

УДК 528.8 (15):629.78

Б.И. Беляев

ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛИ С ПИЛОТИРУЕМЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Описываются многолетние исследования природных образований Земли из космоса в оптическом диапазоне длин волн. Рассматриваются приборы для изучения земной поверхности из космоса спектральными методами. Оценивается влияние различных факторов, формирующих спектральное распределение уходящей радиации, и условий освещения на результаты космической спектрофотометрии Земли. Исследуются некоторые оптико-спектральные характеристики природных и искусственных объектов.

Введение

Развитие в конце 1960-х гг. аэрокосмических методов изучения природных ресурсов Земли и задачи космического земледования поставили на повестку дня разработку спектральных методов исследования Земли и создание специальной, малогабаритной и надежной бортовой аппаратуры. В развитии космических спектральных методов уже тогда наметились два подхода. Первый – это методы многозональной регистрации (телевизионными или сканерными системами), позволяющие получать изображения Земли в нескольких отдельных спектральных зонах с высоким пространственным разрешением. Второй – методы спектрометрической регистрации, предназначенные для получения спектра высокого разрешения, усредненного по некоторому участку земной поверхности. Белорусские ученые одними из первых разработали и создали приборы для изучения земной поверхности из космоса спектральными методами.

В 1968 г. по инициативе и под руководством академика Л.И. Киселевского в Институте физики АН БССР были начаты работы по космической спектроскопии Земли. Это были работы по созданию специальной аппаратуры и фундаментальные исследования по изучению неизвестных в то время физических и оптических свойств атмосферы и поверхности Земли, а также прикладные исследования, которые проводились с орбитальных научных станций (ОНС) «Салют», «Мир» и Международной космической станции (МКС).

Ряд исследований был проведен совместно с сотрудниками лаборатории спектроскопии низкотемпературной плазмы (впоследствии лаборатории дистанционной спектроскопии) Института физики АН БССР под руководством В.Е. Плюты, а также со специалистами, создававшими аппаратуру серии МСС-2 и СКИФ-М, – сотрудниками СКТБ с ОП Института физики АН БССР под руководством А.В. Киреева. Аппаратура для ОНС «Мир» и МКС создавалась сотрудниками СКТБ с ОП БГУ (впоследствии лаборатории электронных методов экспериментальной физики Научно-исследовательского института прикладных физических проблем (НИИПФП) им. А.Н. Севченко БГУ) под руководством В.А. Сосенко.

Проведенные исследования завершились созданием крупной научной школы, которая начала свое существование в стенах Института физики АН БССР и получила затем свое развитие в Белорусском государственном университете. В ходе исследований и разработок по данной тематике было опубликовано более 320 научных работ, защищено 16 кандидатских и 6 докторских диссертаций, и не только белорусскими учеными: результаты совместных исследований вошли в кандидатскую диссертацию нашего земляка летчика-космонавта В.В. Коваленка, в докторские диссертации летчиков-космонавтов Г.М. Гречко и В.П. Савиных. За цикл этих работ коллектив специалистов Белорусского государственного университета был удостоен Государственной премии СССР 1991 г. в области науки и техники.

1. Спектральные приборы для орбитальных станций «Салют» и «Мир»

По договору с НПО «Энергия» в 1970 г. в Институте физики АН БССР была начата разработка малогабаритного скоростного спектрометра МСС-2 [1, 2], спутниковый вариант которого в 1973 г. был выведен в космос в составе ОНС «Салют-2». Однако вследствие неполадок в системе стабилизации станции (Центру управления полетами не удалось остановить ее вращение) эксперименты на ней не проводились.

В декабре 1974 г. в космос выводится ОНС «Салют-4» со спектрометром МСС-2М на борту. Основные характеристики прибора: спектральный диапазон 0,4–0,8 мкм; пороговая чувствительность $1 \cdot 10^{-4}$ Вт/(см²·мкм·ср); угол поля зрения $1,5 \times 7,0$ град; динамический диапазон 40 дБ. Прибор МСС-2М (рис. 1, а) стал основным штатным спектрометром станции, с ним выполнено несколько десятков экспериментов. Два экипажа станции «Салют-4»: А.А. Губарев, Г.М. Гречко (30 суток полета) и П.И. Климук, В.И. Севастьянов (60 суток полета) – работали с прибором. Прибор МСС-2М безотказно проработал весь срок существования станции, с его помощью в ходе геофизических экспериментов было зарегистрировано и доставлено на Землю свыше 100 000 спектров разнообразных объектов.

