

История и перспективы развития исследований Земли из космоса в оптико-физическом отделе ИКИ РАН

Г.А. Аванесов

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
E-mail: genrikh-avanesov@yandex.ru*

Эта статья посвящена истории оптико-физического отдела ИКИ РАН (ОФО ИКИ). В ней упоминаются люди, стоявшие у истоков космических исследований Земли в стране и в институте, а также события, обозначившие основные этапы ее развития. Разные по масштабу и значимости, они стали результатом труда на протяжении последних пяти десятилетий и являются достоянием коллектива ОФО ИКИ.

Первые космические и самолетные эксперименты по многозональной фотографической и оптико-электронной съемке земной поверхности позволили обеспечить потребности научных и отраслевых потребителей в новых видах информации.

Космические исследования Земли были прерваны на десятилетие для участия отдела в проектах по исследованию малых тел Солнечной системы ВЕГА и «Фобос». В ходе этих проектов накоплены опыт и подходы к решению нестандартных задач космического приборостроения. Появляется понимание их общности для разных направлений исследований.

Возобновившись на новом уровне, работы отдела привели к тому, что практически на всех современных отечественных КА, предназначенных для исследования Земли из космоса, используются приборы, разработанные в ОФО ИКИ.

История отдела продолжается. Впереди – очередные шаги в развитии космических средств для исследования Земли из космоса.

Ключевые слова: оптико-физический отдел ИКИ РАН, исследование Земли из космоса, история, космическое приборостроение, оптико-электронные приборы, звездный датчик, БОКЗ, оптический солнечный датчик, многоспектральное сканирующее устройство, астронавигационная навигационная система

Любое направление науки и техники имеет свою историю. Имеют такую историю и коллективы. С началом развертывания в СССР работ по исследованию Земли из космоса в конце 60-х годов прошлого века началась и история оптико-физического отдела ИКИ РАН (ОФО ИКИ). Оптико-физический отдел сформировался как самостоятельное подразделение в самом начале 70-х годов прошлого века, когда ЦК КПСС и СМ СССР выпустили совместное Постановление о развертывании работ по исследованию природных ресурсов Земли с использованием космических средств. Текст этого Постановления готовился в стенах Государственного комитета по науке и технике (ГКНТ СССР) больше двух лет. Обсуждение текста шло весьма демократично, с участием всех заинтересованных сторон, а их было достаточно много. В его подготовке участвовали и сотрудники нашего института во главе с заместителем директора, доктором технических наук Ходаревым Юлием Константиновичем, человеком с большим опытом работы в космической области.



Юлий Константинович Ходарев

Доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии, создатель спутниковой связи «Молния», комплексов связи для передачи информации и комплексов научной аппаратуры для автоматических космических станций «Зонд», «Луна», «Венера», «Марс», комплексов аппаратуры для изучения Земли из космоса.

Он был энтузиастом нового направления исследований. Ему же принадлежала инициатива развертывания работ по исследованию Земли из космоса в ИКИ.

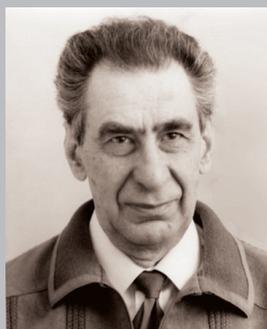
Организовывал обсуждение и редактировал текст Постановления начальник отдела ГКНТ Ганкевич Аркадий Викторович. Человек высочайшей эрудиции и коммуникабельности, он выступал модератором в спорных вопросах, которых было много. В Постановлении прописывались новые организации, их функции, структура, штаты и т.д. Было за что бороться. В конце концов, всем сестрам дали по серьгам. Главное управление по геодезии и картографии обзавелось Государственным центром «Природа» для работы с долговременной (фотографической) информацией. Возглавил его Киенко Юрий Павлович. В Государственном комитете по гидрометеорологии был создан Государственный научно-исследовательский центр исследования природных ресурсов Земли (Гос. НИЦ ИПР). Его возглавил Ветлов Иван Павлович.

А вот Академия наук ничего не получила. Попытка создать при ИКИ РАН научно-методический центр по исследованию Земли из космоса успехом не увенчалась, хотя, по сути, Институт в период 1973–1980 гг. эту роль выполнял в полном объеме.

Обсуждение проблемы ИПРЗ, именно такая аббревиатура использовалась в Постановлении, началось в нашем институте за два – три года до его выхода. Благородная, масштабная, увлекательная задача вызвала жгучий интерес не только у молодежи. Убеленные сединами крупные специалисты на глазах молодежи при ее обсуждении. Постановления ждали, так как именно оно открывало путь к созданию в институте специального отдела. Ждали не пассивно, вели целый комплекс подготовительных работ. Как только Постановление дошло до института, вышел приказ о создании отдела исследования Земли из космоса! Именно так назывался отдел в период с 1973 по 1988 г.

Возглавил отдел в то время кандидат технических наук Зиман Ян Львович. Очень энергичный и относительно молодой, он организовал работы сразу по нескольким направлениям: научному, научно-организационному и экспериментальному.

В рамках научных исследований на протяжении нескольких лет изучались и систематизировались потребности наук о Земле и отраслей хозяйственной деятельности в видах и формах космической информации, оптимальных с точки зрения ее получения, орбитах космических аппаратов, а также формировались основные требования к бортовой аппаратуре для сбора данных, средствам приема и распространения информации. К работе привлекались институты Академии наук и отраслевые организации. Шло плотное взаимодействие с Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения (ЦНИИМаш), научно-организационным отделом ГКНТ, Государственным комитетом по гидрометеорологии, ответственным за получение оперативной информации, и с Главным управлением по геодезии и картографии и его головным институтом ЦНИИ ГАИК, который должен был обеспе-

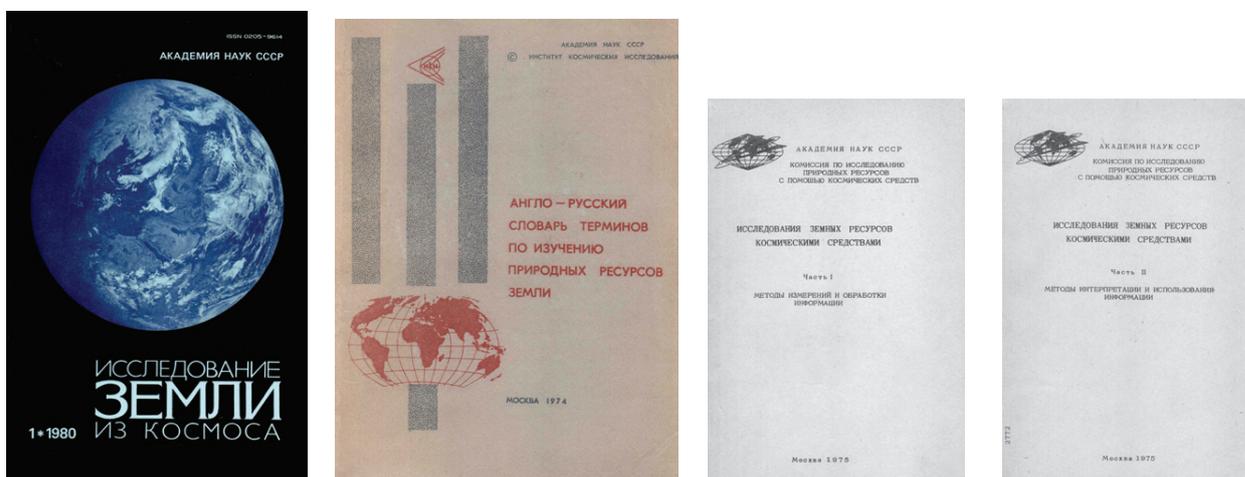


Ян Львович Зиман

Создал и возглавлял отдел с 1973 по 1988 г. Участник Великой Отечественной войны, кавалер 4 боевых орденов и 14 медалей, почетный штурман гражданской авиации, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки России, доктор технических наук, профессор.

чить, как тогда называлось, долговременную информацию – фотографическую. Результаты этих работ легли в основу проектов создания космических систем наблюдения земной поверхности, наземных центров приема и обработки данных, отчасти реализованных затем в СССР и в постсоветской России.

В научно-организационном плане отдел инициирует создание в рамках совета «Интеркосмос» новой международной рабочей группы, что позволило организовать площадку для международного сотрудничества по исследованию Земли из космоса. Начинается подготовка к созданию нового журнала «Исследование Земли из космоса». Первый номер этого журнала вышел в свет только в 1980 году. Очень многие из тех, кто принимал участие в разработке основополагающих документов по развертыванию ИПРЗ в стране, вошли в состав его редколлегии. Журнал существует до настоящего времени. Кроме того, отдел организует и проводит первые в стране всесоюзные научно-технические конференции по этой проблеме.



Слева направо: первый номер журнала «Исследование Земли из космоса», словарь терминов по ИПРЗ, сборники докладов школы-семинара

Первая такая конференция состоялась в марте 1975 г. в Звенигороде в пансионате АН СССР. Собралось там около 300 человек, что совсем не мало, особенно с учетом того, что работы по проблеме только начинали разворачиваться. Значительная часть докладов, касающихся принципов построения космической системы, методов измерений и обработки данных, была представлена специалистами ИКИ РАН.

