю.И. Суворов, Б.В. Кальченко, В.В. Лизогуб, А.Н. Олейников и др.; в третье направление – Б.Г. Бондарь, Б.С. Дудник, А.Н. Смирнов, С.Ф. Семенов, В.М. Байдак, Ю.А. Леман, Л.П. Татарец, В.П. Моисеев, Ю.Г. Нестеренко, Ю.А. Коваль, Ю.В. Гарбузов, В.В. Обельченко, С.Г. Кундюков, И.Е. Антипов и др. Научное руководство всеми работами осуществлял Б.Л. Кашеев, ведущий ученый и блестящий организатор.

Выполняемые в Харькове радиолокационные исследования метеоров осуществлялись на стыке различных наук. Центральное место в исследованиях было отведено эксперименту. Эксперименты проводились в основном в Балаклейской полевой лаборатории, руководили которой в разное время Ю.И. Суворов, В.М. Жебко, А.И. Шкарлет. Разрабатываемая для на-

блюдений аппаратура была всегда выполнена на самом высоком техническом уровне, а сами наблюдения были тщательно спланированными и длительными по времени, обеспечивающими статистически надежные данные. При проведении радиолокационных наблюдений метеоров большое внимание уделялось оценкам погрешностей измерений и их влиянию на окончательные результаты исследований и выводы.

В каждом из указанных выше направлений исследований были получены новые и важные научные результаты, получившие международное признание. Анализ этих результатов заслуживает отдельного рассмотрения и выходит за рамки настоящей статьи. Отметим только, что астрономическое направление исследований метеорного вещества имело, помимо всего прочего, важное прикладное значение, связанное с оценками метеорной опасности для космических летательных аппаратов (КЛА) и для космонавтов, находящихся в открытом космосе. В те годы в СССР интенсивно велись космические исследования на долговременных орбитальных станциях «Алмаз», «Салют», «Мир», выполнялись программы по исследованию Луны с использованием аппаратов «Луноход», запускались межпланетные космические аппараты, рассчитанные на многолетнее функционирование.

Коллектив ПНИЛ радиотехники ХИРЭ активно участвовал в этих работах, сотрудничая с НПО «Энергия», Институтом космических исследований, Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского и другими (в то время закрытыми) организациями. Некоторые результаты оценки метеорной опасности для КЛА были опубликованы в работах [58 – 60]. Б.Л. Кащеев и С.В. Коломиец являются одними из основных исполнителей при разработке ГОСТ 25645.112-84 «Вещество метеорное. Термины, определения и буквенные обозначения», а Ю.И. Волощук и Б.Л. Кащеев – соисполнителями ГОСТ 25645.128-85 «Вещество метеорное. Модель пространственного распределения», ставшего основным нормативным документом для конструкторов космической техники при расчетах систем защиты от метеорной опасности.

В период с 1998 по 2000 г. под руководством проф. Б.Л. Кащеева в ПНИЛ радиотехники выполнялась международная координированная научно-исследовательская программа № 96-1669 «Experimental and theoretical investigation of tide modulation by planetary waves» (Экспериментальные и теоретические исследования модуляции прилива планетарными волнами) в рамках международного проекта INTAS. Соисполнителями этой работы являлись научные организации России, Германии, Англии и Франции.

Выполнение данной программы стало возможным только благодаря наличию в Полевой лаборатории ХНУРЕ единственной в Украине многофункциональной метеорной радиолокационной системы МАРС, которая позволяла измерять динамические параметры атмосферы с привязкой по высоте. Во время координированных измерений было зарегистрировано более 600 тысяч метеорных отражений, получены высотные профили амплитуд и фаз атмосферных приливов, определены параметры квазидвухсуточных колебаний и внутренних гравитационных волн [61]. В этой работе принимали участие А.Н. Олейников, В.Н. Олейников, Л.П. Татарец, А.И. Шкарлет и др.

Исследования метеоров по международным проектам продолжают и в настоящее время. В 2007 г. стартовала международная программа «Международный гелиофизический год 2007/9». В эту программу включена область исследования «Метеоры, метеороиды и межпланетная пыль». Международным координатором метеорных исследований МГГ 2007/9 является С.В. Коломиец. Введенная в действие в 2008 г. разнесенная метеорная радиолокационная станция Балаклеевского полигона (РМРЛС ХНУРЭ, А.Н. Олейников и др.) для исследования метеорной активности методом, основанном на использовании сигналов телевидения, участвует в международной программе «Global Meteor Scatter Network».