Опыт проведения космических и подспутниковых экспериментов позволил сформулировать требования к дальнейшей модернизации аппаратуры. В первую очередь требовалось повысить чувствительность и расширить динамический диапазон прибора. К моменту запуска новой ОНС «Салют-6» такой прибор – малогабаритный скоростной спектрометр МСС-2МВ – был изготовлен на новой элементной базе и в составе станции 29 сентября 1977 г. выведен на орбиту. Динамический диапазон прибора повышен до 60 дБ, пороговая чувствительность $5 \cdot 10^{-6}$ Вт/(см²·мкм·ср).

Станция «Салют-6» проработала на орбите около пяти лет до мая 1981 г. За это время на ней побывало 5 основных экспедиций и 11 экспедиций посещения, в том числе международных. Все основные экспедиции, в состав экипажей которых входили космонавты Ю.В. Романенко, Г.М. Гречко, В.А. Джанибеков, В.В. Коваленок, А.С. Иванченков, В.А. Ляхов, В.В. Рюмин, Г.М. Стрекалов, В.П. Савиных и другие, работали со спектрометром МСС-2МВ.

Геофизические эксперименты с прибором МСС-2МВ проводились с целью набора статистического материала и формирования моделей фонов Земли как планеты (было зарегистрировано около 250 000 спектров).

Для исследований поляризующих свойств природной среды, еще одного из информативных параметров светового поля, был создан новый прибор – спектрополяриметр МСС-2П (рис. 1, б) – и в составе новой станции «Салют-7» 19 апреля 1982 г. выведен на орбиту. Необходимо сказать, что все приборы серии МСС устанавливались неподвижно на иллюминаторы станций «Салют» и в комплексе с другой аппаратурой юстировались по оси –Х станций (в надир). Чтобы навести оси приборов, например, на горизонт Земли, нужно было разворачивать всю станцию.

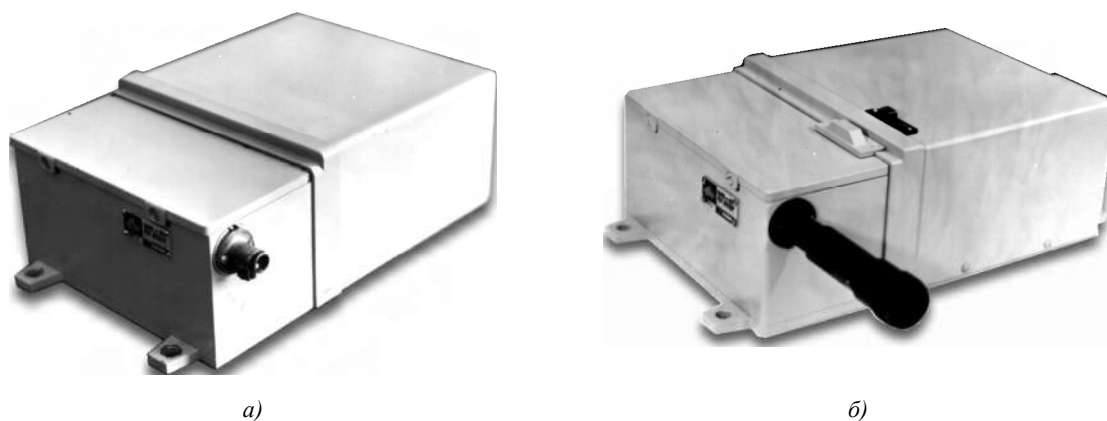


Рис. 1. Малогабаритные скоростные спектрометры:
а) МСС-2М/МСС-2МВ; б) спектрополяриметр МСС-2П

Важнейшим итогом спектральных и визуальных наблюдений, проведенных с борта станций «Салют-4», «Салют-6» и «Салют-7», явилось обоснование необходимости создания ручного микропроцессорного прибора, осуществляющего обработку и визуализацию спектральной информации прямо на борту станции. Инициатором создания такой аппаратуры стал летчик-космонавт В.В. Коваленок.

Реализация этой идеи привела к созданию принципиально нового автоматизированного прибора – спектрометрической микропроцессорной системы «СКИФ» [3, 4] (рис. 2): спектральный диапазон 0,4–1,1 мкм; спектральное разрешение 11 и 3 нм (в поддиапазонах), поле зрения 52×10 угл. мин. В сентябре 1985 г. система «СКИФ» была доставлена на станцию «Салют-7», где космонавты В.П. Савиных, В.А. Джанибеков, Г.М. Гречко и другие проводили эксперименты по изучению состояния иллюминаторов станции, атмосферных и природных объектов. С этого времени на станции «Салют-7» функционировали два разработанных и созданных в Беларуси прибора – МСС-2П и СКИФ.