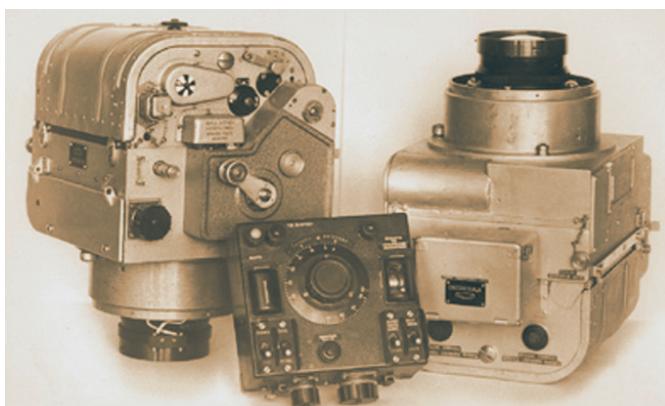
Накануне открытия конференции ИКИ РАН подготовил и выпустил «Англо-русский словарь терминов по изучению природных ресурсов Земли», розданный всем участникам.

Организатором конференции и ее душой был, несомненно, Зиман Я.Л. Ему, кстати, принадлежала идея, как организовать своевременный приезд участников. Банкет по случаю открытия Первой Всесоюзной Школы-семинара по исследованию земных ресурсов средствами космической техники был назначен на вечер в день заезда в пансионат...

Параллельно отдел активно развивает экспериментальное направление работ, используя для этой цели производственные возможности института, своего СКБ, внутри-

союзной и международной кооперации. Основная цель этих работ заключалась в том, чтобы создать в стране образцы космической информации, пригодные для использования научными и производственными организациями различного профиля в целях ознакомления и освоения при решении научных и практических задач.

В период 1973–1980 гг. отделом проводится серия экспериментов по многозональной фотосъемке земной поверхности с борта пилотируемых станций «Салют-2», «Салют-3» и космического корабля «Союз-22». На станциях «Салют» съемка земной поверхности сопровождалась синхронной съемкой звезд, что позволило начать разработку методов автоматической геопривязки снимков. Этому вопросу была посвящена одна из публикаций Зимана Я.Л. в ИКИ – «Определение ориентации КА по снимкам звезд», вышедшая в 1969 г., т.е. задолго до проведения экспериментов.



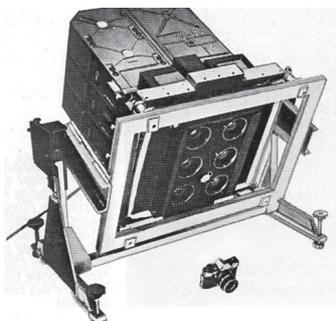
Аэрофотоаппараты АФА БА-210, адаптированные для установки на станцию «Салют»

На борт станций были установлены по два фотоаппарата БА-ЗК (бортовая аппаратура-звездная камера) Оба аппарата представляли собой специально доработанные фотоаппараты АФА-БА210, использовавшиеся в бомбардировочной авиации для контроля результатов бомбометания. Аппарат для съемки земной поверхности устанавливался в переходном отсеке. Съемка звезд производилась другим аппаратом, установленным в жилом отсеке.

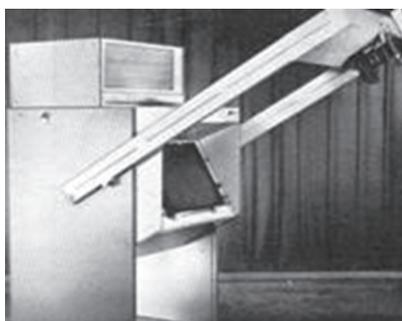
При съемке звезд в фотоаппаратах вводилась подсветка крестов координатных меток, которые впечатывались в кадры. Впечатывалось в снимок и время съемки. В процессе наземной обработки данные об ориентации станции на момент съемки извлекались из снимка звезд небесной сферы, дополнялись абсолютным временем и расчетными значениями орбитальных параметров. Все это в целом в перспективе должно было позволить выполнить геопривязку снимка без использования картографического материала. В перспективе, потому что извлечение из снимка звезд параметров ориентации КА требовало огромных трудозатрат. Измерение координат звезд и их распознавание по звездным атласам делались вручную. На обработку одного снимка на первых порах уходили недели. Но именно на этой основе постепенно складывались представления о методических подходах к решению задачи, необходимых для этого аппаратных средствах, принципах построения звездных каталогов, алгоритмах и программах автоматического распознавания звезд и т.д.

Для пилотируемого космического корабля «Союз-22» на народном предприятии «Карл-Цейсс Йена», ГДР, по техническому заданию ИКИ РАН разрабатываются и изготавливаются многозональный фотоаппарат МКФ-6 и многозональный синтезирующий проектор МСП-4 для наземной обработки снимков.

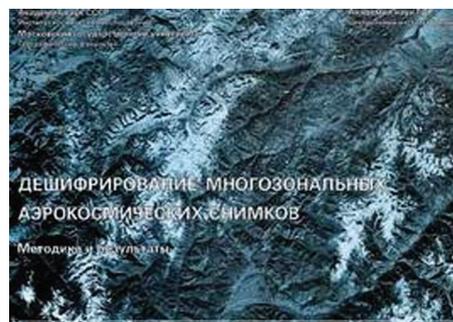
Полет пилотируемого космического корабля «Союз-22» состоялся в сентябре 1976 г. Чтобы выполнить съемку значительной части территории СССР, корабль был выведен на нестандартную для этого типа КА орбиту, с наклоном $64,76^\circ$ с апоцентром 317 км и перигентром 189 км. За неделю работы космонавты Быковский В.Ф. и Аксенов В.В. сделали несколько тысяч снимков самых различных природных объектов в шести зонах видимой и ближней ИК областей спектра. Эксперимент по многозональной съемке земной поверхности, выполненный в рамках программы «Интеркосмос», получил название «Радуга». Он дал богатый материал для развития в стране научно-методических исследований в области изучения Земли из космоса в виде большого числа высококачественных снимков земной поверхности с разрешением около 15 м.



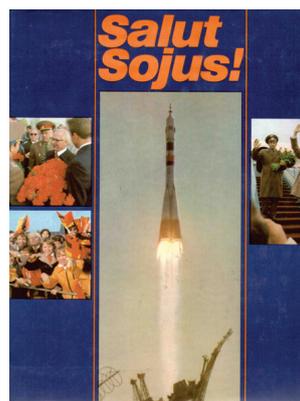
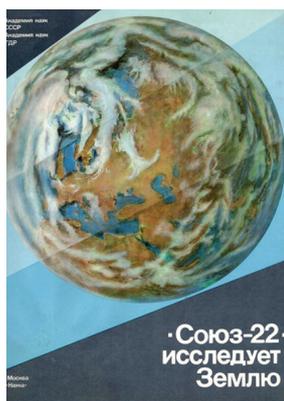
Многозональный фотоаппарат МКФ-6



Многозональный синтезирующий проектор МСП-4



Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты»



Книги, изданные в СССР и ГДР по результатам полета КК «Союз-22»

Параллельно с этими работами, понимая, что эра космической фотосъемки подходит к концу, отдел совместно со специальным конструкторским бюро института ведет разработку оптико-электронных съемочных устройств для самолетов и спутников. В 1980 г. на КА «Метеор-Природа №3» было выведено в космос многозональное съемочное устройство

(МСУ) «Фрагмент-2», что позволило впервые в СССР получить цифровую видеoinформацию, пригодную для проведения экспериментов по автоматизации процессов обработки данных. Экспериментальные съемки продолжались около четырех лет. Все это время цифровая видеoinформация регулярно поступала на наземный приемный пункт и, по возможности, распределялась между немногими организациями, способными ее обработать.

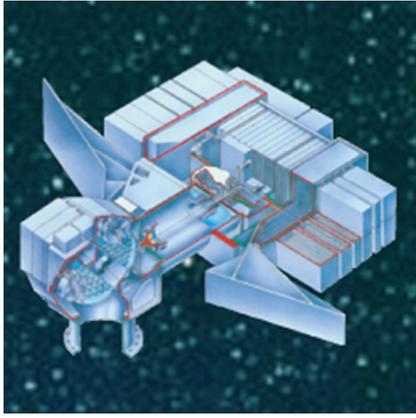


КА «Метеор-Природа №3»

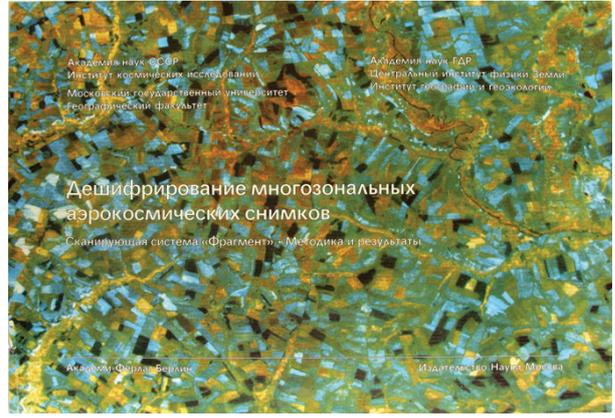
Разработка МСУ «Фрагмент-2» и сопутствующей инфраструктуры, включавшей в себя на борту цифровую систему передачи данных, а на Земле – приемную станцию, стала серьезным испытанием для всех участников проекта. Огромный прибор весом 288 кг содержал в себе множество новых, никогда и нигде не опробованных технических решений. Установка такого прибора на борт КА «Метеор» была риском и для ВНИИ ЭМ. Однако решение об установке прибора было принято самим Иосифьяном Андроником Гевондовичем, академиком, создавшим это предприятие в 1941 г. Только его авторитет и помощь его учеников и сподвижников, в первую очередь, со стороны Трифонова Юрия Валерьевича, дали возможность осуществить эксперимент.

