

60 лет от первого совещания по ИСЗ до современных систем дистанционного зондирования и мониторинга Земли из космоса: информационно-математический аспект (история и перспективы)

Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова*

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
125047, г. Москва, Миусская площадь, 4*

Поступила в редакцию 28.02.2014 г.

Речь идет о пионерских атмосферно-оптических космических исследованиях и консервативных системах дистанционного зондирования околоземного космического пространства и Земли на основе ее радиационных характеристик. Космические исследования – это такая область фундаментальных и прикладных работ, которая с первых шагов своего становления не могла развиваться без использования ЭВМ. Освоение космического пространства послужило значительным фактором совершенствования ЭВМ и формирования новых научных направлений, связанных с математическим моделированием радиационного поля Земли, теориями переноса изображения, видения, обработки и распознавания образов и т.д. Информационно-математическое обеспечение – обязательная составная часть любого космического проекта. Представлена краткая история атомного и космического проектов и формирования научных школ по теории переноса излучения, чтобы восстановить истинные факты начала открытия космической эры и развития космонавтики и показать, как гениальные математик М.В. Келдыш и конструктор С.П. Королев вместе покорили космос. Важно обратить внимание на перспективное научное направление, связанное с приложениями «computer science» с параллельными супервычислениями, ГРИД и «облачными» технологиями в многогранных космических исследованиях, проблемах дистанционного зондирования Земли (Remote Sensing), эволюции окружающей среды и климата Земли.

Ключевые слова: история космической эры, Главный теоретик М.В. Келдыш, Главный конструктор С.П. Королев, пилотируемая космонавтика, атмосферная и космическая оптика, дистанционное зондирование Земли, «computer science», информационно-математический аспект; history of the space age, the Chief theoretician-mathematician M.V. Keldysh, Chief engineer-constructor S.P. Korolev, the manned space flight, space & atmospheric optics, Earth remote sensing, computer science, information and mathematical aspect.

Введение

60 лет назад, в середине февраля 1954 г., в кабинете Мстислава Всеволодовича Келдыша (ныне кабинет-музей академика М.В. Келдыша при Президиуме РАН в историческом здании [1] Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН) [2, 3] состоялось первое совещание [4–6], на котором впервые обсуждался вопрос о создании и запуске в космическое пространство искусственного спутника Земли (ИСЗ). В совещании участвовали будущие академики математики-механики Д.Е. Охочимский и Т.М. Энеев – ученики М.В. Келдыша, которые как теоретики прокладывали первые маршруты космических кораблей. Присутствовали С.П. Королев, П.Л. Капица, И.А. Кибель, М.К. Тихонравов, А.Ю. Ишлинский, С.Н. Вернов и др. Это были ученые, конструкторы и инженеры – ведущие про-

фессионалы и специалисты, непосредственно связанные с созданием космической техники, и те, кто мог высказать предложения по научным исследованиям, которые нужно было бы проводить со спутников [6]. В результате 12 февраля 1955 г. вышло постановление о строительстве космодрома «Байконур».

Космические исследования – это такая область фундаментальных и прикладных работ, которая с первых шагов своего становления не могла развиваться без использования электронно-вычислительных машин (ЭВМ, компьютер). Освоение космического пространства послужило значительным фактором совершенствования ЭВМ и формирования новых научных направлений, связанных с математическим моделированием радиационного поля Земли, теориями переноса изображения, видения, обработки и распознавания образов и т.д.

В настоящей статье кратко представлена история создания информационно-математического обеспечения – обязательная составная часть любого космического проекта – при разработке систем «космического землеобзора» и дистанционного зондирования

* Тамара Алексеевна Сушкевич (tamaras@keldysh.ru); Сергей Александрович Стрелков; Светлана Викторовна Максакова.

Земли из космоса (ДЗЗ). Существенное отличие современных технологий ДЗЗ от пионерских и предыдущих заключается, преимущественно, в методах приема, обработке и представлении космических данных, т.е. лежит в области информационных технологий.

А как это начиналось?

В 2007 г. прогрессивное мировое научное общество отметило эпохальные юбилеи:

– 150-летие Константина Эдуардовича Циолковского (05.09.1857–19.09.1935);

– 100-летие академика (с 1958 г.) Сергея Павловича Королева (12.01.1907–14.01.1966);

– 50-летие запуска первого искусственного спутника Земли (04.10.1957).

Запуск первого искусственного спутника Земли – это «подарок» к 50-летию член-корреспондента С.П. Королева [7] – Главного конструктора космонавтики!

На прошедшем 1–5 октября 2007 г. Международном космическом форуме «Космос: наука и проблемы XXI века», посвященном 50-летию запуска первого ИСЗ, администратор NASA Майкл Гринфилд свою речь посвятил успехам советских ученых – пионеров в области космонавтики, и отметил огромное влияние советской космонавтики на космические проекты в США. По мнению NASA и Европейского космического агентства: в первые 10–15 лет космической эры советская космонавтика занимала лидирующее положение и многие достижения в космосе являлись пионерскими.

В 2011 г. отмечали три эпохальных юбилея:

– 300-летний юбилей одного из первых русских академиков М.В. Ломоносова (8 (19) ноября 1711 – 4 (15) апреля 1765) – первого русского учено-естествоиспытателя мирового значения, основателя Императорского Московского университета, открывшего на Красной площади в Москве в 1755 г. и впоследствии названного в его честь (на базе его лаборатории цветного стекла возник Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова – одна из головных организаций в освоении космоса);

– 100-летний юбилей гениального ученого и организатора науки, единственного математика трижды Героя Социалистического Труда, президента Академии наук СССР (1961–1976 гг.), академика (с 1946 г.) М.В. Келдыша (10.02.1911–24.06.1978);

– 50-летие первого полета человека в космос, который совершил 12 апреля 1961 г. первый космонавт планеты Ю.А. Гагарин (09.03.1934–27.03.1968).