Рис. 2. Авиакосмическая спектрометрическая микропроцессорная система «СКИФ-М»

20 февраля 1986 г. на орбиту выводится новая станция модульного типа «Мир». После окончания функционирования станции «Салют-7» система «СКИФ» с последней экспедицией (Л.Д. Кизим и В.А. Соловьев) 26 июня 1986 г. на корабле «Союз Т-15» в числе немногих приборов со станции «Салют-7» была доставлена на борт орбитального комплекса «Мир» и с ней продолжились исследования в составе комплекса.

С 1985 г. работы по созданию спектральных систем и методов дистанционной диагностики излучений по инициативе Л.И. Киселевского были развернуты в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ.

Исходя из уже накопленного опыта, совершенствование систем для космической спектрометрии было связано с усложнением задач исследований и необходимостью совмещения в одном бортовом комплексе возможности одновременной регистрации спектральных, пространственных, энергетических, поляризационных и угловых характеристик объекта для проведения экологических исследований. Реализация таких параметров осуществилась, когда в 1988 г. в Белорусском государственном университете по инициативе летчиков-космонавтов В.И. Севстьянова и А.А. Серебровва совместно с НПО «Энергия» была создана система «Гемма2-видео» (рис. 3), которая в 1989 г. была доставлена модулем «Квант» на борт орбитального комплекса «Мир» и использовалась при проведении геоэкоинформационных исследований [5] космонавтами А.А. Серебровым, А.Н. Баландиным, А.Я. Соловьевым и др.

В 1989 г. группа научных сотрудников с аппаратурой «Гемма» участвовала в крупном международном эксперименте FIFE-89 в штате Канзас, США. В этом эксперименте приняла

участие ученые США, СССР, Канады, Франции, Великобритании [6]. «Гемма» в 1989 г. работала и на борту станции «Мир», и на борту вертолета НАСА в США.



Рис. 3. Интерактивная микропроцессорная видеоспектрометрическая система «Гемма2-видео»: а) оптический приемный блок; б) бортовой информационно-вычислительный комплекс

2. Некоторые результаты прикладных и фундаментальных исследований Земли с пилотируемых орбитальных станций

Характеристики иллюминаторов орбитальных станций были специально исследованы по заказу НПО «Энергия», поскольку они являются элементами оптического тракта систем регистрации излучений и параметры иллюминаторов необходимо учитывать при проведении абсолютных измерений.

В ходе орбитального полета состояние поверхностей иллюминаторов (как и других оптических элементов, находящихся в открытом космосе) постепенно ухудшается в результате повреждения внешней поверхности потоком микрометеоритов и осаждения на поверхности стекла летучих материалов, сублимированных с элементов конструкции; выхлопных продуктов корректирующих двигателей; материалов утечки из гермоотсеков и т. п. Эти загрязнения увеличивают рассеяние иллюминатора и снижают спектральное пропускание.

В результате исследований оптических характеристик иллюминаторов станций «Салют-4» и «Салют-6» [7, 8] оказалось, например, что на станции «Салют-6» за период от первой до пятой экспедиций спектральное пропускание иллюминатора τ_λ ухудшилось в 1,5–2 раза, а регистрируемые прибором через иллюминатор спектральные контрасты между отдельными участками на поверхности Земли ухудшились на 148-е сутки полета на 20–30 %, а на 1270-е сутки полета – на 40–50 % (рис. 4).

Полученные результаты, наряду с данными других исследований, послужили основанием для изменения конструкции иллюминаторов на всех орбитальных станциях последующего поколения. Начиная с ОНС «Салют-7», все иллюминаторы стали делать с наружными крышками, снабженными электроприводом для их открытия, а внутренние поверхности защитили тонкими сменными стеклами, а позднее – раздвижными шторками.

Исследования оптических характеристик фонов Земли (системы «подстилающая поверхность – атмосфера») проводились с целью систематизации данных, составления каталогов и атласов спектральноэнергетических характеристик основных классов природных фонов и формирования модели фонов Земли как планеты в целом. На рис. 5 показаны некоторые результаты геофизических экспериментов по исследованию яркостей природных фонов и их зависимостей от зенитного угла Солнца [9, 10].