Несколько слов об особенностях прибора «Фрагмент-2». Сканирующее устройство с зеркалом эллиптической формы с размером большой оси 260 мм выполняло развертку изображения поперек трассы полета КА по пилообразному закону с частотой 13 Гц. В фокальной плоскости следующего за зеркалом объектива стоял торец волоконно-оптического разветвителя, распределявшего световой поток по 30 фотоприемным устройствам на основе фотоумножителей и пяти твердотельным приемникам. Каждый фотоприемник обслуживался индивидуальным электропитанием, усилителем и аналого-цифровым преобразователем. Далее цифровые сигналы поступали на мультиплексор, а затем объединенный сигнал поступал в радиолинию.

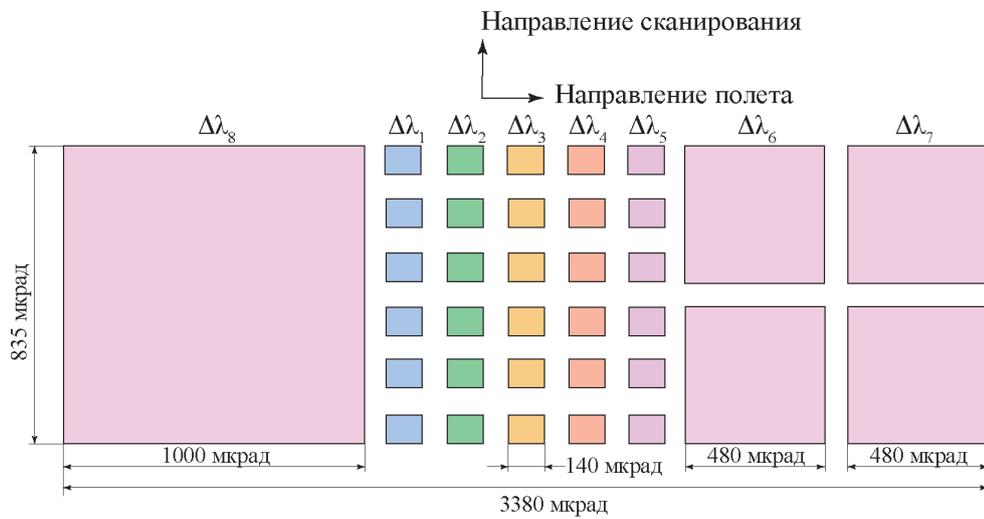
Разработка и изготовление МСУ «Фрагмент-2» практически полностью выполнялась в СКБ ИКИ РАН в г. Фрунзе, в Киргизии. Созданное чуть позже, чем ИКИ РАН, это предприятие в семидесятые годы насчитывало в своем составе около тысячи человек и располагало технологиями и кадрами, способными создавать такие сложные приборы. Естественно, вся элементная база прибора была произведена в СССР.



Многозональное съемочное устройство «Фрагмент-2»



Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты»



Структура мгновенного поля зрения МСУ «Фрагмент»

Возглавлял разработку прибора в СКБ Щербаков Вячеслав Викторович. Очень сложный узел сканирования разрабатывался под руководством Рожавского Эдуарда Израйловича. Интересно, что под его руководством в дальнейшем было создано еще несколько сканирующих устройств для разных приборов, в том числе для французского спектрометра «Омега», использованного сперва в российском, а потом в американском проекте по исследованию Марса. На российском геостационарном КА «Электро» съемочное устройство также использует сканер, сделанный под его руководством. Правда, все эти приборы разрабатывались и изготавливались уже не во Фрунзе, а на новом предприятии, специальном кон-



*Вячеслав
Викторович
Щербаков*



*Эдуард
Израйлович
Рожавский*

структорском бюро ИКИ РАН в г. Таруса.

Передачу данных на свой собственный наземный пункт приема, расположенный под Москвой в

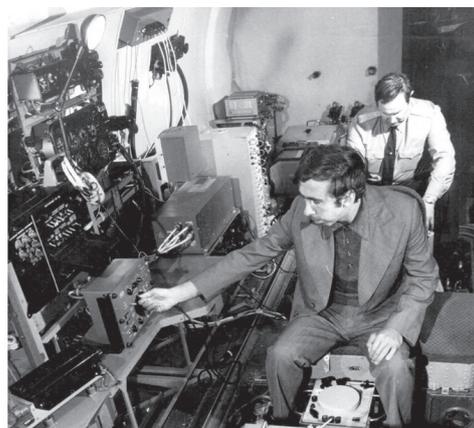
поселке Медвежьи озера, осуществлял ОКБ МЭИ – предприятие, вместе с которым ИКИ РАН проводил этот непростой эксперимент.

Важную роль в создании научно-методического задела в исследовании Земли из космоса сыграл созданный в отделе авиационный комплекс средств дистанционного зондирования. Первый полет этого комплекса на самолете ИЛ-14 по полигонам СССР состоялся в 1973 г. В состав оборудования самолета вошли многозональные и топографические фотоаппараты, оптико-электронные сканирующие устройства собственной разработки и ИК радиометры. Запись информации от электронных приборов осуществлялась с помощью цифрового магнитофона и была ориентирована на обработку с помощью ЭВМ. Интересно, что самолет был арендован на средства, собранные ИКИ РАН в рамках хозяйственных договоров с почти двумя десятками заинтересованных в проведении полигонных экспериментов академических и отраслевых институтов, занимающихся различными аспектами проблемы исследования Земли из космоса. Каждый из участников договора получал в ходе полетов свою долю информации.

Об эффективности самолетного эксперимента 1973 г. говорит тот факт, что уже на следующий год ГКНТ СССР выделил ИКИ РАН целевое финансирование на постоянную аренду нового самолета АН-30 для ведения полигонных экспериментов на территории СССР и ряда социалистических стран. Полеты самолета-лаборатории проводились до 1983 г.



Первый экипаж самолета-лаборатории АН-30



В самолете-лаборатории (1974 г.)

Получаемая с борта КА «Метеор-природа» от МСУ «Фрагмент-2» и оптико-электронных приборов самолета информация была ориентирована на обработку с помощью ЭВМ. Но какие ЭВМ были в то время? «Урал-11», «Урал-14», БЭСМ-4, БЭСМ-6. Все они были абсолютно не приспособлены для работы с изображением. Более того, полностью отсутствовали какие-либо устройства ввода-вывода изображений в ЭВМ. Эту проблему пришлось решать подручными средствами, в качестве которых начали использоваться фототелеграфные аппараты: «Нева», «Вымпел» и «Волга». На их основе в ИКИ РАН делались фототелевизионные внешние устройства ЭВМ. Названия этих аппаратов давно забыты. Их следы трудно отыскать даже во всемирной паутине, но в 70-е годы прошлого века в ИКИ РАН к ним приделывались интерфейсы, позволяющие подключить их к ЭВМ. На основе фототелеграфного «Волга» был



Фототелеграфный аппарат «Нева»

даже сделан цветной фоторегистратор! А первые фототелеграфные аппараты были использованы ИКИ РАН для приема видеоинформации от КА «Марс-71» и «Марс-73» в центре дальней космической связи в Евпатории. Фототелеграфный аппарат с открытой записью на электрохимической бумаге «Вымпел» использовался даже на борту самолета. На нем в ходе полета отображалась работа одного из каналов съемки земной поверхности сканирующим устройством.

Некоторое облегчение в обработке видеоинформации внесла покупка в середине 70-х гг. в США специализированной для этой цели ЭВМ фирмы «Оптроникс», имевшей в своем составе устройство ввода-вывода изображений. Сделано оно было так же, как и в ИКИ, на базе фототелеграфного аппарата, возможно, несколько лучшего качества.

Выполненные отделом в период 1973–1980 гг. разработки и экспериментальные съемки земной поверхности с КА и самолетов не имели хозяйственного значения, но они сыграли важную роль в становлении нового направления исследований Земли с использованием космической техники, позволили подготовить кадры для дальнейшего развития работ. Задача первого этапа развертывания работ по проблеме была выполнена. В стране появились образцы космической видеоинформации, используемые в учебном процессе и в методических разработках.