Запуск первого космического корабля с человеком на борту – это «подарок» к 50-летию М.В. Келдыша – Главного теоретика космонавтики! К 100-летию М.В. Келдыша коллектив Института прикладной математики преподнес символический памятный подарок – разработал и запустил гибридный суперкомпьютер «К-100», сокращенное название которого имеет двойной смысл:

– Компьютер-100 с пиковой производительностью 100 Тфлопс;

– Келдыш-100 в честь 100-летия М.В. Келдыша.

Признавая заслуги советского народа в покорении космоса, 8 апреля 2011 г. Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций приняла Резолюцию о провозглашении 12 апреля «Международным днем полета человека в космос». В Резолюции ООН подчеркивается, что «12 апреля 1961 г. состоялся первый полет человека в космос, который совершил Юрий Гагарин – советский гражданин, родившийся в России». Этот важный международный акт признания исторического факта приоритета СССР в космосе позволяет защитить историю космонавтики от переписывания и искажений.

В 2013 г. состоялись важные юбилеи:

– 50-летие полета в космос первой женщины-космонавта Валентины Владимировны Терешковой, и это была гражданка Советского Союза;

– 50-летие первого научного эксперимента, проведенного космонавтами во время полета на пилотируемых космических кораблях [8–10], и это первый научный эксперимент по ДЗЗ, который провели на «Восток-5» В.Ф. Быковский (14–19 июня 1963 г.) и «Восток-6» В.В. Терешкова (16–19 июня 1963 г.). Впервые ученые с участием космонавтов сделали открытие: наблюдая из космоса, обнаружили аэрозольные слои в стратосфере [10–12], возникшие в результате мощного извержения влк. Агунг в марте 1963 г. (Гунунг Агунг – гора-вулкан на о. Бали, Индонезия), и подтвердили гипотезу Юнга о существовании динамично изменяющегося «стратосферного аэрозольного слоя Юнга» с максимумом концентрации крупных частиц между 15 и 25 км;

– 60-летие первого в мировой науке и практике института по «computer sciences» – Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук (бывшее Отделение прикладной математики Математического института имени В.А. Стеклова АН СССР – ОПМ МИАН, на правах Института), известного в мире как «Институт Келдыша», – для решения стратегической задачи создания «ракетно-ядерного щита» новыми методами научных исследований, прежде всего на основе эффективного математического расчета на ЭВМ (Постановление ЦК КПСС; Распоряжение Совета Министров СССР от 18 апреля 1953 г., № 6111-рс; Распоряжение Президиума АН СССР, апрель 1953 г.). С 1947 г. М.В. Келдыш руководил работами по созданию ЭВМ, и первую серийную ЭВМ «Стрела» поставили в ОПМ МИАН, а главному конструктору «Стрелы» Ю.Я. Базилевскому присвоили звание Героя Социалистического Труда.

В 2014 г. отмечается 100-летие Георгия Владимировича Розенберга (29.04.1914–09.12.1982), автора первого и других пионерских научных экспериментов в космосе [11–17], крупнейшего специалиста по атмосферной оптике и оптическим методам дистанционного зондирования атмосферы и океана, аэрозолей и облачности [17]. В 1954 г. вышла первая статья Т.А. Сушкевич по теории переноса излучения [18], которая послужила стартом для всей последующей научной деятельности в сфере фундаментальных исследований по теории и практике математического моделирования переноса излучения

в природных и искусственных средах и пионерских работ по созданию информационно-математического обеспечения для проектов освоения космического пространства и становления космических исследований, в том числе космической атмосферной оптики в широком диапазоне спектра от ультрафиолетовых до миллиметровых волн [19, 20].

За достижения в ДЗЗ в 2002 г. была присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники за работу «Разработка и внедрение методов и технологий аэрокосмического мониторинга природной среды» коллективу: Л.А. Макриденко, Г.М. Полищук, А.М. Волков (посмертно), А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих, В.В. Козодеров, С.А. Ушаков, В.Г. Бондур, В.А. Малинников, В.П. Савиных, А.С. Викторов, О.И. Смоктий, Т.А. Сушкевич.

Открытие космической эры и освоение космоса — это заслуга советских ученых, конструкторов, инженеров под руководством выдающихся личностей — Главного теоретика М.В. Келдыша и Главного конструктора С.П. Королева [4]. Человечество обязано помнить обоим, так как только вместе они — теоретик-математик и инженер-конструктор — смогли покорить космос! Научная и организационная деятельность блестящего математика М.В. Келдыша — это неоспоримое свидетельство важнейшей роли математики и фундаментальной науки в научно-техническом прогрессе XX в., развитии естествознания и гуманитарных наук, высоких технологий и техники в XXI в.

Настоящая статья ориентирована на приложения теории переноса излучения в ДЗЗ. Сложность становления космических исследований и реализации космических проектов была обусловлена тем, что приходилось иметь дело с «замкнутым кругом»:

— чтобы запустить на космические орбиты аппараты и измерить характеристики радиационного поля Земли, нужны предварительные оценочные расчеты этих характеристик на основе моделей теории переноса излучения с учетом многократного рассеяния и поглощения солнечного излучения, а также собственного излучения атмосферы и поверхности Земли;

— чтобы смоделировать перенос излучения в системе «атмосфера — земная поверхность», нужны данные о пространственных и спектральных распределениях оптико-геофизических параметров атмосферы, описывающих взаимодействие солнечного и собственного излучения с компонентами земной атмосферы и земной поверхностью.