Было установлено, что яркости излучения, отраженного от поверхности воды, зависят не только от зенитного угла Солнца, для экваторий океана они зависят также от атмосферных аэрозольной и молекулярной индикатрис рассеяния. Чем короче длина волны отраженного излучения, тем меньше яркость зеркального отражения от поверхности воды. В ходе исследований были определены оптимальные условия наблюдения цветовых различий и спектральных контрастов, благоприятных для обнаружения биопродуктивных районов океана, найдены статистические связи выходящего из воды излучения с содержанием пигментов фитопланктона.

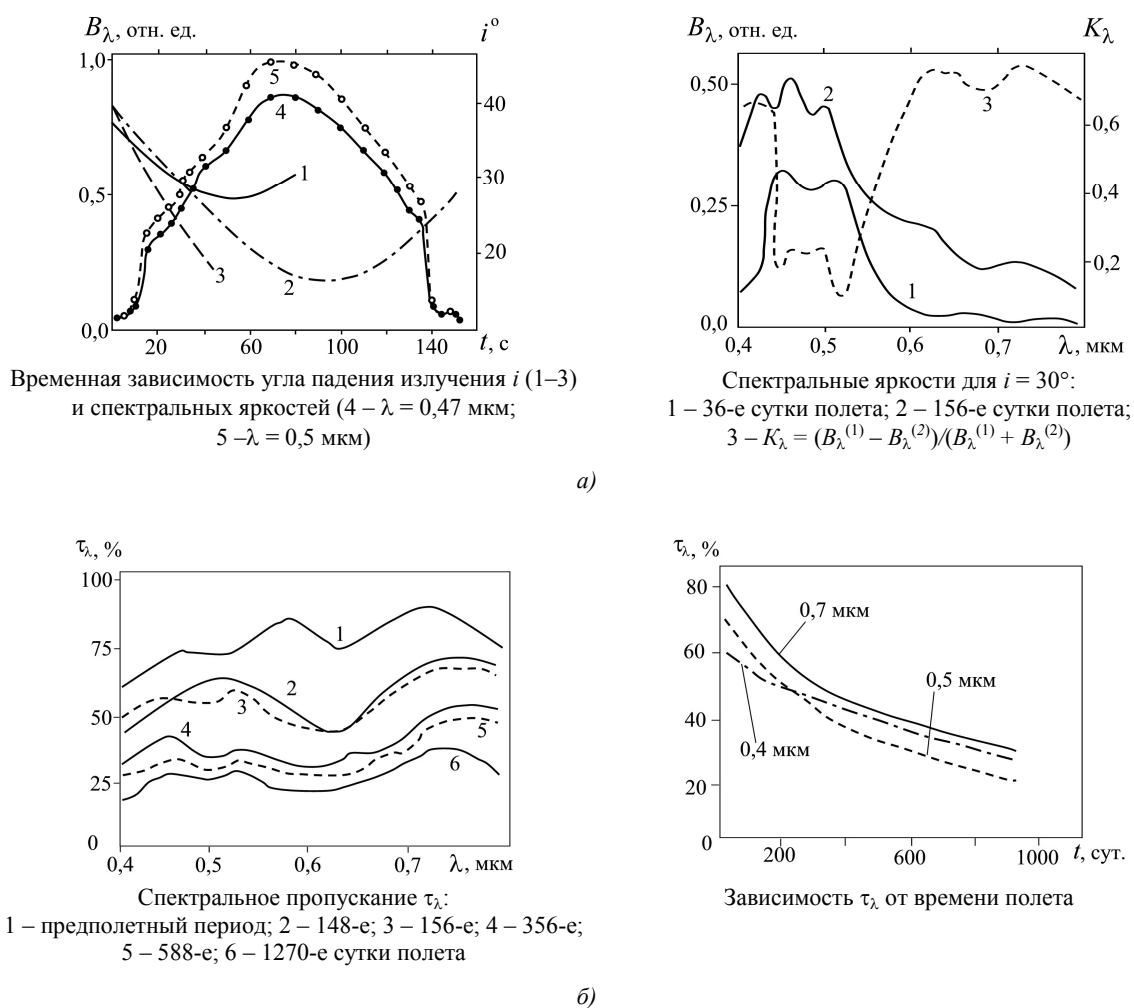


Рис. 4. Результаты исследования оптических характеристик:
а) иллюминатора ОНС «Салют-4»; б) иллюминатора ОНС «Салют-6»

На основе анализа полученных данных было показано, что по спектральной яркости отраженного Землей излучения можно проводить физико-географическое районирование территорий, т. е. различать физико-географические зоны и провинции. Даже такому мелкому географическому делению, как провинция, соответствует свой среднестатистический спектральный образ.