Несмотря на достигнутые отделом успехи, 1980 г. оказался для него переломным. На горизонте появилась комета Галлея. Говорят, что появление комет на земном небосводе приводит к катаклизмам в земных делах. Опыт отдела исследования Земли из космоса это подтверждает. До прилета кометы в околоземное космическое пространство оставалось еще шесть лет, когда было принято решение о том, чтобы после выполнения исследований Венеры направить АМС на встречу с кометой Галлея.

В момент принятия этого судьбоносного решения до старта КА оставалось четыре года. Времени для разработки сценария встречи с кометой и создания специальной исследовательской аппаратуры оставалось совсем мало.

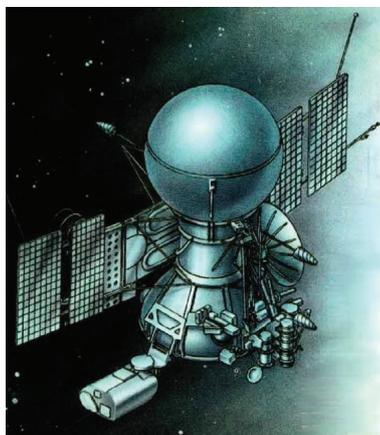
В этих условиях дирекция института приняла решение несколько потеснить работы по исследованию Земли из космоса и перенацелить активность отдела на исследования планет и малых тел солнечной системы. Из состава отдела вывели группу, которая вела самолетные эксперименты. Забрали из отдела и специальное оборудование: вычислительную машину фирмы «Оптроникс», снабженную фототелевизионным устройством вывода изображений, использовавшуюся для отображения результатов обработки космических снимков, которые ежедневно поступали в институт с приемной станции в Медвежьих озерах. Работа первой в стране цифровой многозональной съемочной системы «Фрагмент-2» на КА «Метеор» почти полностью потеряла наземную поддержку. Планы отдела по дальнейшему развитию работ в направлении исследования Земли из космоса оказались разрушены...

Опыт работы по созданию приборов и аппаратных комплексов для дистанционного исследования Земли в следующем десятилетии пригодился для решения новых для отдела задач по исследованию планет и малых тел Солнечной системы. В 80-е гг. в СССР были осуществлены два крупных проекта по этому направлению: полет к Венере с последующим рандеву с кометой Галлея и полет к спутнику Марса – Фобосу. В каждом из них отдел играл ключевую роль в создании средств для съемки объекта исследования, в организации и проведении экспериментов.

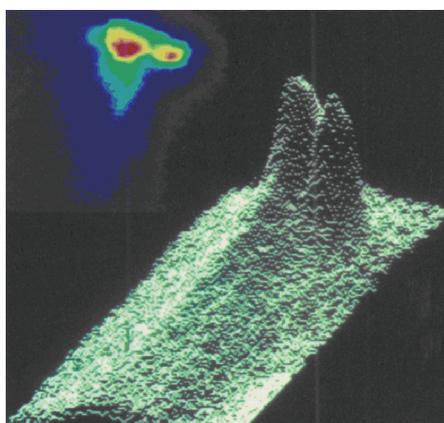
Встреча с кометой Галлея возможна для земных космических аппаратов один раз в 76 лет, что предопределило неизбежность астрономических сроков запуска КА «Вега-1» и «Вега-2» в декабре 1984 г. Для них отделом в широкой международной кооперации был подготовлен комплекс приборов, в задачу которого входило обнаружение ядра кометы Галлея, наведение на него подвижной платформы с научными приборами, его автосопровождение, съемка и спектрофотометрирование. В соответствии с баллистическими условиями полета КА и кометы Галлея их встреча должна была произойти на расстоянии около 200 миллионов километров от Земли, могла быть однократной и продолжаться около 40 минут. Это означало, что все процедуры эксперимента должны были быть выполнены в автоматическом режиме. Из-за большого, порядка 20 минут, времени прохождения сигналов вмешательство наземных средств было исключено.

Несмотря на чрезвычайную сложность проекта, оба КА достигли цели и выполнили все намеченные эксперименты, что свидетельствует о высоком уровне космической техники того времени, а также о способности научных коллективов создавать качественные уникальные научные приборы.

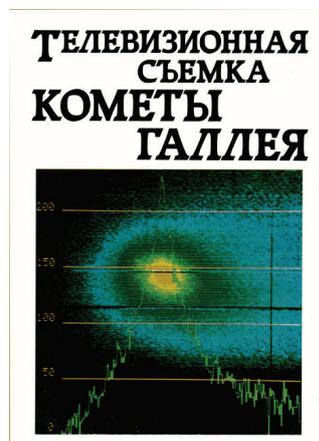
Интересно, что именно в ходе подготовительных сеансов при включении телевизионных камер все, кто находился на приемном пункте Центра дальней космической связи в г. Евпатория, смогли увидеть изображение Юпитера, полученное в реальном времени. Эта картинка особенно заинтересовала специалистов по системам управления КА. По движению планеты на экране компьютера они впервые могли оценить реальную работу системы управления аппарата в динамике.



КА «Вега»

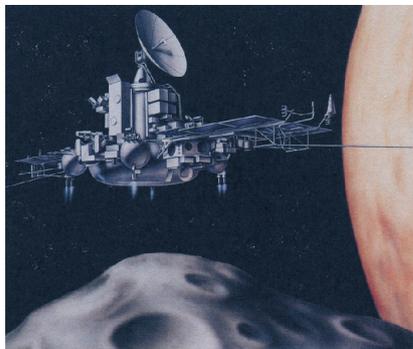


Результат обработки ТВ изображения кометы Галлея



Монография по результатам обработки изображений кометы Галлея

Следующий проект «Фобос» был менее удачен. КА «Фобос-1» погиб, не достигнув цели полета. Второй КА «Фобос-2» вышел на орбиту Фобоса, выполнил два сеанса съемки и прекратил свое существование. Съемочный комплекс обоих КА разрабатывался в широкой международной кооперации.



КА «Фобос-1»



Снимок Фобоса на фоне Марса



Монография «Телевизионные исследования Фобоса»

В обоих проектах использовались современные зарубежные микропроцессоры и новейшие отечественные фотоприемные устройства на основе ПЗС матриц. На их основе разрабатывались интеллектуальные приборы и системы, пригодные для решения широкого круга задач по съемке космических объектов и бортовой обработке данных наблюдений.

Наряду с работами по проектам «Вега» и «Фобос» с самого начала 80-х гг. в отделе были начаты инициативные работы по созданию широкопольных датчиков звездной ориентации на основе ПЗС матриц и микропроцессоров, способных определять ориентацию КА по изображениям произвольных участков небесной сферы. Важность этих работ для перспективной космической техники была быстро оценена Ракетно-космической корпорацией (РКК) «Энергия» и лично Юрием Павловичем Семеновым. Руководством ИКИ РАН и РКК «Энергия» в адрес Министерства общего машиностроения и Военно-промышленной комиссии было направлено соответствующее представление. В результате вскоре было принято решение о создании специализированного предприятия для разработки и производства этого нового класса приборов.

С позиций сегодняшнего дня кажется удивительной скоростью принятия управленческих решений и их исполнения. Уже в 1982 г. это предприятие было создано и начало работать в тесном сотрудничестве со специалистами ИКИ. К сожалению, в соответствии с веяниями того времени, оно было создано в ГДР как подразделение крупного промышленного предприятия «Карл-Цейсс Йена». В дальнейшем это подразделение стало самостоятельным и получило название «Йена-Оптроник». Оно действует и в настоящее время, выпуская звездные датчики ориентации и другую высокотехнологичную продукцию.

В советское время на предприятии «Карл-Цейсс Йена» при участии специалистов ИКИ был изготовлен комплект из трех оптических звездных датчиков (ОЗД) «Астро»,

который в 1989 г. был установлен на пилотируемой станции «Мир». Он успешно проработал на борту до конца ее жизни. Затопление станции в 2001 г. осуществлялось по показаниям этих астродатчиков...

Таким образом, в период с 1980 по 1989 г. отдел вел работы по созданию аппаратных комплексов для планетных исследований, занимался разработкой звездных датчиков ориентации и продолжал в небольшом объеме вести некоторые работы по дистанционному зондированию Земли. Впрочем, во второй половине десятилетия уже стало ясно, что звездные датчики ориентации и съемочные системы разных типов в равной мере нужны для очень многих направлений космических исследований.

В 1988 г. отдел сменил руководителя и название. Зиман Я.Л. передал руководство отделом автору этой статьи. Двадцать лет дружной совместной работы сделали нас соратниками и гарантировали коллективу преемственность курса. Отдел стал называться оптико-физическим, что гораздо более соответствовало характеру его деятельности. Создание звездных и солнечных датчиков ориентации, съемочных устройств различных типов, а также вычислительных устройств стало сознательно вестись с учетом потребностей различных направлений космической деятельности. С таким подходом отдел вступил в проект «Марс-94» и в эпоху 90-х гг.