Настоящая статья — признание заслуг первопроходцев в освоении космического пространства и космических технологий ДЗЗ: это космонавты-исследователи на первых пилотируемых космических кораблях (ПКК) и долгосрочных орбитальных станциях (ДОС) Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, А.Г. Николаев, П.Р. Попович, В.В. Терешкова, В.Ф. Быковский, А.В. Филипченко, Н.Н. Рукавишников, А.А. Леонов, В.Н. Кубасов, В.А. Шаталов, А.С. Елисеев, В.И. Севастьянов, В.Г. Лазарев, О.Г. Макаров, П.И. Климук, Б.В. Вольнов, Е.Б. Хрунов, В.Н. Волков, В.С. Комаров, В.В. Горбатко, В.В. Аксенов,

В.В. Ковалёнок, В.В. Рюмин, Г.Т. Береговой и др., а также космонавты-исследователи, которые защитили докторские диссертации по материалам космических атмосферно-оптических исследований и ДЗЗ из космоса, — Г.М. Гречко, члены-корреспонденты РАН В.П. Савиных и В.В. Лебедев; это советские ученые, внесшие значимый вклад в становление космических исследований и ДЗЗ, М.В. Келдыш, А.Н. Тихонов, А.М. Обухов, К.Я. Кондратьев, В.В. Соболев, В.А. Амбарцумян, Г.И. Марчук, Г.А. Михайлов, К.С. Шифрин, А.И. Лазарев, М.М. Мирошников, Е.О. Федорова, В.П. Козлов, А.С. Селиванов, В.Н. Сергеевич, И.И. Кокшаров, Л.И. Чапурский, Е.С. Кузнецов, Т.А. Гермогенова, М.В. Масленников, М.С. Малкевич, Г.В. Розенберг, А.Б. Сандомирский, Г.И. Горчаков, А.Х. Шукуров, И.Н. Минин, О.И. Смоктий, А.А. Бузников, А.П. Гальцев, О.Б. Васильев, Ю.М. Тимофеев, О.М. Покровский, Л.С. Ивлев, Б.С. Непорент, М.С. Киселева, Э.Г. Яновицкий, В.М. Орлов, В.Г. Бондур, Н.И. Аржененко, В.В. Козодеров, А.П. Тищенко, Ч.Й. Виллман, О.А. Авасте, В.Н. Досов, В.В. Филюшкин, М.А. Назаралиев, В.Е. Зуев, М.В. Кабанов, С.Д. Творогов, Г.Г. Матвиенко, Ю.С. Макушкин, Г.М. Креков, В.В. Фомин, Ю.Н. Пономарев, В.П. Лукин, В.В. Белов, В.А. Крутиков, И.В. Самохвалов, М.В. Панченко, А.Г. Боровой, А.М. Волков, Л.А. Пахомов, А.А. Феоктистов, Д.А. Усиков, В.Г. Золотухин, А.К. Городецкий, В.В. Бадаев, Я.Л. Зиман, Г.А. Аванесов, У.М. Султангазин, Г.Ш. Лившиц, В.Е. Павлов, В.Л. Филиппов, Н.И. Москаленко, В.Н. Арефьев, А.М. Броунштейн и др. [20–27].

В 1965 г. организован Институт космических исследований АН СССР, в который перешли подразделения из Института Келдыша и других учреждений. Основателем и первым директором (1965–1973) ИКИ АН СССР по рекомендации Президента АН СССР М.В. Келдыша являлся его соратник академик Г.И. Петров (31.05.1912–13.05.1987). Особо следует отметить ученых из Белоруссии: организатор Института физики Б.И. Степанов (28.04.1913–07.12.1987), бывший ректор Минского госуниверситета Л.И. Киселевский (12.04.1927–08.10.1991), Ф.И. Федоров, А.П. Иванов, К.С. Адзериho, В.Е. Плото, К.Г. Предко, Э.П. Зеge, И.Л. Кацев, А.П. Пришивалко, П.Я. Ганич, Л.И. Чайковская, А.Б. Гаврилович, П.Я. Бойко, С.А. Макаревич, Б.И. Беляев, С.Б. Костюкевич, А.А. Ковалев, С.И. Кононович, Е.К. Науменко, А.Н. Валентюк, Ю.А. Лебединский и др.

Решение задач ДЗЗ невозможно без «константного обеспечения», которое называли «оптико-метеорологическими моделями», содержащими распределения и оптические характеристики атмосферных газов и аэрозолей в зависимости от «оптической погоды» для разного времени суток, сезонов, регионов. Первыми были коллективы из Института физики атмосферы АН СССР под руководством академика А.М. Обухова, Г.В. Розенберга и А.Б. Сандомирского (МИЭиА МАП), М.С. Малкевича, Е.М. Фейгельсон и из Ленинграда под руководством академика К.Я. Кондратьева (бывшего ректора Ленинградского университета) [26, 27]. В ГОИ им. С.И. Вавилова и ГИПО было несколько лабораторий, которые

систематизировали данные из советских и зарубежных источников. В 1969 г. на основе лаборатории инфракрасного излучения Сибирского физико-технического института академик Владимир Евсеевич Зуев (29.01.1925–06.06.2003) создал Институт оптики атмосферы Томского филиала СО АН СССР, в котором сформировалась прекрасная научная школа по молекулярной спектроскопии и аэрозолям, лазерному зондированию, оптике и акустике атмосферы и гидросферы и т.п. Это был весомый вклад в отечественную науку ДЗЗ.