Исследования светового ореола Земли проводились при спектрофотометрировании дневного горизонта планеты методом пространственного сканирования горизонта Земли оптической осью аппаратуры под разными углами. На рис. 6 показаны некоторые результаты этих исследований, полученные специальной обработкой данных [11].

Была определена толщина оптического слоя атмосферы в различных участках спектра. Так, для красной области (0,62–0,72 мкм) она равна 27 ± 4 км, а для синей – 36 ± 4 км, что свя-

зано с особенностями рассеяния света в атмосфере. При этом уверенно обнаруживаются оптические неоднородности на высотах порядка 17–20 км – это аэрозольный слой Юнге.

Опико-физические характеристики серебристых облаков были определены в результате впервые полученных уникальных данных инструментальных измерений из космоса спектрометром МСС-2. Серебристые облака – это самые высотные облака в атмосфере Земли. Они образуются в районе высокоширотной летней мезопаузы на высотах 80–85 км и имеют очень малую оптическую толщину. О природе их образования среди ученых идут споры до сих пор.

На основании проведенных исследований удалось установить, что серебристые облака – это полидисперсная среда, состоящая из ансамбля идентичных сферических частиц, где распределение частиц по размерам выражается законом Юнге ($r_{min} = 0,025$ мкм – минимальный и $r_{max} = 1,9$ мкм – максимальный радиусы частиц в ансамбле). Концентрация частиц в облаке составляет 6 см^{-3} [11].