Известные события начала 90-х гг. не лучшим образом отразились на деятельности института. Из-за низких заработков отдел потерял много накопивших хорошие навыки практической работы молодых специалистов. Они нашли то, что искали. В основном, за рубежом. Резко сократилось и число научных проектов. Фактически, остался только проект «Марс-94», который несколько позже был перенесен на 1996 г. В рамках этого проекта в отделе, как и раньше, в широкой международной кооперации разрабатывался комплекс съемочных приборов. Наряду с другими приборами в состав комплекса входили бортовая вычислительная машина и навигационная звездная камера. Вместе они образовывали звездный датчик ориентации. Эти приборы полностью разрабатывались и изготавливались в ИКИ. Сотрудничество с НП «Карл-Цейсс Йена» после 1991 г. ушло в прошлое, а с «Йена-Оптроник» так и не началось. Фактически, отдел оказался в конкурентных отношениях с этой зарубежной организацией, само появление которой стало результатом его инициативы.



Система оптических звездных датчиков «Астро»

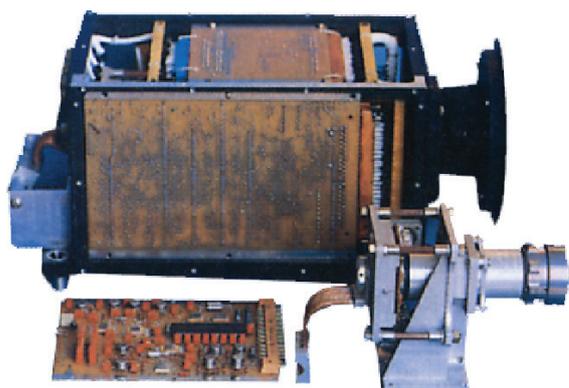


Генрих Аронович Аванесов

*Доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
Лауреат Ленинской премии.
Г.А. Аванесов возглавлял отдел
с 1988 по 2002 г.*

В рамках проекта «Марс-94» отдел стремился создать себе задел на будущее в виде современного звездного датчика ориентации, представлявшего собой, как уже было сказано, камеру на основе ПЗС матрицы и вычислительное устройство реального времени на основе современного микропроцессора.

Стоит заметить, что звездный датчик ориентации для КА – очень сложный прибор. Его разработка, особенно в те годы, осложнялась отсутствием необходимой элементной базы. Для создания такого прибора нужны глубокие знания в области астрономии, небесной механики, оптики, аналоговой и цифровой электроники, вычислительной техники и математики. Всем этим, несмотря на кадровые потери, отдел располагал в полном объеме.



*Навигационная камера
проекта Марс-96*

Судьба проекта «Марс-96», как известно, сложилась печально. Аппарат не вышел на орбиту, что стало естественным результатом обстановки всеобщего развала. Единственным положительным результатом работ отдела по этому проекту стал автономный звездный датчик, как-вым, по сути, была навигационная камера в сочетании с бортовой вычислительной машиной.

И снова работы отдела были поддержаны РКК «Энергия». Ю.П. Семенов предложил ИКИ взять на себя разработку и поставку звездных датчиков для связных геостационарных спутников «Ямал» и международной космической станции. В отсутствие других оплачиваемых работ для отдела это был единственный способ сохранить коллектив. С этого момента на долгие годы разработка и последовательное совершенствование оптических звездных датчиков стало одним из важнейших направлений работ отдела.

Звездный датчик для КА «Ямал» получил название «Блок определения координат звезд», сокращенно БОКЗ. Два звездных датчика БОКЗ успешно отработали 10 лет на борту КА «Ямал-100», выведенного в космос в 1999 г. Такие же приборы, выведенные в космос годом позже, работают на борту МКС уже 15-й год. Подобные приборы в 2003 г. начали работать на двух КА «Ямал-200».

Вслед за РКК «Энергия» применять звездные датчики, разработанные в ИКИ, начали другие предприятия космической отрасли России. На сегодняшний день приборы семейства БОКЗ успешно эксплуатируются на почти 40 российских КА, общее число построенных приборов разной модификации приблизилось к 150, а их общий «налет часов» превысил два миллиона. Все это можно было бы рассматривать как победу, но только лишь в борьбе за выживание. Производство сложных приборов в стенах академического института, не приспособленного для этих целей, зиждется лишь на человеческом факторе в положительном его смысле. Не подкрепленное инфраструктурой такое производство может в любой момент дать сбой, грозящий катастрофическими последствиями. Опять-таки из-за человеческого фактора, но уже в его отрицательном смысле.



Звездные датчики семейства БОКЗ

Понимая это, руководство отдела, начиная с 2000 г., постоянно предпринимало и продолжает предпринимать попытки тем или иным способом передать производство приборов на специализированные предприятия, оставив за собой лишь дальнейшее их совершенствование. Увы, это не удалось сделать до сих пор. Данная статья не самое подходящее место для обсуждения причин неудачных попыток передачи производства. Тем более, что за прошедшие годы отдел сумел наладить производство приборов. Собственно производством сегодня занята кооперация института. На его же территории ведется сборка приборов, их испытания и аттестация. Однако здесь можно констатировать, что темп принятия организационных решений в нынешнее динамичное время оказался много ниже того, который был характерен для периода застоя 70-х и 80-х гг. прошлого века.

Увеличение 20х



Цифровая аэросъемочная камера ЦТК-140 (слева) и фрагмент полосы, снятой камерой с высоты 4000 м (справа)

В 90-е гг. отдел все чаще и чаще стал отказываться от практики создания широкой кооперации при ведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Надежная в прошлом кооперация стала давать сбои. Надеяться на собственные силы стало необходимо. Вернуться к кооперации удалось только в начале следующего десятилетия. И все же, именно в этот период в отделе возобновились разработки, нацеленные на решение задач исследования Земли из космоса. Касались они, в первую очередь, съемочных устройств для самолетов и КА.

Начало двухтысячных годов ознаменовалось оживлением космической деятельности. Сформировался проектный облик новой миссии к Фобосу, целью которой стала доставка на Землю образцов грунта спутника Марса. Оказались востребованными инициативные разработки ОФО ИКИ в части солнечных датчиков ориентации и многозональных съемочных камер среднего разрешения для мониторинга земной поверхности. Сделаны были и высококачественные съемочные устройства для самолетов. Но на практике эта ниша к тому времени оказалась уже занята зарубежными производителями. Начались работы по созданию системы датчиков гида большого УФ телескопа. В этот период ОФО ИКИ вполне осознанно отказался от привлечения к своим работам международной кооперации.

В 2003 г. в отделе снова произошла смена власти. Проработав в должности заведующего отделом 15 лет,



Анатолий Анатольевич Форш

*Кандидат физико-математических наук,
Лауреат Государственной премии
Молдавской ССР.
Руководил отделом с 2003 по 2011 г.*

автор этой статьи передал бразды правления кандидату технических наук Форшу А.А. Ему удалось обеспечить преемственность курса на следующий 10 летний период.

Несколько забега вперед, скажем сразу, что следующая смена власти произошла в 2011 г. Во главе отдела встал молодой кандидат технических наук Бессонов Р.В. Преемственность курса на этот раз была обеспечена тем, что новый руководитель уже со второго курса института воспитывался тем самым коллективом, который он теперь возглавил.

В состав летного образца КА «Фобос-Грунт» вошло 13 приборов, разработанных и изготовленных ОФО ИКИ. Среди них 4 звездных датчика БОКЗ-МФ и 4 оптических солнечных датчика (ОСД).

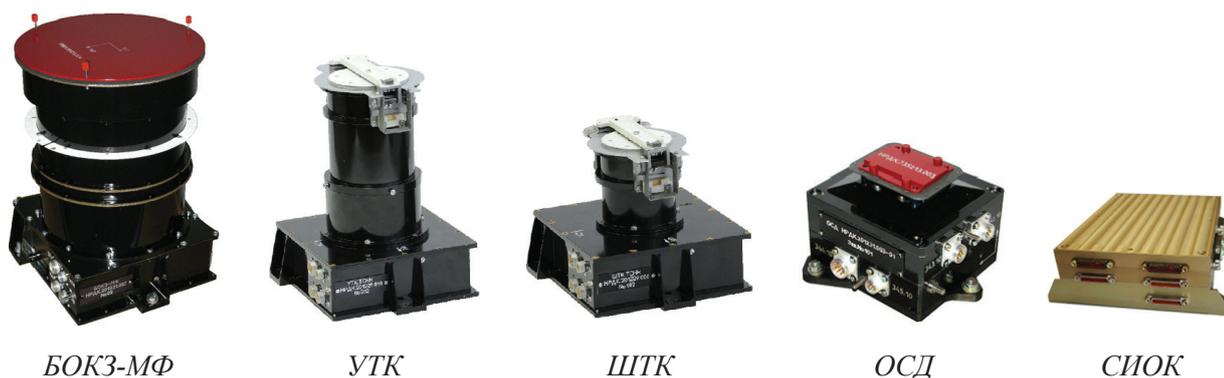


Роман Валерьевич Бессонов

*Кандидат технических наук.
Возглавляет отдел с 2011 г.*

По два прибора того и другого типа на перелетном модуле и на возвращаемой ракете. Телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН) в составе двух узкоугольных (УТК)

и двух широкоугольных (ШТК) камер, предназначенная для съемки поверхности Фобоса и поддержки процесса посадки. В процессе снижения посадочного модуля камеры, работающие в монокулярном и бинокулярном режимах, могли формировать карту пригодности района для посадки КА. Кроме того, они измеряли параметры скорости движения посадочного аппарата по отношению к поверхности Фобоса. Еще один прибор, система информационного обеспечения научного комплекса (СИОК), представляющий собой резервированное вычислительное устройство, предназначался для организации взаимодействия бортовых систем КА с научным комплексом.



