

ПАМЯТИ БОРИСА ЛЕОНИДОВИЧА КАЩЕЕВА

УДК 621.396.96: 523. 68

*С.В. КОЛОМИЕЦ, канд. физ.-мат. наук, Ю.И. ВОЛОЩУК, д-р техн. наук,
Н.И. СЛИПЧЕНКО, д-р физ.-мат. наук*

Б.Л. КАЩЕЕВ И МЕТЕОРНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Введение

Метеорные исследования получили мощный импульс в своем развитии благодаря международной программе мирового масштаба "Международный геофизический год 1957" (МГГ 1957). Имя Бориса Леонидовича Кащеева и МГГ 1957 неотделимы (рис. 1, 2) [1].



Рис. 1. Значки участника МГГ1957 (вверху) и МГГ 2007. Справа внизу значок 2007 г. за значительный вклад в МГГ1957 – "Золото МГГ 1957"



Рис. 2. Сертификат IUGG & AGU за вклад Б.Л. Кащеева в программу МГГ 1957

Для исследователей солнечно-земных связей и многих других научных направлений эта программа и 1957 год, как год открытия космической эры человечества, являются ключевыми в их становлении и дальнейшем бурном развитии. Прогресс метеорных исследований был дополнительно обусловлен внедрением в наблюдения радиометодов (рис. 3) и интенсивным совершенствованием самих радиометодов вместе с новыми запросами молодой космической науки на прогноз метеороидной безопасности для космических полетов вблизи и на расстоянии. Геофизики немедленно применили радиометеоры как актуальное средство для изучения циркуляции атмосферы на метеорных высотах, используя метеорные ионизационные следы как природные зонды в земной атмосфере. Астрономы смогли получить небывалую статистику орбит метеорных тел, сотни тысяч орбит радиометеоров и возможность наблюдать метеоры в дневное время суток независимо от погоды или сезона. Прикладные аспекты метеорных исследований, такие как метеорная связь, метрология шкал времени и частоты также были в ракурсе повышенного интереса общества и получили виток своего развития. Харьковская научная школа метеорной радиолокации, у истоков и этапов развития которой стоял профессор ХНУРЭ Борис Леонидович Кащеев (08.03.1920 – 15.01.2004), имеет весомые достижения по всем направлениям метеорных исследований: геофизическом, астрономическом и прикладном. Многоплановость самой природы метеорных явлений определила повышенный интерес к их изучению и связанных с ними процессов и объектов в различных областях наук, в том

числе на стыке наук. В XXI веке появились новые возможности аппаратных и программных средств в области радиоэлектроники, так что появление более прогрессивных метеорных радиотехнических систем повышенной сложности и многофункциональности, таких как MAARSY (Middle Atmosphere Alomar Radar System) в Норвегии, CMOR (Canadian Meteor Orbital Radar) в Канаде, SAAMER (The Southern Argentina Agile Meteor Radar) в Аргентине и других – закономерный процесс. Оценивая уровень современных метеорных исследований через призму достижений метеорных исследований в Харькове, можно увидеть, что, во-первых, по многим аспектам харьковские исследователи метеоров научной школы метеорной радиолокации Б.Л. Кашеева были первопроходцами, а, во-вторых, что ими во второй половине XX века был решен ряд пионерских научно-технических задач и созданы средства для проведения экспериментов, например такие как АУ (автоматический угломер) или МАРС (метеорная автоматизированная радиолокационная система, рис.4), имеющие на выходе результаты, которые даже сейчас, в XXI веке, могут составить конкуренцию мировым лидерам.