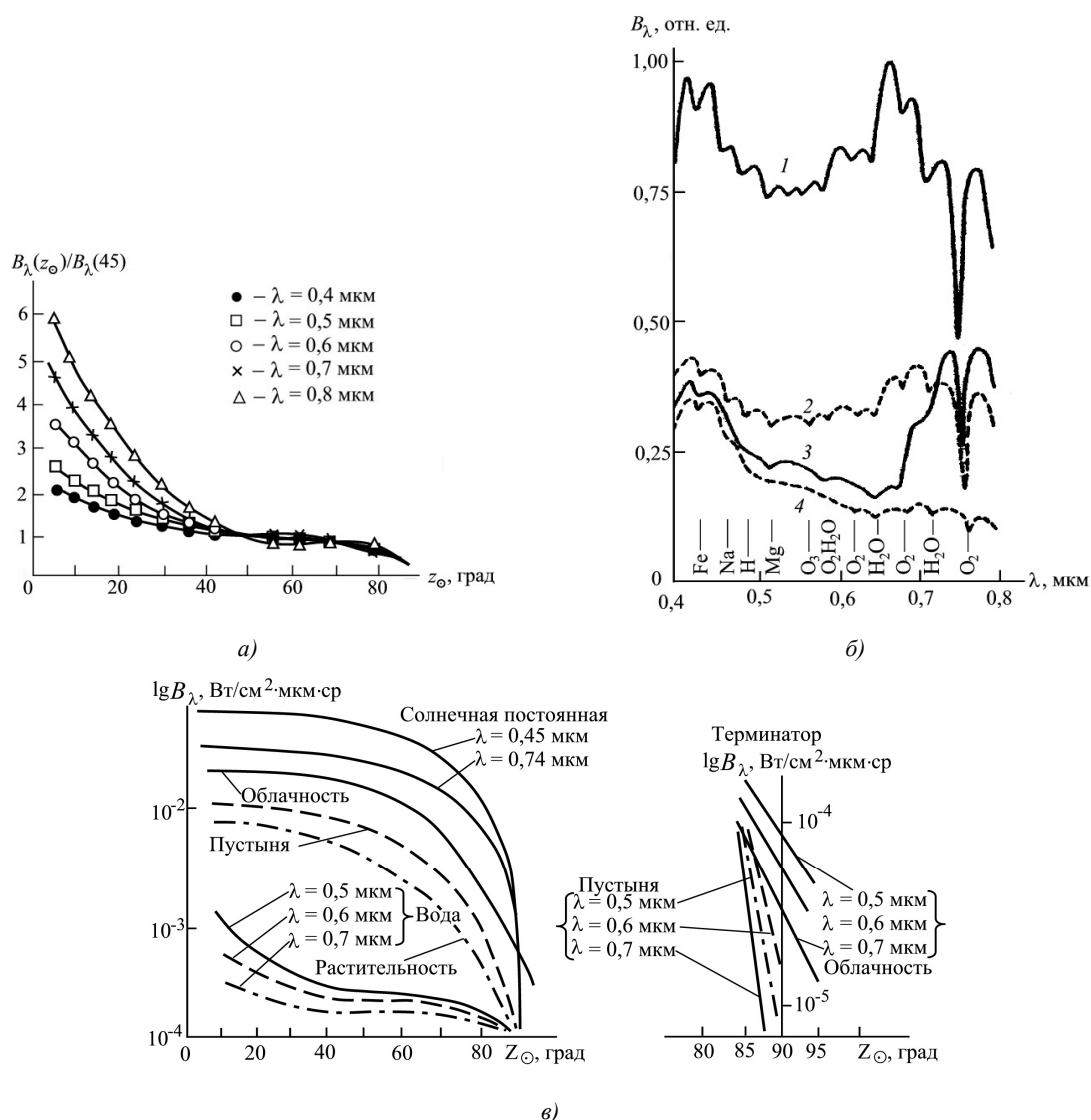


Рис. 5. Оптические характеристики фонов Земли:

- а) зависимость нормированной яркости от Z_\odot для водных поверхностей;
 б) спектральные яркости фонов при одном Z_\odot : 1 – облачность, 2 – пустыня, 3 – растительность, 4 – вода;
 в) зависимость спектральной яркости B_λ от зенитного угла Солнца Z_\odot для основных классов природных фонов