Приборы ОФО ИКИ для миссии «Фобос-Грунт»

К сожалению, КА «Фобос-Грунт» в 2011 г. повторил судьбу КА «Марс-96». Из всех 13 приборов успели поработать только два солнечных датчика, поддерживавших ориентацию КА на протяжении его краткого существования.

Параллельно с работами по планетной тематике дальнейшее развитие получили проекты по дистанционному исследованию земной поверхности. В 2006 г. был осуществлен запуск КА «Ресурс-ДК» со съемочной аппаратурой высокого разрешения, где для управления ориентацией были использованы приборы БОКЗ-М. По их показаниям в наземных системах приема и обработки информации Научного центра оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы» (НЦ ОМЗ) и НИЦ «Планета» Росгидромета осуществляется географическая привязка материалов съемки.

С 2009 г. в космосе эксплуатируется КА «Метеор-М» метеорологического назначения. На нем установлены два аппаратных комплекса, созданные в ОФО ИКИ: комплекс многозональной спутниковой съемки (КМСС) среднего разрешения в составе двух камер МСУ-100 и одной камеры МСУ-50, а также комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО) в составе одного звездного датчика БОКЗ-М и приемо-вычислительного устройства автономной спутниковой навигации (АСН). Информация от этих комплексов регулярно принимается и обрабатывается НЦ ОМЗ и приемными центрами Научно-исследовательского центра «Планета» в Москве, Новосибирске и Хабаровске.

В 2013 г. в космос был выведен КА «Ресурс-П» №1, несущий значительно усовершенствованную по сравнению с «Ресурсом-ДК» съемочную аппаратуру высокого разрешения.

Управление ориентацией этого аппарата осуществляется с помощью звездных датчиков ориентации БОКЗ-М60. Достигнутая в этом проекте точность автоматической географической привязки составила 10 метров. В 2014 г. в космос был выведены КА «Ресурс-П» №2 и «Метеор-М» №2.



MSU-100



MSU-50

Комплекс многозональной спутниковой съемки



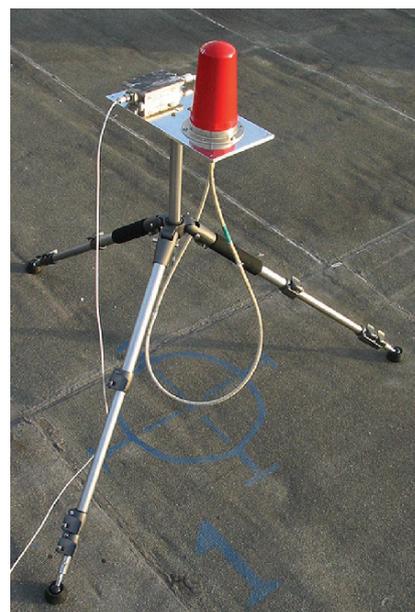
Изображение с КА «Метеор-М»



БОКЗ-М



Блок навигационных модулей



Антенна

Комплекс координатно-временного обеспечения

На КА «Метеор-М» №2 используются модернизированные камеры MSU-100M и MSU-50M, а также два звездных датчика ориентации БОКЗ-М. На последующих КА серии «Метеор» планируется использование камер этого типа, а также их модификаций: MSU-100TM и сканера береговой зоны (СБЗ).

Получаемая в перечисленных проектах космическая информация теперь уже имеет хозяйственное значение. Таким образом, спустя десятилетия после формирования ОФО ИКИ, созданные его коллективом приборы активно используются почти на всех

отечественных КА, предназначенных для исследования Земли из космоса. И не только на них.

Сорок лет в эволюции живой природы не более чем мгновение. А в технике, где эволюция идет куда как быстрее, сорок лет совсем не мало. В 70-х гг. прошлого века фотографические системы обладали характеристиками, о которых опико-электронные приборы не могли и мечтать. Тогда всерьез прорабатывался вопрос о выведении на орбиту Марса фотоспутника с достаточно большим запасом пленки. Предполагалось отснять планету, и вернуть на Землю кассету с пленкой. За месяц работы на орбите Марса такой спутник мог бы накопить материала больше, чем могли бы сделать опико-электронные приборы и средства передачи данных того времени за пять лет. Будь такой проект организован в 70-е гг., он мог бы внести весомый вклад в планетные исследования.



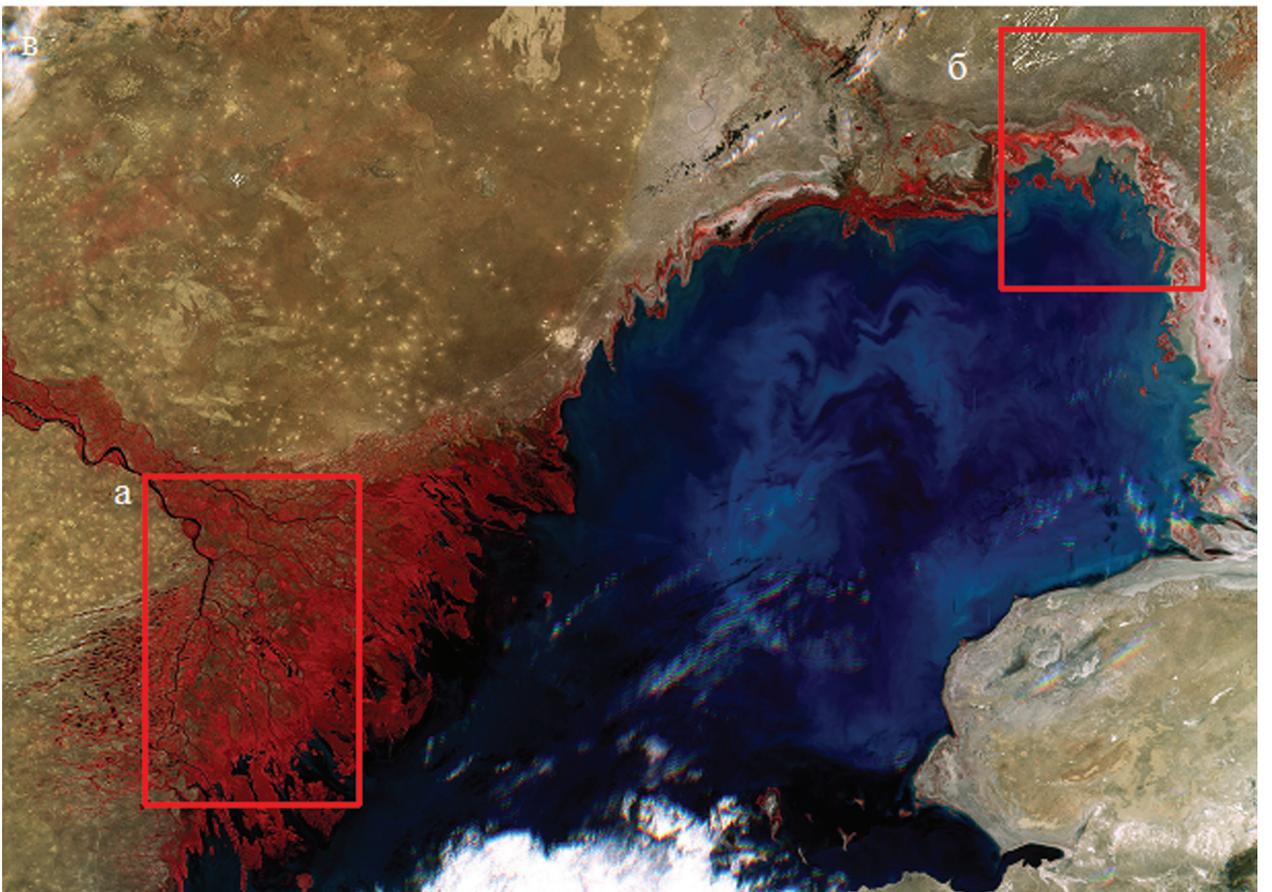
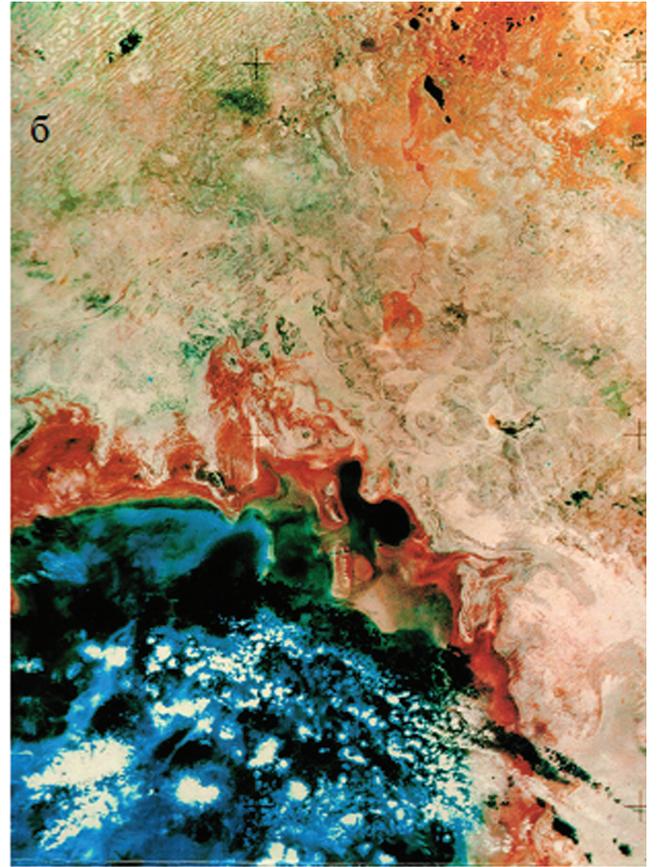
MSU-100TM