### **Выводы. Номинации достижений метеорных исследований в Харькове**

Основными научными итогами 50-летней работы харьковской школы исследователей радиометеоров являются, по нашему мнению: докторские диссертации Б.Л. Кащеева, В.Н. Лебединца, М.Ф. Лагутина, Ю.И. Волощука, Ю.А. Ковалева, И.Е. Антипова; десятки кан-

дидатских диссертаций; двенадцать монографий [24, 25, 40, 41, 49, 62 – 68], сотни научных статей в различных изданиях. В 2010 г. исполняется 39 лет пребывания коллектива исследователей метеоров радиометодом в стенах ХНУРЭ, в результате чего ХНУРЭ стал активным и известным исполнителем астрономических, геофизических и временных тем по государственным и международным программам, связанным с исследованием метеоров, важнейшие разработки по которым сохранены в многочисленных томах научных отчетов, а кафедра «Основ радиотехники» и ее научные подразделения с их метеорными наработками стали известной в мире научной школой метеорной радиолокации. Результаты радиолокационных исследований метеоров в Харькове регулярно докладывались на различных международных, всесоюзных и республиканских научных симпозиумах и конференциях, эти доклады всегда пользовались вниманием слушателей. Научная школа метеорной радиолокации ХНУРЭ (Харьков, Украина) неоднократно сама была центром научных мероприятий по обсуждению учеными разных стран научно-технических проблем исследования метеоров (метеорные конференции в 1977 и 1996 гг., Семинары памяти Б.Л. Кашеева в 2005 и 2010 гг.).

Непреодолимую ценность, как для астрономии, так и для геофизики, имеют обширные первичные данные метеорных измерений, полученные на уникальных метеорных комплексах в Харькове в разные годы и результаты их обработки. Электронный каталог ХНУРЭ, созданный под руководством Ю.И. Волощука на основе 250 тысяч метеорных орбит, зарегистрированных в Харькове в 1972 – 1978 гг. А.А. Ткачуком, стал новым мощным инструментом ученых ХНУРЭ для астрономических исследований Солнечной системы.

Из многочисленных научных званий и наград лично проф. Б.Л. Кашеева и работ возглавляемого им коллектива особо следует отметить: медали ВДНХ за создание и за модернизацию системы МАРС (бронзовую в 1980, две золотые в 1983 г. и в 1989 г.); премию имени акад. Н.П. Барабашова, которую Президиум Академии Наук Украины присудил Ю.И. Волощуку, Б.Л. Кашееву и В.Г. Кручиненко за монографию «Метеоры и метеорное вещество» в 1994 г.; Сертификат и значок "Золото МГГ" (IGY 1957 GOLD), которыми был номинирован Б. Л. Кашеев в 2007 г. руководством Международного гелиофизического года за заслуги в Международном геофизическом году (в связи с 50-летием МГГ), присвоение научно-учебной лаборатории радиоастрономии ХНУРЭ имени Б.Л. Кашеева, присвоение Международным астрономическим союзом трем малым планетам (астероидам) имен «Кашеев», «ХТУРЭ» и «Волощук». В перечне заслуг научного коллектива исследователей метеоров под руководством Б.Л. Кашеева следует отдельно остановиться на лидерстве этого коллектива по постановке и проведению научных экспериментов мирового уровня в период наибольшего интереса к метеорам и метеорной радиолокации. Эксперимент был ключевым моментом теории и практики радиолокационных исследований метеоров в Харькове, а экспериментальная база под Харьковом со все более совершенными аппаратными комплексами была предметом гордости не одного коллектива, а всей страны [69]. 11 февраля 2004 г. распоряжением Кабинета Министров Украины №73-р многофункциональный геофизический комплекс для исследования атмосферы и притока метеорного вещества Харьковского национального университета радиоэлектроники (с. Ольховатка Балаклейского района Харьковской области) научно-учебного центра кафедры Основы радиотехники включен в Государственный реестр научных объектов, которые являются национальным достоянием Украины.

Статус национального достояния Украины присвоен Балаклейскому экспериментальному полигону радиолокационных наблюдений метеоров, главному делу жизни и предмету гордости Б.Л. Кашеева, вскоре после дня, когда перестало биться сердце его выдающегося основателя. Нет сомнений, что присвоение этого высокого статуса означает национальное признание роли и вклада мирового уровня научной школы метеорной радиолокации ХНУРЭ во главе с Б.Л. Кашеевым с ее неотъемлемой частью, Балаклейской экспериментальной наблюдательной базой и полученных на ней результатов, в развитии всего научного направления радиолокационных исследований метеоров.