При подготовке аналитических исторических обзоров [24, 25] были изданы три препринта [21–23], в которых собраны наиболее значимые публикации по созданию космических и информационных технологий, и пионерские издания, содержащие результаты и достижения в области ДЗЗ (более 800 ссылок). Сейчас это воспринимается как история науки.

Атомный и космический проекты и научные коллективы ДЗЗ

XX в. в истории земной цивилизации — это век научно-технической революции (НТР), связанной с тремя великими открытиями: проникновение в тайны строения вещества и овладение ядерной энергией; покорение космического пространства и выход человека в космос; изобретение ЭВМ и информационных технологий. Компьютер явился главным действующим лицом, основным двигателем НТР: использованные ядерной энергии, полет в космос, информационные технологии были бы невозможны без ЭВМ.

Два эпохальных научных проекта — атомный и космический — способствовали колоссальному развитию советской науки, которая могла конкурировать с мировой наукой XX в. Были заложены основы новой технологии, которую позже назвали «математическое моделирование» и «computer science». Разработка информационно-математических аспектов этих двух проектов привела к расцвету кинетической теории переноса нейтронов, заряженных частиц, излучения разной природы в широком диапазоне спектра длин волн (от ультрафиолета до инфракрасных и далее до миллиметровых), лежащей в основе прямых и обратных задач ДЗЗ в приближении уравнения Больцмана [18–41].

В Институте Келдыша в 1955 г. Евграф Сергеевич Кузнецов (13.09.1901–17.02.1966) создал отдел № 7 «Кинетические уравнения», который принимал активное участие в работах по обоим проектам. В 1952 г. Е.С. Кузнецов [28] заложил фундамент и ныне работающего математического отдела Физико-энергетического института (ФЭИ, г. Обнинск). После Е.С. Кузнецова этим отделом руководил академик Г.И. Марчук с 1955 г. до переезда в Новосибирский академгородок в 1963 г. В Обнинске Г.И. Марчук подготовил первую книгу по теории и алгоритмам решения задач теории переноса. Здесь же в 1961 г. вместе с В.В. Орловым была опубликована первая статья по теории сопряженных решений и функции ценностей, а позже «функции ценности» как подход к решению обрат-

ных задач Г.И. Марчук внедрил в космические исследования и обработку данных метеорологических спутников [29, 30].

По теоретическим результатам работ в рамках атомного проекта в Арзамасе академик В.С. Владимир на основе докторской диссертации в 1961 г. опубликовал широко известные труды [31], которые до сих пор являются «настоющей книгой» для ученых разных поколений. В 50-е гг. В.С. Владимир, Е.С. Кузнецов, Г.И. Марчук являлись главными специалистами по теории переноса, ориентированной на атомный проект и атомную энергетику. В «атомном проекте» участвовал и коллектив из Ленинграда под руководством К.Я. Кондратьева — И.Л. Кароль, Г.А. Никольский и др., которые оценивали геофизические последствия взрыва бомбы и распространение разных видов загрязнений.

О космических исследованиях заговорили в 1955 г. Идеологом и организатором космических исследований был М.В. Келдыш [4–6]. Стоявшая перед ним задача была принципиально новой: предстояло не только составить программу экспериментов на отдельном аппарате, но и наметить основные возможности развития науки и освоения космического пространства с помощью космических средств. По его указанию летом 1955 г. из Академии наук разослали письма ученым разных специальностей с одним вопросом: «Как можно использовать космос?». Мнений и предложений было много и разных.

Для убеждения руководителей СССР в необходимости освоения космического пространства и запусков космических спутников и кораблей М.В. Келдыш, как государственный деятель, человек общегосударственного масштаба, выделил две главные задачи: разведка и наблюдения Земли, вокруг которых сформировались многие научно-исследовательские проекты, а в дальнейшем целые отрасли промышленности и многие научно-исследовательские коллективы в академических и отраслевых институтах и вузах. Эти задачи востребованы до сих пор. Между СССР и США был достигнут паритет по межконтинентальным баллистическим ракетам, способным донести ядерный заряд в любой регион, и остро стояла проблема разработки и создания противоракетной обороны. М.В. Келдыш поставил грандиозную стратегическую задачу «упреждения старта ракет из космоса» в рамках проекта создания «ракетно-ядерного щита». Этот фантастический проект до сих пор актуален и является мощным сдерживающим фактором глобальных войн и в настоящее время.

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 декабря 1959 г., № 1388-618 «О развитии исследований космического пространства» утвердило главную задачу — осуществление полета человека в космос. Порядок создания и сроки запуска кораблей-спутников были определены постановлением ЦК КПСС от 4 июня 1960 г., № 587-238 «О плане освоения космического пространства». А 28 января 1960 г. решением Правительства для координации работ был образован Межведомственный научно-технический совет по космическим

исследованиям при АН СССР (МНТС по КИ), и М.В. Келдыша назначили его Председателем, С.П. Королева – заместителем. Запуск первого ИСЗ серии «Космос» 16 марта 1962 г. положил начало осуществлению комплексной научной программы оптических исследований и дистанционного зондирования околоземного космического пространства и Земли. Так зародилось новое научное направление, которое в мировой науке называют «remote sensing», аэрокосмическое дистанционное зондирование Земли – важнейшая основа фундаментальных и прикладных космических исследований.