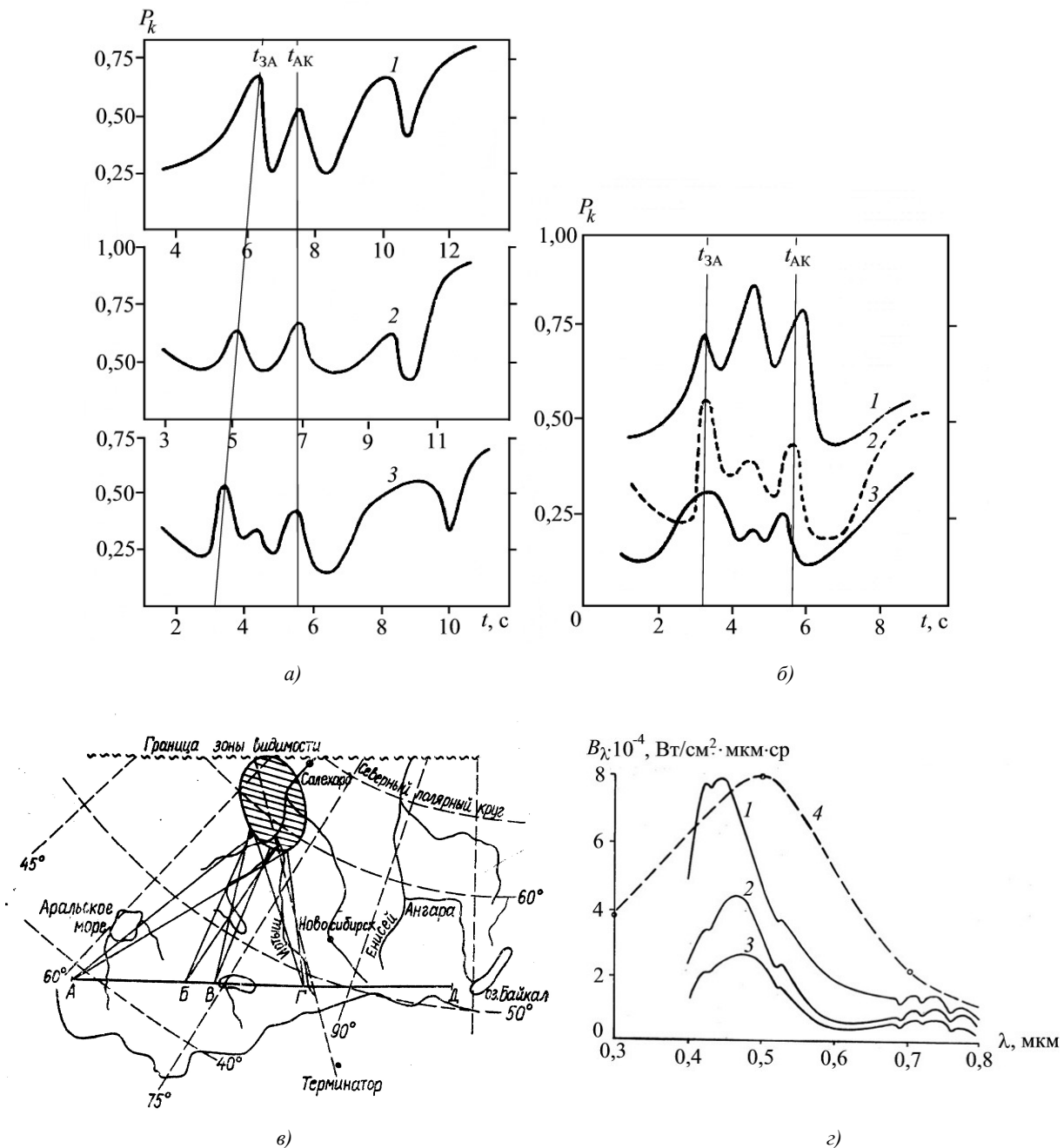


Рис. 6. Исследование светового ореола Земли.

- а) значения коэффициента значимости P_k зарегистрированных яркостей для трех «разрезов» атмосферы;
- б) значения P_k для третьего разреза: 1 – $\lambda = 0,42 - 0,62$ мкм, 2 – $\lambda = 0,42 - 0,78$ мкм, 3 – $\lambda = 0,62 - 0,78$ мкм;
- в) схема проведения эксперимента по измерению яркости серебристых облаков (заштрихованный овал – район наблюдений);
- г) спектры серебристых облаков для различных углов рассеяния θ :
 1 – $\theta = 22 \pm 7^\circ$, 2 – $\theta = 47 \pm 8^\circ$, 3 – $\theta = 51 \pm 5^\circ$, 4 – расчет при $\theta = 20^\circ$

3. Участие в научных проектах на Международной космической станции

В 1997 г. ученым НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ предложили участвовать в российском тендере на создание аппаратуры для исследования из космоса оптических излучений в атмосфере и ионосфере Земли, обусловленных грозовой активностью и связанных с сейсмическими процессами. Это глобальный мониторинг землетрясений.

По данным исследований последних лет, землетрясения можно предсказывать по изменению свечений в ионосфере Земли. Несколько видов таких свечений возникают над зонами

грозовой активности при электрических разрядах (молниях) между грозовым облаком и верхней стратосферой или нижней ионосферой.

В результате молниевых разрядов вверх происходит изменение атмосферного электрического поля между атмосферой и нижней ионосферой. Это сопровождается появлением красных и голубых свечений. «Красные призраки» (Red Sprites) – яркие кратковременные (3–5 мс) вспышки свечения атмосферы на высотах от 40 до 90 км. «Голубые струи» (Blue Jets) – свечения длительностью 100–200 мс на высотах 20–40 км.

Существуют и другие виды свечений, например зеленая эмиссия атомарного кислорода 557,7 нм, гидроксила и красной линии кислорода 630,0 нм на высотах от 80 до 300 км.

Результаты разрозненных наблюдений показывают, что за несколько суток до начала землетрясения сначала повышается интенсивность свечения в F -области ионосферы, за сутки интенсивность снижается и имеет локальный максимум за 4–6 ч до главного толчка. Пространственные масштабы явления – 200–1000 км.

Для проведения таких исследований по контракту с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук (ИЗМИРАН) совместно с Ракетно-космической корпорацией (РКК) «Энергия» была разработана и в 1999 г. создана видеофотометрическая система ВФС-3М [11].

Система ВФС-3М (рис. 7) в автоматическом режиме без участия космонавтов, которые только устанавливают ее на иллюминатор и подключают разъемы кабелей, позволяет:

- регистрировать изображения Red Sprites, Blue Jets и атмосферных эмиссий;
- регистрировать энергетическо-временные распределения изучаемых явлений и молний, вести счет этих явлений во времени;
- взаимодействовать с системами станций, принимать и выполнять команды с Земли, выдавать информацию в каналы телеметрии о режимах функционирования.



Рис. 7. Бортовая микропроцессорная видеофотометрическая система ВФС-3М, установленная на иллюминаторе служебного модуля МКС

Микропроцессорная система ВФС-3М работает в ждущем режиме, автоматически регистрирует молниевые вспышки длительностью 1 мкс – 1 мс, но при обнаружении явления длительностью более 2 мс извлекает из памяти ЭВМ предыдущие изображения, сжимает их и записывает информацию на собственный магнитооптический диск.

Основные технические характеристики оптического модуля ВФС-3М: спектральные диапазоны 390–900, 390–430, 650–750 нм; угол поля зрения 21,7 °; чувствительность на $\lambda = 700$ нм $1,3 \cdot 10^{-10}$ Вт/(см²·мкм·ср).