**Список литературы:** 1. *Ловелл Б.* Метеорная астрономия. Пер. с англ. М.: Гос. изд-во физ.-техн. лит., 1958. 488 с. 2. *Левин Б.Ю.* Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 293 с. 3. *Мак-Кинли Д.* Методы метеорной астрономии. Пер. с англ. М.: Мир, 1964. 384 с. 4. *Миц А.А.* Основные направления научно-исследовательских работ радиотехнического факультета // Вестник ХПИ. 1967. № 22(70). Вып. 1. С. 3-7. 5. *Миц А.А.* Радиотехническому факультету Харьковского политехнического института 25 лет // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 5-10. 6. Борис Леонідович Кашцев: Біобібліографічний показник УАА. Відп. ред. Ю.І. Волошук. Київ, 2001. 52 с. 7. *Федынский В.В.* Метеоры. М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1956. 111 с. 8. *Лагутин М.Ф.* Комплексные исследования динамики метеорного притока радарными и лидарами в Украине // Радиотехника. 2006. Вып. 146. С. 135-138. 9. *Дудник Б.С., Кашцев Б.Л., Лагутин М. Ф., Лысенко И.А.* Система защиты от импульсных помех в аппаратуре, регистрирующей метеорную активность // Радиотехника и электроника. 1958. Т. III. Вып. 11. С. 1379-1383. 10. *План научных исследований в Международном геофизическом году в 1957-1958 гг.* // Инф. бюлл. МГТ. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 63 с. 11. *Наблюдения метеоров.* Инструкция / Под ред. В. В. Федынского. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 48 с. 12. *Дудник Б.С., Кашцев Б.Л., Лагутин М. Ф. и др.* Изучение метеорной активности радиолокационным методом на частоте 72 МГц // Изв. высш. уч. зав. Сер. Радиофизика. 1958. Т. 1. № 2. С. 66-70. 13. *Кашцев Б.Л.* Радиолокационные наблюдения метеоров по программе Международного геофизического года // Исследования Ионосферы и метеоров. Сб. статей. М.: Изд-во АН СССР, 1960. № 2. С. 40-53. 14. *Астапович И.С.* Метеорные явления в земной атмосфере. М.: Физматгиз, 1958. 267 с. 15. *Кашцев Б.Л., Дудник Б.С., Лагутин М.Ф., Лысенко И. А.* Аппаратура для радиолокационных наблюдений метеоров // Метеоры. Сб. статей. 1960. № 1. С. 2-10. 16. *Elliott C.D., Davies J.G.* Velocity of meteors measured by diffraction of radio waves from trails during formation // Nature. 1948. Vol. 161. P. 596-597. 17. *Davies J.G.* Radio observations of meteors // Advances in electronic and electron physics. 1957. Vol. 9. P. 95-128. 18. *Кашцев Б.Л., Лебединец В.Н., Суворов Ю.И.* Численность метеоров по наблюдениям, проведенным в Харькове в 1957-1960 годах // Метеоры. Сб. статей. 1960. № 1. С. 11-19. 19. *Кашцев Б.Л., Дудник Б.С., Лагутин М. Ф. и др.* Радиолокационные наблюдения метеоров в Харькове // Ионосферные исследования. Метеоры. Сб. статей. М.: Изд-во АН СССР. 1962. № 8. С. 7-20. 20. *Дудник Б.С., Кашцев Б.Л., Лагутин М. Ф., Лысенко И.А.* Скорость метеоров в потоке Геминид // Астрономический журнал. 1959. Т. 36. Вып. 1. С. 141-145. 21. *Кашцев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М. Ф.* Орбита Геминид 1959 года. // Метеоры. Сб. статей. 1960. № 1. С. 25-28. 22. *Кашцев Б.Л., Лагутин М.Ф., Лысенко И.А.