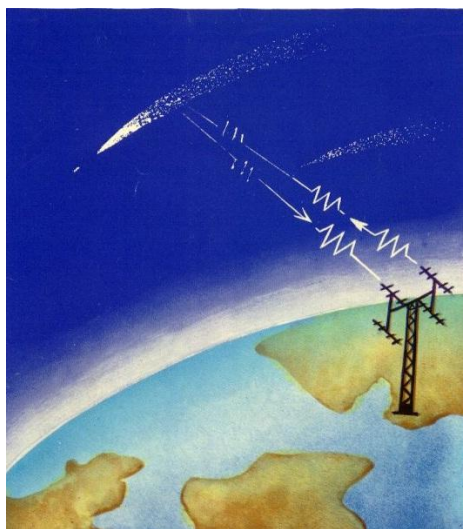


Рис. 3. Схематическое изображение метода метеорной радиолокации на рекламном проспекте 1980-х годов автоматического угломера, ставшее брендом



Рис. 4. Передаточная и приемная антенны МАРС для регистрации численности и орбит метеоров 1972 – 1978 гг. (Балаклейский полигон Харьковской области, рабочая частота 31,1 МГц)

История харьковских метеорных исследований

Научная школа метеорной радиолокации проф. Б.Л. Кашеева начала свое формирование при подготовке проведения программы МГГ 1957 в стенах Харьковского политехнического института (ХПИ) на базе кафедры основ радиотехники радиотехнического факультета как небольшая группа ученых-энтузиастов во главе с Б.Л. Кашеевым, которая в 1954 году зарегистрировала первый радиометеор в Украине. 1956 год стал особым годом в становлении радиометеорных исследований в Украине и в Харькове: Б.Л. Кашеев становится заведующим кафедры ОРТ, заканчивается строительство загородной радиометеорной наблюдательной базы вблизи Балаклеи под Харьковом и кафедра ОРТ приобретает статус официального участника программы МГГ 1957 раздела 5 "Ионосфера. Метеоры".

К моменту подведения итогов этой программы в 1958 году в Москве на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза на кафедре ОРТ уже имелся высококвалифицированный коллектив профессионалов (вскоре после этого получивший статус проблемной научно-исследовательской лаборатории – ПНИЛ с целевым финансированием), который самостоятельно смог разработать метеорную радиолокационную систему на загородной на-

блюдательной базе под Харьковом и провести наблюдения, которые были признаны лучшими на мировом уровне во время МГГ 1957.

Коллектив исследователей ПНИЛ ОРТ во главе с Б.Л. Кашеевым стартовал с высокой планкой собственных мировых достижений и удерживал ее длительное время. Среди весомых достижений коллектива периода 60-х годов XX века – Советская экваториальная экспедиция в Сомали в 1968 – 1970 гг. (совместно с Институтом астрофизики Таджикской ССР) и разработка метеорной автоматизированной радиолокационной системы (МАРС) первого поколения. Общая "звездная дорога" Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ) и метеорной школы Б.Л. Кашеева началась в 1971 году, 45 лет назад, когда подготовка радиотехников распоряжением правительства была переведена из ХПИ в ХИРЭ (Харьковский институт радиоэлектроники), куда вместе с радиотехническим факультетом и кафедрой ОРТ была перемещена и метеорная ПНИЛ Б.Л. Кашеева. Эта совместная дорога запечатлена "звездной росписью" – присвоением Международным астрономическим союзом (МАС) трем астероидам с номерами №6811, № 10681 и №13009 имен "Кашеев" (2000 г.), "ХТУРЭ" (2001 г.) и "Волощук"(2002 г.).