Эволюция съемочных устройств очень хорошо видна на примере съемки одного и того же участка местности, дельты реки Волги, отснятого в 1976 г. с помощью многозонального фотоаппарата МКФ-6, в 1981 г. с помощью многозональной съемочной системы «Фрагмент-2» и в 2011 г. с помощью MSU-100. Все три съемочных устройства имели по нынешней квалификации среднее разрешение. Сравнить их между собой имеет смысл только по информационной производительности. По этому показателю МКФ-6 сразу оказывается в арьергарде. При непрерывной съемке ее запаса фотопленки хватило бы всего на несколько часов работы, в то время как задачи дистанционного зондирования требуют регулярной съемки земной поверхности на протяжении нескольких лет.

Опико-электронные приборы не используют расходных материалов. Их ресурс определяется надежностью, позволяющей приборам функционировать на борту достаточно долго. Так, «Фрагмент-2» проработал на борту КА «Метеор-Природа» №3 три с половиной года. При массе 288 кг прибор генерировал информационный поток 4М бит/с, что для того времени было весьма много.

Камера MSU-100 была выведена в космос спустя 29 лет после «Фрагмента-2». При массе в 3,2 кг она создает поток 30 Мбит/с. И это далеко не предельная для нее скорость. Разница огромная.

Итак, эволюция привела к тому, что фотография уступила первенство опико-электронным приборам. Сначала таким, как «Фрагмент-2», оперирующим точечной апертурой. Затем, казалось бы, ушло в прошлое механическое сканирование. Для съемки стали использоваться ПЗС и ВЗН линейки с разверткой изображения за счет движения КА. Теперь появились крупноформатные КМОП матрицы с числом пикселей двадцать и более миллионов. Их научились объединять в большие наборные поля, площадь которых ограничивается только оптикой. Каким может быть в этой связи следующий этап эволюции?



Снимки северной части Каспийского моря, полученные МСС «Фрагмент» в июне 1981 г (а), МКФ-6 в сентябре 1976 г. (б) и МСУ-100М в сентябре 2014 г. (в)

В ближайшие годы можно ожидать появления на околоземных КА сверх широкозахватных съемочных систем с углом поля зрения до 90° и относительно высоким пространственным разрешением, предположительно 5–30 м, использующие сочетание кадровой съемки с помощью крупноформатных КМОП матриц с оптико-механическим сканированием.

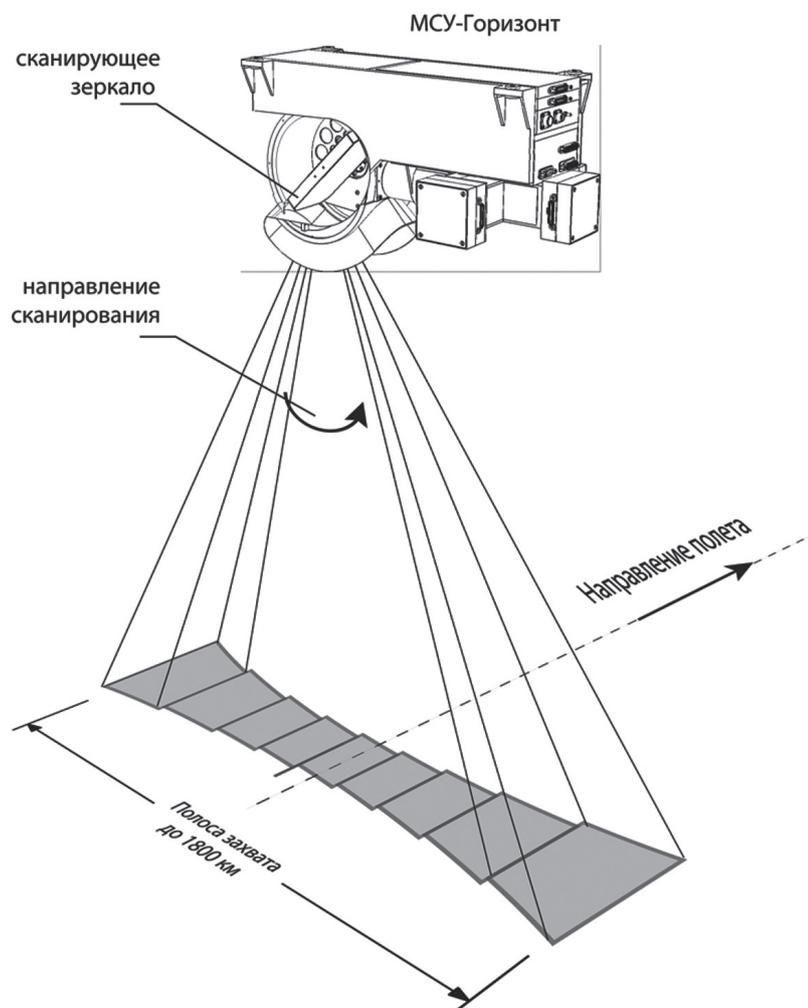


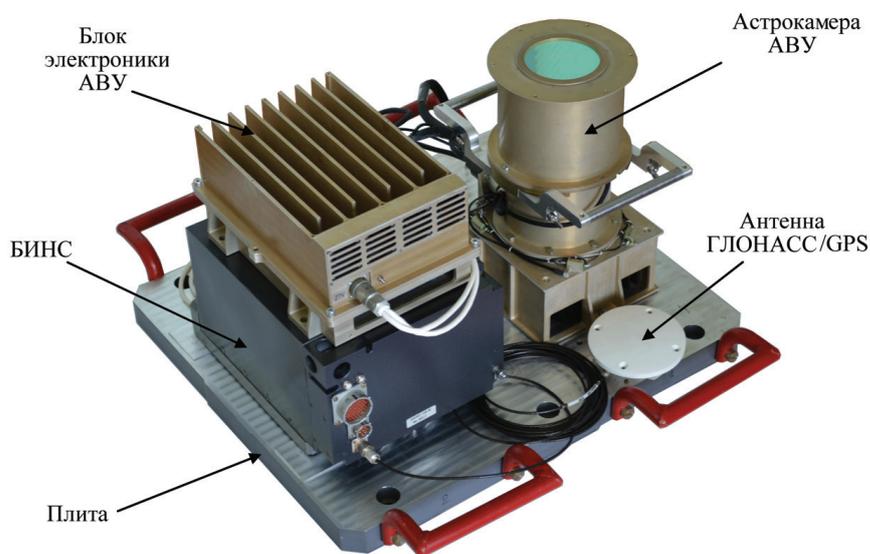
Схема съемки МСУ «Горизонт»

ОФО ИКИ уже предложено новое многозональное съемочное устройство (МСУ) «Горизонт». Оно предназначено для мониторинга земной поверхности в видимой и ближней ИК областях спектра и включено в состав аппаратуры КА «Метеор-МП». МСУ «Горизонт», используя крупноформатную КМОП матрицу в сочетании с оптико-электронным сканирующим устройством, позволит осуществлять съемку земной поверхности с борта КА, находящегося на круговой солнечно-синхронной орбите, с высоты 830 км в полосе 1800 км с разрешением в подспутниковой точке 30 м. На краях поля зрения за счет сферичности Земли и увеличения наклонной дальности разрешающая способность будет снижаться, но такая съемка позволит с помощью одного КА за одни сутки осуществить мониторинг почти всей территории России.

Приведенные здесь параметры съемки не являются предельными для предложенного метода. На данном этапе, с учетом реальных параметров существующих КМОП матриц, средств приема и передачи данных, а также характеристик сканирующих устройств можно считать, что возможности метода по разрешающей способности ограничены примерно 5 метрами

Главными элементами любого звездного датчика ориентации, помимо оптики, являются матричное фотоприемное устройство и вычислитель. И то и другое равно необходимо для построения любого съемочного устройства, предназначенного для наблюдения Земли, Луны, других космических тел. Их специализация к решению конкретной задачи начинается в оптической части и заканчивается в математическом обеспечении. Исповедуя такой подход к решению широкого круга задач космических исследований, связанных с наблюдениями и измерениями пространственных распределений яркости космических объектов, начиная от звездного неба, планет и малых тел Солнечной системы и кончая искусственными конструкциями, ОФО ИКИ ведет разработку многоцелевых устройств на основе 4-х и 20-ти мегапиксельных КМОП матриц и вычислителей. Эту новую разработку отдел планирует использовать в разных проектах – как направленных на исследования Земли с помощью КА «Метеор», так и для планетных исследований: «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «ЭкзоМарс» и ряде других.