* // Доповіді АН УРСР. Сер. Астрономія. 1961. № 5. С. 626. 23. *Кашцев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М. Ф.* Радиолокационные определения орбит индивидуальных метеоров // Астрономический журнал. 1961. Т. 38. № 4. С. 361-369. 24. *Кашцев Б.Л., Лебединец В.Н.* Радиолокационные исследования метеорных явлений. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 124 с. 25. *Кашцев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М. Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260 с. 26. *Перегудов Ф.И.* Характеристика метеора как радиолокационной цели. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1960. 59 с. 27. *Фиалко Е.И.* Радиолокационные методы наблюдения метеоров. М.: Сов.радио, 1961. 112 с. 28. *Бондарь Б.Г., Дудник Б.С., Ткачук А.А.* Передающее и антенное устройства метеорной станции высокой эффективной чувствительности // Вестник ХПИ. Радиотехника. 1967. № 22(70). Вып. 1. С. 38-42. 29. *Волошук Ю.И., Нечитайленко В.А.* Регистратор метеорной станции высокой эффективной чувствительности // Вестник ХПИ. Радиотехника. 1967. № 22(70). Вып. 1. С. 23-26. 30. *Кашцев Б.Л., Делов И.А., Дудник Б.С., Ткачук А.А.* Радиолокационный комплекс для исследования слабых метеоров // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 11-18. 31. *Кашцев Б.Л., Волошук Ю.И., Дудник Б.С. и др.* Радиолокационные наблюдения численности метеоров в Харькове на шести уровнях регистрации // Вестник ХПИ. Радиотехника. 1969. № 36(84). Вып. 2. С. 3-14. 32. *Кашцев Б.Л., Делов И.А., Дудник Б.С. и др.* Измерение радиантов и орбит слабых метеоров // Вестник ХПИ. Радиотехника. 1969. № 36(84). Вып. 2. С. 15-21. 33. *Кашцев Б.Л., Новоселова Н.В., Ткачук А.А.* Характеристики орбит слабых метеоров (до +12<sup>m</sup>) // Астрономический вестник. 1970. Т. 4. № 4. С. 248-251. 34. *Кашцев Б.Л., Дудник Б.С., Новоселова Н.В., Ткачук А.А.* Исследование характеристик слабых метеоров радиометодом // Доклады АН СССР. 1971. Т. 196. № 4. С. 805-807. 35. *Кашцев Б.Л., Новоселова Н.В., Ткачук А.А.* Скорости и орбиты мелких метеорных тел // Астрономический журнал. 1973. Т. 50. Вып. 6. С. 1337-1339. 36. *Ткачук А.А.* Замечаемость слабых метеоров. Сб. Проблемы космической физики. Киев: Вища шк., 1974. Вып. 9. С. 92-98. 37. *Hawkins G.S., Lindblad V.A., Southworth R.B.* The velocity of faint meteors // Smithsonian. Contribs. Astrophys. 1964. V. 8. № 4. P. 133-141. 38. *Whipple F.L., Southworth R.B., Nilsson C.S.* // Smithsonian. Astrophys. Observ. Special Rep. 1967. № 239. 37 p. 39. *Жуков В.В., Дудник Б.С.* Радиолокационная аппаратура для измерения высот метеоров // Респ. межвед. науч.-техн. сб. Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 25-29. 40. *Бабаджанов П.Б., Кашцев Б.Л., Нечитайленко В.А., Федынский В.В.* Радиометеорные исследования циркуляции верхней атмосферы. Душанбе: Дониш, 1974. 171 с. 41. Орбиты и численность метеоров по наблюдениям на экваторе. Отв. ред. Федынский В.В. Материалы мирового центра данных Б. М.: МГТ, 1975. 167 с. 42. *Бабаджанов П.Б., Кашцев Б.Л., Новоселова Н.В., Федынский В.В.*