Рис. 5. Свидетельство МАС о присвоении астероиду №6811 имени Kashcheev



Рис.6. Свидетельство МАС о присвоении астероиду №13009 имени KTURE



Рис.7. Свидетельство МАС о присвоении астероиду №13009 имени Voloshchuk

Период 70-х годов знаменателен разработкой многофункциональной метеорной системы МАРС второго поколения, признанной в 70-х годах XX века самой высокочувствительной в то время метеорной радиолокационной системой в мире, регистрирующей численность метеоров до +14 звездной величины и орбиты метеоров до +12 звездной величины в полностью автоматизированном режиме. 80-е годы XX века связаны с проведением по инициативе Б.Л. Кашеева всемирной программы ГЛОБМЕТ (Глобальной системы метеорных наблюдений), с которой связаны выдающиеся достижения геофизического направления, прикладного направления по метрологии шкал времени и частоты, получение золотой медали ВДНХ за астрономическое приложение комплекса МАРС и другие. 90-е годы XX века и начало XXI века отмечены также созданием на основе долговременных наблюдений МАРС 1972-1978 гг. электронной базы данных 250 000 орбит метеорных тел и базы 5160 метеорных потоков и ассоциаций, теоретически выделенных по авторским методикам. В 2004 году метеорный радиотехнический комплекс ХНУРЭ под названием "Многофункциональный геофизический комплекс для исследований атмосферы и притока метеорного вещества ХНУРЭ (с.Ольховатка Балаклейского района Харьковской области)" внесен в перечень объектов, являющихся национальным достоянием Украины. Арсенал достижений метеорной научной школы Б.Л. Кашеева включает как

экспериментальные разработки, такие как известный метеорный комплекс МАРС с его экспериментальными данными высокого качества и объема, непревзойденными по многим аспектам даже сегодня по астрономическому направлению, первый в мире МСТ- радар по геофизическому направлению, высококачественная система сличения шкал времени и частоты "Метка" по прикладному направлению, так и значимые теоретические разработки, что отражено в многочисленных публикациях всех направлений (более 500, включая монографии) [2]. В 1996 году за монографию "Метеоры и метеорное вещество" [3] ученые ХНУРЭ (Б.Л. Кащеев и Ю.И. Волощук) удостоены астрономической премии имени Н.П. Барабашова Президиума АН Украины. В 2007 г., учитывая весомые результаты астрономического направления научной школы метеорной радиолокации ХНУРЭ имя Б.Л. Кащеева присвоено научно-исследовательской лаборатории радиоастрономии НИЧ ХНУРЭ. Научная школа проф. Б.Л. Кащеева – это сочетание ярких исторических страниц и личностей с весомыми результатами мирового уровня. Детальные этапы развития харьковских метеорных исследований отражены в [1].

Современные радиолокационные системы для метеорных исследований. SkiYMET-радары

Остановимся на рассмотрении современных метеорных радиотехнических систем повышенной сложности и многофункциональности. Среди них упомянутые MAARSY в Норвегии, SMOR в Канаде, SAAMER в Аргентине. В полном масштабе тенденции и прогресс в метеорных исследованиях по всем трем метеорным направлениям в небольшой статье описать не представляется возможным из-за обширности имеющегося материала, поэтому обозначим только некоторые акценты. Рассмотрим SkiYMET- системы, которые обслуживают геофизическое и астрономическое направления, имея многофункциональность, подобную метеорной системе МАРС.