Для космических проектов и космических наблюдений с первых шагов освоения космического пространства необходимо было разрабатывать методологию решения двух основных классов многомерных задач теории переноса излучения [20]:

- прежде всего для сферической 2D- и 3D-оболочки (сферическая Земля с атмосферой),

- а позже для плоского 2D- и 3D-слоя (система «атмосфера – земная поверхность») с двумя типами источников:

- внешним параллельным потоком солнечного (коротковолнового) излучения,

- собственным (длинноволновым, инфракрасным, миллиметровым) излучением.

Пионерские информационно-математические и теоретико-расчетные исследования при проектировании и реализации первых космических аппаратов, а также первых космических атмосферно-оптических и ДЗЗ экспериментов не случайно осуществлялись тремя ведущими коллективами специалистов по (математическому) моделированию переноса излучения в природных средах на ЭВМ [19, 20, 32–38], которые сформировались под руководством:

- академика К.Я. Кондратьева (14.06.1920–01.05.2006) и академика В.В. Соболева (02.09.1915–07.01.1999) в Ленинграде;

- академика М.В. Келдыша (10.02.1911–24.06.1978), академика А.Н. Тихонова (30.10.1906–07.10.1993), профессора Е.С. Кузнецова (13.03.1901–17.02.1966), академика А.М. Обухова (05.05.1918–03.12.1989), профессора Г.В. Розенберга (29.04.1914–09.12.1982) и д.ф.-м.н. М.С. Малкевича (02.03.1924–15.06.1994) в Москве;

- академика Г.И. Марчука (08.06.1925–24.03.2013) и лауреата Ленинской премии (в 28 лет за работу по «атомному проекту») члена-корреспондента Г.А. Михайлова (06.03.2014 исполнилось 80 лет) в Новосибирском академгородке. В 1979 г. коллективу ученых в составе Г.И. Марчука (руководителя работы), Г.А. Михайлова, С.М. Ермакова, В.Г. Золотухина, Н.Н. Ченцова присуждена госпремия «За цикл работ по развитию и применению метода статистического моделирования для решения многомерных задач теории переноса излучения».

В 40–50-е гг. XX в. А.Н. Тихонов, Е.С. Кузнецов, А.М. Обухов, Г.В. Розенберг, К.Я. Кондратьев, Г.И. Марчук, Н.А. Колмогоров и др. работали в Геофизическом институте АН СССР, который основал математик-алгебраист академик О.Ю. Шмидт (18.09.1891–07.09.1956).

С 1925 г. Е.С. Кузнецов [28] занимался теорией переноса солнечного и теплового излучения в атмосфере и море в связи с проблемами авиации, климата, прогноза погоды, метеорологии, урожайности и т.д. А.Н. Тихонов (30.10.1906–07.10.1993) уже имел уникальный опыт по проведению вычислительных экспериментов и решению больших задач в рамках «атомного проекта» [42]. Апофеозом научного творчества А.Н. Тихонова и одним из наиболее ярких достижений науки XX в. является создание устойчивого метода решения широких классов обратных и некорректно поставленных задач [43]. В 1966 г. за эти работы А.Н. Тихонов был удостоен Ленинской премии. Созданный в Институте Келдыша в 60–80-е гг. вычислительный аппарат использовался для фундаментально-поисковых научных исследований по разработке методов и средств космических наблюдений, ДЗЗ, ориентации, стабилизации и навигации КА, астронавигации ракет, для интерпретации и анализа данных космических и комплексных экспериментов, проводимых на ПКК и ДОС, а также аэростатных, самолетных и наземных наблюдений.

Практическое применение результатов математического моделирования в академическом Институте Келдыша осуществлялось в рамках директивных заданий, а также в научном сотрудничестве по проблемам ДЗЗ со многими организациями (такова была миссия Академии наук СССР и ее институтов): ГОИ им. С.И. Вавилова, ГГО им. А.И. Воейкова, ИФА АН, ИО АН, МГИ АН Украины, ИРЭ АН, ИКИ АН, ИФ АН БССР, ЦАО, НПО «Планета», Физфак МГУ, ГОСНИЦИПР, ИЭМ, ИПГ, ЛГУ, ВНИИОФИ, Институт астрофизики КазССР, МИЭиА МАП, ИОА СО АН СССР, ЦКБ «Стрела», ЦКБ «Алмаз», ЦНИИ «Комета» МРП, Гос. НИИЩ «Природа», НИИ-2 МО, КБ «Южный», ЦСКБ «Сатурн», НПО им. С.А. Лавочкина, ЦНИИМАШ, НПО ГИПО, Абастуманская обсерватория, ИАиА и Тартуская обсерватория АН ЭССР, Калининский политехнический институт и др.

Важным фактором наших успехов явилось одновременное развитие методов и средств решения прямых и обратных задач теории переноса излучения, что позволяло проводить имитационный эксперимент на компьютерах еще на стадии проектирования систем наблюдения из космоса и ДЗЗ и способствовало повышению информативности космических данных. В середине 70-х гг. теоретико-расчетные исследования в области космических технологий принимают массовый характер. О приоритете отечественных работ по многомерным моделям планетных атмосфер свидетельствует обзор [44], подготовленный Жаклин Ленобль – президентом Международной комиссии по атмосферной радиации Международной ассоциации метеорологии и физики атмосферы, при участии К.С. Шифрина.