Измерение численности метеоров на экваторе // Доклады АН СССР. 1974. Т. 218. № 1. С. 70-73. 43. *Бабджанов П.Б., Кащеев Б.Л., Новоселова Н.В., Федьинский В.В.* Результаты измерения радиантов метеоров на экваторе // Доклады АН СССР. 1974. Т. 218. № 2. С. 308-311. 44. *Дьяков А.А.* Об одном аспекте проблемы автоматизации обработки данных радиолокационных исследований метеорных явлений // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 55-58. 45. *Дьяков А.А.* Исследование алгоритма вычисления скорости метеора по данным радионаблюдений // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 58-62. 46. *Волощук Ю.И.* Статистический анализатор численности радиометеоров // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1971. Вып. 16. С. 48-55. 47. *Федьинский В.В., Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И., Дьяков А.А.* Радионаблюдения метеоров с применением автоматизированных систем // Вестник АН СССР. 1976. № 10. С. 89-94. 48. *Федьинский В.В., Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Новоселова Н.В., Ткачук А.А.* Параметры орбит метеорных тел по радиолокационным наблюдениям // Доклады АН СССР. 1974. Т. 215. № 1. С. 72-75. 49. *Кащеев Б.Л., Ткачук А.А.* Результаты радиолокационных наблюдений слабых метеоров. Каталог орбит метеоров до +12<sup>m</sup>. Материалы мирового центра данных Б. М.: МГТ, 1980. 232 с. 50. *Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И., Ткачук А.А. и др.* Метеорная автоматизированная радиолокационная система // Метеорные исследования. М.: Сов. радио, 1977. № 4. С. 11-61. 51. *Кащеев Б.Л., Лизогуб В.В.* Ветровой автомат. III. Первичная обработка сигналов // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1975. Вып. 32. С. 3-7. 52. *Кащеев Б.Л., Нечитайленко В.А., Лизогуб В.В. и др.* Ветровой автомат. IV. Результаты экспериментального исследования // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». 1976. Вып. 36. С. 7-15. 53. *Кащеев Б.Л., Нечитайленко В.А., Лизогуб В.В. и др.* Автоматическая метеорная РЛС для исследования циркуляции атмосферы // Сб. «Кометы и метеоры». Душанбе: «Дониш», 1976. № 24. С. 3-18. 54. *Кальченко Б.В., Лизогуб В.В., Суворов Ю.И., Шевченко В.А.* Измерение параметров ветра радиометеорным методом в четырех азимутах // Сб. «Метеорные исследования». М.: Радио и связь, 1985. № 10. С. 23-29. 55. *Лизогуб В.В., Семенуха С.Л., Суворов Ю.И., Соляник О.А.* Поискный метод метеорной радиолокации // Сб. «Метеорные исследования». М.: Радио и связь, 1987. № 13. С. 43-48. 56. *Глобальная сеть РЛС для метеорных исследований / Отв. ред. Нечитайленко В.А.* Материалы Мирового центра данных Б. М.: МГТ, 1981. 76 с. 57. *Кальченко Б.В., Лизогуб В.В., Лысенко И.А., Портнягин Ю.И., Степанов А.М., Фахрутдинова А.Н.* Результаты наблюдений в СССР дрейфа метеорных следов по программе средней атмосферы. Каталог данных. Материалы Мирового центра данных Б. М.: ВИНТИ, 1981; 1983; 1984. 58. *Зацепя Н.С., Кащеев Б.Л., Ткачук А.А.* Метеорная обстановка в космическом пространстве // Проблемы безопасности полетов. 1973. № 2. С. 58-67. 59. *Зацепя Н.С., Кащеев Б.Л., Ткачук А.А.* Метеорная опасность в космосе // Авиация и космонавтика. 1974. № 12. С. 27-29. 60. *В.И. Бержастый, Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Ткачук А.А. и др.* О некоторых результатах комплексных измерений пространственной плотности метеорного вещества в околоземном пространстве // Ракетно-космическая техника. 1979. Сер. 12. Вып. 4. С. 63-73. 61. *Олейников А.Н., Олейников В.Н., Лизогуб В.В., Жуков В.В., Сосновчик Д.М., Шкарлет А.И.* Радиометеорные исследования динамики атмосферы в Харькове // Радиотехника. 2006. Вып. 146. С. 24-43. 62. *Кащеев Б.Л., Цесевич В.П.* Исследование циркуляции атмосферы в метеорной зоне. М.: Наука, 1965. 64 с. 63. *Бондарь Б.Г., Кащеев Б.Л.* Метеорная связь. Киев: Техника, 1968. 120 с. 64. *Нечитайленко В.А.* Статистическая теория радионаблюдений метеорного ветра. М.: Наука, 1979. 103 с. 65. *Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л.* Распределение метеорных тел вблизи орбиты Земли. М.: Наука, 1981. 187 с. 66. *Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Кручиненко В.Г.* Метеоры и метеорное вещество. Киев: Наук. думка, 1989. 293 с. 67. *Кащеев Б.Л., Коваль Ю.А., Горбач В.И., Бондарь Б.Г.* Метеоры сегодня. Киев: Техніка, 1996. 196 с. 68. *Антютов И.Е., Коваль Ю.А., Обельченко В.В.* Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. Харьков: Коллегиум, 2006. 306 с. 69. *Лебедев Т.С., Соллогуб В.Б.* Вклад ученых Украины в исследования по программе Международного геофизического года // Международный геофизический год. Информационный бюллетень. № 2. Киев: Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1960. С. 3-31.

<sup>1</sup> *Национальный научный центр  
«Институт метеорологии»,*

<sup>2</sup> *Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

<sup>3</sup> *Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 05.01.2010*