Интерферометрический метеорный радар с обзором всего неба SkiYMET (All-Sky Interferometric Meteor Radar) является научным инструментом, используемым для наблюдения метеоров и техногенных объектов, когда они входят в атмосферу Земли. Это радиолокационная система (РЛС), которую по аналогии с терминологией дальнего зарубежья принято называть метеорным радаром. На основании наблюдений с помощью метеорных радаров SkiYMET можно измерить широкий спектр атмосферных и астрономических параметров. SkiYMET-радар является экономически эффективным и компактным радаром и предназначен для работы в автоматическом режиме в течение длительного периода времени. SkiYMET-радар может быть инсталлирован с минимальными затратами времени и усилий и подходит как для стационарной работы, так и для использования на выезд. Программное обеспечение системы доступно с использованием точечного или графического интерфейса пользователя и включает в себя конфигурирование, контроль, обнаружение, анализ и графические пакеты дисплея. Метеорный радар имеет применение в самых разнообразных областях, включая метеорную астрономию, физику атмосферы, космические исследования, космическую погоду, исследование космического мусора и поддержку запуска космических аппаратов. SKiYMET является совместной разработкой австралийских ученых с MARDOC Inc. (Канада). MARDOC (Modular Antenna Radar Designs Of Canada) Inc. является компанией, которая специализируется на разработке и внедрении радиолокаторов с научными приложениями. В текущих производствах MARDOC ветровые профилометры (windprofiler-радары) под названием WindTracker и метеорная система обзора всего неба под названием SKiYMET. Атмосферные радары применяются при решении задач атмосферной физики и циркуляции атмосферы. Примерами геофизических установок MARDOC являются VHF WindProfiler-радары: McGill (Квебек, Канада), Clovar (Лондон, Онтарио, Канада), Alwin и Saura (Kuhlungsborn, Germany). Другим основным продуктом компании MARDOC являются метеорные SKiYMET-радары с астрономическими приложениями для определения численности (1-й уровень) и индивидуальных орбит метеоров (2-й уровень). Стоимость метеорного орбитального радара порядка 200 – 250 тысяч долларов США. Метеорные системы с астрономическим приложением инсталлированы, в том числе, в Канаде, США, Бразилии, Швеции, Норвегии, Германии, Австралии, на острове Вознесения.

Канадский орбитальный радар SMOR (астрономический SKiYMET)

В 100 км от Лондона в пункте с координатами $43^{\circ},3$ N; $-80^{\circ},8$ E (около Тависток, штат Онтарио, Канада) расположена метеорная радиолокационная система SMOR [4], называемая канадским метеорным орбитальным радаром, с производительностью ~ 2500 индивидуальных метеороидных орбит ежедневно. SMOR является мультисигментным радаром КВ / УКВ диапазонов для обнаружения ионизированных следов, связанных с абляцией метеороидов в Земной атмосфере (рабочая частота 29,85 МГц). SMOR эксплуатируется с 1999 г. Вначале регистрировалась только численность, а с января 2002 г. система стала способной регистрировать радианты и скорости, а также орбиты, и к 2009 г. число зарегистрированных орбит достигло 4 млн. В мае 2009 г. первоначальный SMOR I был заменен эквивалентным, но более современным образцом SMOR II. Модернизированная система имеет вдвое большую мощность передачи (12 кВт вместо 6 кВт) и более высокую стабильность. Обеспечены высокие временные точности сравнения основного и выносных пунктов, развернуты еще три выносные пункта. Первоначальные пункты (Thames и Gerber) расположены на расстоянии 8,1 км и 6,2 км от основного пункта (Zehr). На SMOR проводятся следующие измерения и решаются такие задачи: измерение спорадического фона в качестве средства, позволяющего понять происхождение и эволюцию межпланетного метеороидного населения и основных источников спорадических метеоров Солнечной системы; долгосрочная программа поиска, записи и характеристик радиолокационных метеорных потоков и использование этой информации для более точного определения вероятных родительских связей метеорных потоков; радиолокационные измерения возможных межзвездных метеороидов, чтобы установить существование популяции крупных межзвездных метеороидов, приходящих на Землю и выяснить их астрофизические источники (YSOs, debris-disks, AGB stars); усовершенствование существующей теории переуплотненных следов в верхних слоях атмосферы с помощью радиолокационных измерений, произведенных на разных частотах; измерение отражений от метеорных следов на нескольких частотах, чтобы исследовать влияние начального радиуса метеорного следа; определение профиля линейной электронной плотности для метеорных следов с использованием отражений на нескольких пунктах, чтобы усовершенствовать модель абляции метеороидов; использование новых данных шести станций SMOR II для оценки торможения метеороидов с измерением объемной плотности метеорного следа и корреляции этих оценок с орбитами для понимания физической структуры популяций различных источников (астероидного, от долгопериодических комет и от объектов пояса Койпера).