США отдавали предпочтение ИСЗ, работающим в автоматическом режиме. В хронологии пионерских работ советских ученых по ДЗЗ особое место занимают достижения советской пилотируемой космонавтики, связанные с огромной ролью ПКК и ДОС с экипажами космонавтов, которые проводили пионерские космические эксперименты

[8–16, 25–27, 34–41]. Исторический факт: в советских традициях одно и то же госзадание давали в три разные организации, где имелся научный и технический потенциал для выполнения стратегических государственных задач. Главными теоретиками-идеологами и ответственными исполнителями – «модельерами» и вычислителями – в решении этих задач на первых этапах были Г.А. Михайлов (Новосибирск), О.И. Смоктий (Ленинград) и Т.А. Сушкевич (Москва) [19].

Из зарубежных ученых необходимо отметить S. Chandrasekhar, J. Lenoble, Z. Sekera, J.V. Dave, R. Davies, J.W. Hovenier, Van de Hulst, J.E. Hansen, G.N. Plass, G.W. Kattawar, D.G. Collins, C.N. Adams, C.K. Whitney, Y.J. Kaufman, Y. Merler, D. Tanre, P.Y. Deschamps, R. Bellman, R. Kalaba, S. Ueno, W.J. Wiscombe, K.N. Liou et al.

Перспективы

К середине 70-х гг. благодаря работам советских и американских ученых фактически уже были заложены методические основы современных космических технологий ДЗЗ, которые в настоящее время являются массовыми и в них принимают участие ученые и специалисты из более чем 40 стран. В теоретических и прикладных исследованиях стал применяться термин «глобальная система» (ГС): необходимы анализ и синтез знаний о развитии планетарной цивилизации. Особую важность приобретает проблема адекватной оценки роли и значимость моделируемых подсистем в долгосрочной эволюции всей ГС, в том числе связанных с радиационным полем Земли.

Радиационные процессы играют центральную роль в теплоэнергообмене системы «атмосфера–земная поверхность» (суша, океан) и, как следствие, в формировании локального, регионального и глобального климата планеты. По современным оценкам радиационный форсинг на климат составляет около 40%. Нарушение радиационных процессов может спровоцировать разрушение самовосстановительного потенциала биосферы Земли и вызвать катастрофические последствия. Применение методов физико-математического моделирования и прогнозирования радиационных процессов, развитие информационной базы с использованием суперЭВМ и данных всемирного мониторинга и ДЗЗ создают основу для системного подхода к изучению такой динамичной и сложной системы, как планета Земля.

Разработки физико-математических моделей высокоинформированных каналов атмосферно-оптических наблюдений и ДЗЗ обеспечивают получение оперативных данных о широком круге оптических и метеорологических параметров атмосферы, океана, контроль уровня загрязненности воздушного и водного бассейнов, возможность систематических исследований быстротекущих процессов в системах «атмосфера–земная поверхность», «атмосфера–океан», «атмосфера–гидрометеоры» и т.д. В реальных условиях аэрокосмических наблюдений технологические возможности контроля состояния среды и изменения сигналов с необходимой точностью

ограничены, поэтому в подобных условиях многие методические вопросы могут быть сняты путем численного моделирования. Нужны модельные вычислительные эксперименты, ориентированные на решение проблемы планирования и оптимизации измерительных комплексов, проведения системных исследований по использованию комплексных средств для восстановления наиболее полного набора параметров среды на момент измерения. Методическая база для таких работ заложена. Система мониторинга и иерархия моделей – главные инструменты для прогнозирования изменений в природных процессах и разделения естественных и антропогенных воздействий.

Нужны информационно-математические модели универсального характера с широкой областью применимости, в частности для решения научно-фундаментальных и прикладных задач, связанных с проблемами глобальных изменений окружающей среды, климата Земли, изучения механизмов истощения озонового слоя, динамики биопродуктивности Мирового океана, прогнозирования, мониторинга и оценки последствий ряда техногенных и природных аварий и катастроф, развития методов и средств ДЗЗ (атмосферы, водоемов, земной поверхности) для экологического мониторинга наземными и аэрокосмическими комплексами, условий видения, освещения и радиационного (в том числе спектрально-радиационного) баланса планеты, солнечной энергетики, солнечно-земных связей, глобальных циклов кислорода, углерода, азота и радиационной фотохимии атмосферы с учетом газовых и аэрозольных примесей природного и антропогенного происхождения, загрязнения («мусора») космоса и верхней атмосферы, воздействия электромагнитного излучения на состояние и здоровье человека и т.д.

Теоретической основой этих работ является решение прямых и обратных задач теории переноса излучения с учетом поляризации и рефракции, аэрозольного и молекулярного рассеяния и поглощения солнечного и собственного излучения, анизотропии, пространственной неоднородности и стохастичности атмосферы, суши, океана, облачности, гидрометеоров с высоким спектральным и пространственным разрешением с использованием гиперспектральных подходов в диапазоне длин волн от УФ до ММВ, содержащем миллионы спектральных линий.

Новые перспективные возможности математического моделирования атмосферной радиации Земли связаны с разработкой информационно-математической системы для широкой области приложений на суперкомпьютерах и кластерах с распараллеливанием вычислений и распределением ресурсов, а также с привлечением «облачных» и GRID-технологий. В США, Японии, Германии, Англии, Франции, России и др. появились супер-ЭВМ нового поколения, ориентированные на массовый параллелизм и создание систем глобального мониторинга Земли. Такие системы тем более необходимы для развития перспективных гиперспектральных подходов для ДЗЗ [45–47].