Работы ОФО ИКИ в последние годы оказались востребованы и в авиации. Для решения задач астронавигации в отделе создан действующий прототип астровизирующего устройства (АВУ), позволяющий наблюдать с поверхности Земли звезды до $5,5^m$ при отсутствии облачности и определять по ним ориентацию как в ночное, так и в дневное время суток. Проведены летные испытания полностью бесплатформенной астроинерциальной навигационной системы, позволяющей решать задачи автономной высокоточной навигации и наведения, в том числе при отсутствии сигналов спутников ГЛОНАСС/GPS. Опытные образцы АВУ, разрабатываемые при участии ОФО ИКИ и кооперации, планируются к установке на изделия «Сухого», «Туполева», «Алмаз-Антей».



Макет астроинерциальной навигационной системы

Выполняемые отделом работы постепенно складываются в некоторое новое направление исследований, сформулированное еще в 90-е гг. как создание технологии автономной навигации космических аппаратов на основе естественных физических полей и ориентиров, что имеет свою область применения.

Действительно, далеко не весь спектр навигационных задач космической техники перекрывается средствами ГЛОНАСС/GPS. Не охвачены искусственным навигационным полем трассы межпланетных перелетов. Сближение с планетами, астероидами и кометами, а также мягкая посадка на них возможны сегодня только с использованием средств автономной навигации. Потребность в автономной навигации существует и в околоземном космическом пространстве при решении целого ряда прикладных задач.

Складывается впечатление, что наступило время для воплощения в жизнь оптико-электронной системы автономной навигации, работа которой основана на естественных физических полях и ориентирах для околоземных полетов, припланетной навигации, сближения и стыковки КА, а также для обеспечения мягкой посадки на планеты и малые тела Солнечной системы.

Работы ОФО ИКИ в этом направлении уже вступили в фазу практической реализации. Многое из того, что необходимо для первого этапа, уже существует в созданном заделе. Есть и определенные трудности. Например, многое в этой работе основано на автоматическом распознавании опорных зон на земной поверхности, портреты которых хранятся в бортовом каталоге. Эксперименты по автоматическому распознаванию дают устойчивый положительный результат. Но создание и постоянное обновление каталога земных ориентиров на всю территорию земного шара – фундаментальная проблема, сравнимая по сложности с составлением звездных каталогов.

В этой связи стоит обратить внимание на используемые ныне методы геопривязки космических снимков. Они основаны на информации о положении КА на орбите, получаемой с помощью глобальных навигационных систем, и данных о его ориентации, получаемой от бортовых звездных датчиков. Кроме того, эти методы предполагают хорошее знание рельефа. Конечно, наши знания рельефа Земли постепенно улучшаются. Для отдельных участков планеты оно может доходить до единиц метров и даже до десятков сантиметров. При такой высокой точности знания модели рельефа логично ставить вопрос о том, чтобы осуществлять высокоточную привязку снимков, используя для этой цели опорные ориентиры самой модели, причем выполнять эту работу следует автоматически, как это планируется делать на борту.

Ключом к каталогу опорных ориентиров при этом могут стать результаты координатной привязки снимков, полученные на основе данных глобальных навигационных систем и звездных датчиков ориентации, или полученные средствами автономной навигации.

Успешно реализованные сегодня методы автоматической геопривязки космических снимков на основе измерений ориентации КА с помощью звездных датчиков и его положения на орбите с помощью глобальных навигационных систем, имеют предел точности порядка 3–5 м, что обусловлено конечной точностью знания рельефа. Достижение более

высокой точности геопривязки – 1 м и лучше – требует перехода на автоматически распознаваемые в наземных условиях опорные ориентиры, каталог которых необходимо создать.

И, наконец, последнее. Космическая видеoinформация обладает огромной смысловой избыточностью. Ее многоцелевой характер в значительной степени препятствует эффективному сжатию данных на борту, поскольку оно зачастую сильно ухудшает дешифровочные свойства изображений. Сохраняющаяся же тенденция дальнейшего повышения информативности съемочных систем затрудняет доступ к ней, в первую очередь, для тех, кому важна ее оперативная составляющая. Пора ставить и решать вопрос о переносе отдельных видов тематической обработки данных на борт. Надо стремиться к тому, чтобы на Землю по узкополосным каналам связи передавалась готовая информация. Например, координаты лесных пожаров, границы паводков, проходы во льдах.

Надо полагать, что в обозримом будущем появятся методы, а вслед за ними и приборы, способные на борту КА определять виды и состояние объектов земной поверхности и в лаконичной форме передавать эти данные на Землю с указанием координат происходящих событий.

Таким образом, цели и задачи ОФО ИКИ на достаточно длительный период времени predeterminedены логикой эволюции того направления исследований, которые отдел ведет на протяжении уже 45 лет. Примерно такой же логике подчинена и производственная программа отдела. Несмотря на то, что промышленные предприятия космической отрасли постепенно приближаются к тому, чтобы заменить ИКИ РАН на рынке звездных датчиков, это не может произойти скачкообразно. Долгосрочные взаимные обязательства между ИКИ РАН и заказчиками приборов сделают этот процесс медленным и приведут лишь к смене номенклатуры производства в сторону более точных приборов. Возможно, акцент в производственной деятельности будет перенесен на съемочные устройства различного назначения, а также на приборы для автономной навигации по естественным физическим полям и ориентирам.

Любой прибор, любая система, предназначенная для длительной эксплуатации в космосе – это лишь вершина айсберга. Создание каждого из них требует идей, физико-технического обоснования, математического и физического моделирования. Только после этого начинается этап инженерной проработки, разработки многочисленных макетов и промежуточных образцов, исследований и испытаний. Каждая разработка влечет за собой создание специальных стендов, контрольно-измерительной аппаратуры, разработку конструкторской документации, проведение множества расчетов, организацию различных испытаний, закупки и сертификацию электрорадиоизделий, взаимодействия с кооперацией и еще многое другое, для чего требуются, как говорится, специально обученные люди. Если говорить точнее, нужен коллектив, каждый член которого имеет высокую профессиональную подготовку, хорошо понимает меру своей ответственности за общее дело. Создание такого коллектива, поддержание его деятельности – трудная, кропотливая и повседневная работа. Ей на протяжении всего времени существования отдела всегда уделялось особое внимание. Сегодня в ОФО ИКИ насчитывается 71 человек. Средний возраст коллектива 45 лет – возраст зрелости.

История отдела на этом не заканчивается, впрочем, как и история проблемы. Потребность в использовании космических методов для исследования Земли из космоса постоянно растет. Растут и возможности. Постоянная работа над перспективой, проводившаяся еще на этапе формирования отдела, позволяет надеяться, что уже начатые новые разработки сверхширокозахватных съемочных систем, высокоточных звездных датчиков, а также средств автономной навигации по естественным физическим полям и ориентирам, позволят в обозримом будущем сделать очередные шаги в развитии космических средств для исследования Земли из космоса.

В связи с 50 летним юбилеем ИКИ РАН хочется пожелать ОФО ИКИ новых идей, творческих и производственных успехов на следующем отрезке времени той же продолжительности!

History and development prospects of Earth research from space in the Optico-Physical Department of IKI RAS

G.A. Avanesov

*Space Research Institute RAS, Moscow, Russia
E-mail: genrikh-avanesov@yandex.ru*

The article is devoted to the history of the Optico-Physical Department of the Space Research Institute RAS (OFO IKI RAS). It is about the people who stood at the origins of the Earth research from space both in our country and at IKI RAS, as well as the milestones of this branch development. Different in scope and significance, they are the results of dedicated work of the OFO IKI RAS team over the last five decades.

The first space- and airborne experiments in multispectral photographic and optoelectronic survey of the Earth's surface met the demand of scientific and industrial consumers for the new information acquired.

Earth space research activities were interrupted by the OFO IKI RAS team for a decade in order to participate in the Vega and Phobos projects studying small bodies of the Solar System. The obtained experience and developed approaches to solving problems of nonstandard space device engineering were accumulated in the course of those projects. An understanding of their affinity in application to different areas of research occurred.

Resumed at a new level, the Earth research activities of OFO IKI RAS soon led to equipment of virtually all modern Russian Earth remote sensing spacecrafts with instruments developed by the team.

The history of OFO IKI RAS is still going on and further achievements in the development of space instruments for studying our planet from space are ahead.

Keywords: Optico-Physical Department of the Space Research Institute, Earth research from space, history, space instruments, optoelectronic devices, star tracker, BOKZ, optical solar tracker, multispectral scanning system, astroinertial navigation system