Южно-аргентинский многофункциональный метеорный радар SAAMER

Радиолокационные системы измерения параметров метеоров существовали на протяжении многих десятилетий, но последние достижения в области высокоскоростных цифровых систем сбора данных позволили разработать программное обеспечение высокочувствительных цифровых приемников. The Southern Argentina Agile Meteor Radar является радиолокационной системой нового поколения, развернутой в Рио-Гранде, Огненная Земля, Аргентина ($53^{\circ},8$ S, $67^{\circ},8$ W) в мае 2008 г. [5]. SAAMER (рабочая частота 32,55 МГц) излучает в 10 раз больше энергии, чем обычные метеорные радары и использует недавно разработанный передающий блок, который фокусирует мощность вверх вместо традиционной конфигурации с одной антенной, обзорающей все небо. Конфигурация системы такова, что антенна передатчика может быть использована в качестве приемной. Новая конструкция значительно повышает чувствительность радара, что позволяет обнаруживать большое количество частиц при малых зенитных углах. Повышение излучаемой мощности позволяет расширить возможности исследования метеоров по сравнению с теми, которые характерны для этих систем на основе зеркальных отражений. Например, рутинные обнаружения головных эхо-сигналов и незеркальных трасс ранее были возможны только при высокой мощности и больших апертурах. В августе 2010 г. SAAMER был модернизирован до системы, способной определять параметры

орбит метеороидов. Это было достигнуто добавлением двух выносных приемных станции примерно в 10 км от основного пункта в двух перпендикулярных направлениях. Это значительно расширяет научные возможности SAAMER в изучении орбитальных свойств межпланетной пылевой среды. Из-за уникального географического расположения SAAMER обеспечивает дополнительное межполушарное сравнение с измерениями канадского SMOR. Первоначальные исследования показывают, например, что SAAMER наблюдает значительный вклад протяженного Южного тороидального источника метеоров, что раньше было малодоступно. SAAMER дает уникальную возможность изучать метеорные потоки и ассоциации с учетом диапазона южных эклиптических широт. С его помощью можно эффективно наблюдать радианты от южного полюса эклиптики до приблизительно 30° N и получить детальное изучение потоков в высоких южных широтах, которые недостижимы для SMOR. И, наконец, SAAMER идеально подходит для развертывания дополнительной аппаратуры как для постоянных наблюдений, так и для кампаний в оперативных режимах. В фокусе задач SAAMER, в том числе проведение кампаний радиолокационных исследований метеоров одновременно с оптическими наблюдениями.

Астрономические задачи современных метеорных исследований

Современные астрономические задачи с точки зрения метеорной радиолокации почти полностью описаны выше как задачи, решаемые канадским метеорным радаром SMOR и аргентинским радаром SAAMER. Указанные астрономические задачи решались и раньше и имели этапное решение коллективом ученых ХНУРЭ под руководством Б.Л. Кашеева, в том числе проводили метеорные исследования в экваториальной зоне. На имеющейся элементной базе своего времени были получены результаты и решения мирового уровня. И в ряде случаев эти результаты стояли на первом месте среди мировых достижений. Был определен спектр астрономических задач метеорных исследований и он до сих пор актуален. В настоящее время можно дополнительно поставить акцент на широком развертывании наблюдательных сетей в отдельных странах и в консорциуме, в том числе и комплексных одновременных наблюдений, включающих радиоустановки и оптические системы (с телевизионными включительно). Поиск и сбор метеоритов набирает обороты и в отдельных странах приобретает широкий публичный характер, например, метеорная сеть FRIPON (Fireball Recovery and Inter Planetary Observation Network) во Франции. На новый уровень поднят вопрос об астероидно-кометной опасности (дополнительно актуализированный падением Челябинского метеорита в 2013 г.). Метеорная астрономия в этом еще не сказала свое последнее слово. Приток в Земную атмосферу вещества естественного и техногенного происхождения все чаще изучается совместно. Огромный интерес возобновлен к структуре и эволюции межпланетного пылевого диска, межзвездным метеорам в связи с многочисленными открытиями экзопланет в других звездных системах и объектов пояса Койпера в Солнечной системе. Нужно сказать, что еще со времен Б.Л. Кашеева геофизические и астрономические задачи были переплетены и часто эти направления обслуживали друг друга. Физика метеорного явления в атмосфере Земли была общим ядром обоих направлений. Каталогизация наблюдательных данных, передача их мировому сообществу, сейчас реализованная он-лайн Internet-возможностями в виде виртуальных обсерваторий и международных центров хранения данных, решалась коллективом ученых ХНУРЭ под руководством Б.Л. Кашеева в те, теперь далекие, времена. Это было сложнее, так как это была эпоха первых ЭВМ, а не современных компьютеров, но такая работа была начата, задача была частично решена и сегодня актуально продолжать каталогизацию и современную архивацию накопленных уникальных данных системы MAPS и других результатов метеорной научной школы ХНУРЭ.