Освоение космоса создало основы современной постиндустриальной цивилизации – информационное общество, базирующееся на трех «китах»: компьютер, Интернет и мобильная связь, которые вышли из космических проектов! Важнейшая задача будущего космонавтики – это прогноз эволюции Земли с учетом антропогенных и естественно-природных факторов воздействия и обеспечение «безопасности» планеты.

Работа поддержана РФФИ (проекты № 12-01-00009, 14-01-00197) и Российской академией наук (проект 3.5. ПФИ ОМН РАН).

1. Лазарев П.П. Физический Институт Научного Института. Исторический очерк // Успехи физ. наук. 1918. Т. 1, вып. 1. С. 54–66.
2. Келдыш М.В. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука, 2001. 416 с.
3. Мстислав Всеволодович Келдыш. 100 лет со дня рождения / ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Составители: Г.Н. Езерова, Ю.П. Попов, М.А. Лукичев. Ярославль: ООО Издательство РМП, 2011. 344 с.
4. Сушкевич Т.А. Главный Теоретик М.В. Келдыш и Главный Конструктор космонавтики С.П. Королев – покорители космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 9–25.
5. Сушкевич Т.А. М.В. Келдыш – организатор международного сотрудничества в космосе и первой советско-американской программы «Союз–Аполлон» (ЭПАС) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 4. С. 9–22.
6. Губарев В.С. Русский космос (Сверхдержава. Русский прорыв). М.: АЛГОРИТМ, 2006. 464 с.
7. Королева Н.С. Королев С.П. Отец. К 100-летию со дня рождения. В 3-х книгах. М.: Наука, 2007.
8. Лазарев А.И., Николаев А.Г., Хрунов Е.В. Оптические исследования в космосе. Л.: Гидрометеониздат, 1979. 256 с.
9. Лазарев А.И., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей. Л.: Гидрометеониздат, 1987. 400 с.
10. Сушкевич Т.А. К истории первого научного эксперимента по дистанционному зондированию Земли на пилотируемом космическом корабле // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 1, вып. 5. С. 315–322.
11. Розенберг Г.В. О сумеречных исследованиях планетных атмосфер с космических кораблей // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1965. Т. 1, № 4. С. 377–385.
12. Розенберг Г.В., Николаева-Терешкова В.В. Стратосферный аэрозоль по измерениям с космического корабля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1965. Т. 1, № 4. С. 386–394.
13. Альтовская Н.П., Розенберг Г.В., Сандомирский А.Б., Сушкевич Т.А. Поле яркости зари, наблюдаемой с космических кораблей // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1971. Т. 7, № 3. С. 279–290.
14. Альтовская Н.П., Розенберг Г.В., Сандомирский А.Б., Сушкевич Т.А. Некоторые результаты фотометрических исследований дневного горизонта Земли с космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1971. Т. 7, № 6. С. 590–598.
15. Розенберг Г.В., Сандомирский А.Б. Оптическая стратификация атмосферного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1971. Т. 7, № 7. С. 737–749.
16. Розенберг Г.В., Сандомирский А.Б., Сушкевич Т.А., Матешвили Ю.Д. Исследование стратификации аэрозоля в стратосфере по программе «Союз–Аполлон» // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1980. Т. 16, № 4. С. 861–864.
17. Розенберг Г.В. Оптические исследования атмосферного аэрозоля // Успехи физ. наук. 1968. Т. 95, вып. 1. С. 159–208.
18. Масленников М.В., Сушкевич Т.А. Асимптотические свойства решения характеристического уравнения теории переноса излучения в сильно поглощающих средах // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1964. Т. 4, № 1. С. 23–34.
19. Сушкевич Т.А. О пионерских работах по математическому моделированию радиационного поля Земли при освоении космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 1, вып. 5. С. 165–180.
20. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 661 с.
21. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задач дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 2. Препр. / ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (Москва). 1999. № 52. С. 1–32.
22. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задач дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 3. Препр. / ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (Москва). 1999. № 53. С. 1–32.
23. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задач дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 4. Препр. / ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (Москва). 1999. № 54. С. 1–32.
24. Sushkevich T.A. Solar and Terrestrial Radiation Research in Newly Independent States: A Review // Proc. Int. Radiation Sympos. IRS'96: Current Problems in Atmospheric Radiation. Fairbanks, Alaska, USA, August 19–24, 1996. Hampton, Virginia, USA: A.DEEPAC Publishing, 1997. P. 1021–1024 (по материалам приглашенного пленарного доклада).
25. Сушкевич Т.А. О решении задач атмосферной коррекции спутниковой информации // Исслед. Земли из космоса. 1999. № 6. С. 49–66.
26. Sushkevich T.A. Pioneering remote sensing in the USSR. 1. Radiation transfer in the optical wavelength region of the electromagnetic spectrum // Int. J. Remote Sensing. Special Issue: The Remote Sensing Heritage of Academician Kirill Ya. Kondratyev. 2008. V. 29, N 9. P. 2585–2597.
27. Sushkevich T.A. Pioneering remote sensing in the USSR. 2. Global spherical models of radiation transfer // Int. J. Remote Sensing. Special Issue: The Remote Sensing Heritage of Academician Kirill Ya. Kondratyev. 2008. V. 29, N 9. P. 2599–2613.
28. Кузнецов Е.С. Избранные научные труды (в связи со 100-летием со дня рождения) / Отв. ред. и сост. Т.А. Сушкевич. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
29. Марчук Г.И. О постановке некоторых обратных задач // Докл. АН СССР. 1964. Т. 156, № 3. С. 503–506.
30. Марчук Г.И. Уравнение для ценности информации с метеорологических спутников и постановка обратных задач // Космич. исслед. 1964. Т. 2, вып. 3. С. 462–477.