Заключение

В ходе перестройки научно-технического потенциала Украины с вектором на широкую международную кооперацию научных исследований появляются дополнительные возможно-

сти продолжения успешных метеорных исследований в Украине и в Харькове, в частности, с учетом современных тенденций развития метеорной науки. Радиолокационные метеорные исследования, выполненные в рамках научной школы метеорной радиолокации Б.Л. Кашеева, с начала их возникновения были связаны с крупнейшими международными геофизическими, а впоследствии астрономическими и прикладными, проектами мирового масштаба. Метеорные исследования ХНУРЭ имеют более чем полувековой опыт проведения и интерпретации наземных радиолокационных наблюдений слабых метеоров. За это время уникальные обширные экспериментальные данные были получены и сохранены, развита теоретическая база. Харьковская метеорная радиолокационная система МАРС (Украина) приобрела статус важного астрономо-геофизического инструмента в мировой истории. Подразделения ХНУРЭ и метеорная наблюдательная база под Харьковом стали известны на международной арене как метеорный центр по радиолокационному исследованию метеоров в Харькове, который является аналогом обсерватории и выполняет те же функции генератора и аккумулятора специальных знаний и навыков, является всемирно известной студией. Харьков и расположение инструмента МАРС стали брендовыми (знаковыми) точками на Земном шаре как место, где проводились метеорные радиолокационные исследования мирового класса. Харьковские метеорные исследования и их результаты вписаны в историю метеорной науки большими буквами, а, значит, могут быть увековечены специальным образом, в частности UNESCO, приданием особого статуса инструменту МАРС как исторически значимому. Но, главное как в ХНУРЭ, так и в Украине – научно-технический потенциал школы метеорной радиолокации Б.Л. Кашеева должен быть использован для дальнейшего развития метеорного научного направления, которое актуально и сегодня. При этом поддержка государства и заинтересованных структур желательна на всех уровнях.

Список литературы: 1. *Становление и развитие радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове* / А.А. Ткачук, В.В. Лизогуб, С.В. Коломиец // Радиотехника. – 2010. – Вып. 160. – С.7-20. 2. *Борис Леонідович Кашеев: Бібліографічний показник* / УАА: Відп.ред.та авт.вступ.ст. Ю.І. Волощук. – Київ, 2001. – 52с. 3. *Метеоры и метеорное вещество* / Ю.И.Волощук, Б.Л. Кашеев, В.Г. Кручиненко : АН УССР, Гл.астр.обсерв. – Киев : Наук.думка, 1989. – 296 с. 4. *Canadian Meteor Orbit Radar " system overview and preliminary results* / J.Jones, P. Brown, K.J. Ellis et al. // Planetary and Space Science. – 2005. – Vol.53, N4. -P.413–421. 5. *Interferometric meteor head echo observations using the Southern Argentina Agile Meteor Radar* / D. Janches, W. Hocking, S. Pifko et.al. // J. Geophys. Res.: Space Physics. – 2014. – №119. – P.2269 – 2287.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 28.03.2016