31. *Владимиров В.С.* Математические задачи односкоростной теории переноса частиц // Тр. МИАН им. В.А. Стеклова. Вып. 61. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 158 с.
32. *Сушкевич Т.А.* Осесимметричная задача о распространении излучения в сферической системе / Отчет № 0-572-6. М.: ИПМ АН СССР, 1966. 180 с.
33. *Малкевич М.С.* Оптические исследования атмосферы со спутников. М.: Наука, 1973. 303 с.
34. *Смоктий О.И.* Моделирование полей излучения в задачах космической спектрофотометрии / АН СССР. Ин-т информатики и автоматизации (Ленинград). Л.: Наука, 1986. 352 с.
35. *Кондратьев К.Я., Марчук Г.И., Бузников А.А., Минин И.Н., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Орлов В.М., Смоктий О.И.* Поле излучения сферической атмосферы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 215 с.
36. *Кондратьев К.Я., Смоктий О.И., Козодеров В.В.* Влияние атмосферы на исследования природных ресурсов из космоса / Под ред. Г.И. Марчука. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
37. *Козодеров В.В., Косолапов В.С., Садовничий В.А., Тимошин О.А., Тищенко А.П., Ушакова Л.А., Ушаков С.А.* Космическое земледелие: информационно-математические основы. М.: Изд-во МГУ, 1998. 576 с.
38. *Золотухин В.Г., Усиков Д.А., Грушин В.А.* Учет рассеяния света в атмосфере при обработке космических снимков земной поверхности // Исслед. Земли из космоса. 1980. № 3. С. 58–68.
39. *Турчин В.Ф., Козлов В.П., Малкевич М.С.* Использование методов математической статистики для решения некорректных задач // Успехи физ. наук. 1970. Т. 102, вып. 3. С. 345–386.
40. *Козлов В.П.* Избранные труды по теории планирования эксперимента и обратным задачам оптического зондирования. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 500 с.
41. *Розенберг Г.В.* Международный симпозиум по исследованию радиационных процессов // Успехи физ. наук. 1965. Т. 85, вып. 3. С. 564–577.
42. *Тихонов А.Н.* Собрание научных трудов: в 10 т. / Ред.-сост. Т.А. Сушкевич; РАН. Т. 1: Математика / Ред.-сост. Т.А. Сушкевич, В.Ф. Бутузов. М.: Наука (Классики науки), 2012. 638 с.
43. *Тихонов А.Н.* Собрание научных трудов: в 10 т. / Ред.-сост. Т.А. Сушкевич; РАН. Т. 3: Обратные и некорректные задачи / Ред.-сост. Т.А. Сушкевич, А.М. Денисов. М.: Наука (Классики науки), 2009. 630 с.
44. *Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах. Стандартные методы расчета / Под ред. Жаклин Ленобль: Перевод под ред. К.С. Шифрина. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 263 с.*
45. *Сушкевич Т.А., Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Стрелков С.А., Дмитриев Е.В., Максакова С.В.* Параллельные вычисления в задачах космического экологического мониторинга и гиперспектрального дистанционного зондирования Земли // Труды Междунар. суперкомпьютерной конф. «Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений». г. Новороссийск, 17–22 сентября 2012 г. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. С. 320–324.
46. *Белов В.В., Афонин С.В.* От физических основ, теории и моделирования к тематической обработке спутниковых изображений. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2005. 266 с.
47. *Бондур В.Г.* Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исслед. Земли из космоса. 2014. № 1. С. 3–17.

P.S. Историческая справка. Подготовка настоящей статьи проходила в условиях, когда в соответствии с Федеральным законом от 27 сентября 2013 года № 253 «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» Распоряжением правительства от 30 декабря 2013 года № 2591-р все академические институты были переданы в ведение вновь созданного Федерального агентства научных институтов, и тем самым закончилась 290-летняя история Академии наук, а управление наукой передали чиновникам. Но это будет другая история науки. Потому так важно писать об объективной фактической истории науки и наших достижениях, пока еще живы свидетели и участники великих научных свершений цивилизации в открытии космической эры и освоении космического пространства, которыми руководила Академия наук, чтобы предостеречь потомков и историков от искажений и домыслов: мы, советские ученые и инженеры-конструкторы, были первыми.

T.A. Sushkevich, S.A. Strelkov, S.V. Maksakova. 60 years from the first meeting on the artificial Earth satellite to the modern systems of remote sensing and monitoring the Earth from space: information and mathematical aspect (history and prospects).

The article is about the pioneer atmospheric-optical space researches and conservative systems of remote sensing of the near-earth space on the basis of the Earth radiation characteristics. Space researches are such area of fundamental and applied works, which from the first steps of the formation could not develop without the use of computers. Space exploration was a significant factor in the improvement of the computers and the formation of new scientific trends connected with mathematical modeling of the Earth radiation field, the theory of image transfer, theory of vision, theory of processing and recognition of images, etc. Information and mathematical software is an indispensable part of any space project. The short history of the nuclear and space projects and formation of scientific schools on the theory of radiation transfer is presented to restore the true facts of the beginning of opening of the space era and development of the cosmonautics. Our goal is to show as the ingenious Chief theoretician-mathematician V.M. Keldysh and Chief engineer-constructor S.P. Korolev together conquered space. It is important to pay attention to the prospective scientific directions connected with the application of “computer science” with parallel supercalculations, GRID and “cloudy” technologies in varied space researches, the problems of the Earth remote sensing, the evolution of environment, and climate of the Earth.