С системой ВФС-3М на борту МКС работали космонавты Ю.И. Онуфриенко, Н.М. Бударин, Ю.И. Маленченко и др. Некоторые результаты их исследований приведены в монографии [11].

Необходимость исследования свечения атмосферы в области мезопаузы вызвана большой значимостью гидроксильного излучения как с точки зрения химической динамики взаимодействия гидроксила с основными компонентами атмосферы (азотом, кислородом, атомарным кислородом), так и с точки зрения обоснования разнообразных применений этого свечения в геофизических измерениях.

Оптическое свечение атмосферы представляет собой люминесценцию составляющих атмосферу газов на высотах от 80 до 110 км. Спектр свечения является довольно сложным и состоит из большого числа линий в видимой и инфракрасной областях спектра, а также слабого континуума. Линии излучения гидроксила вносят наибольший вклад в свечение атмосферы (до 87 %). Зеленая линия атомарного кислорода 557,7 нм светится в тонком слое 80–100 км, и ее вклад составляет около 10 %.

Для исследования этих явлений разработана научная аппаратура – спектрофотометрический комплекс (СФК), предназначенный для установки на МКС и проведения измерений пространственно-временных и спектральных характеристик оптических свечений верхних слоев атмосферы в космическом эксперименте (КЭ) «Глобальный мониторинг состояния атмосферы путем измерения интенсивностей эмиссий гидроксила и атомарного кислорода с целью разработки эмпирической модели мезосферы для прогнозирования геофизических катастроф» (шифр «Гидроксил»).

Научный эксперимент «Гидроксил-МКС» направлен на решение трех фундаментальных проблем физики верхней атмосферы:

геофизической – выявления статистически значимых закономерностей долговременной изменчивости гидроксильного излучения и излучения зеленой линии атомарного кислорода и связи их со структурными параметрами атмосферы;

физико-химической – установления физико-химических механизмов и констант скоростей, определяющих интенсивность колебательно-вращательных полос гидроксильного излучения в условиях верхней атмосферы.

научно-прикладной – разработки методов применения данных по гидроксильным и кислородным эмиссиям для задач прогнозирования землетрясений и предупреждения о чрезвычайных ситуациях, связанных с некоторыми типами природных и техногенных катастроф.

Основные научно-технические задачи КЭ «Гидроксил-МКС»:

– выявление статистически значимых закономерностей долговременной изменчивости гидроксильного излучения в области длин волн 840–1040 нм на высотах 80–93 км и излучения зеленой линии ($\lambda = 557,7$ нм) атомарного кислорода на высотах 88–105 км, а также их связи со структурными параметрами атмосферы;

– создание эмпирической модели, описывающей распределение интенсивности гидроксильного и кислородного излучений в зависимости от гелио- и геофизических условий;

– разработка методов применения данных по гидроксильным и кислородным эмиссиям для задач прогнозирования землетрясений и предупреждения о чрезвычайных ситуациях, связанных с некоторыми типами природных и техногенных катастроф.

Одновременные измерения свечений в различных линиях необходимо проводить в ночной области атмосферы, так как в дневное время суток в этих областях спектра присутствуют другие эмиссии атмосферы, которые неизбежно будут подавлять и искажать измеряемый полезный сигнал.

Измерения необходимо проводить в направлении лимба (рис. 8) вдоль по касательной к излучающему слою с разрешением 1–2 км для получения высотных профилей в заданном диапазоне высот. При такой геометрии эксперимента регистрируемая интенсивность эмиссии будет примерно в 50 раз больше, чем в зените, вследствие интегрирования вкладов вдоль луча зрения на длине порядка 500 км и составит 1–5 Крэлей для гидроксила и 10 Крэлей для атомарного кислорода.

СФК (рис. 9), разработанный для решения поставленных задач, состоит из блока оптических датчиков, блока электроники и кронштейна установки на иллюминатор МКС [12]. СФК разработан и создан по Программе разработки и использования перспективных космических средств и технологий в интересах экономического и научно-технического развития Союзного государства.

ва (шифр «Космос-СГ») в рамках задания «Разработка и создание малогабаритной научной аппаратуры космического базирования для проведения исследования верхних слоев атмосферы». Разработчик и изготовитель научной аппаратуры – НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, разработчик научной аппаратуры и постановщик космического эксперимента – ИЗМИРАН, ответственный за реализацию космического эксперимента – РКК «Энергия».

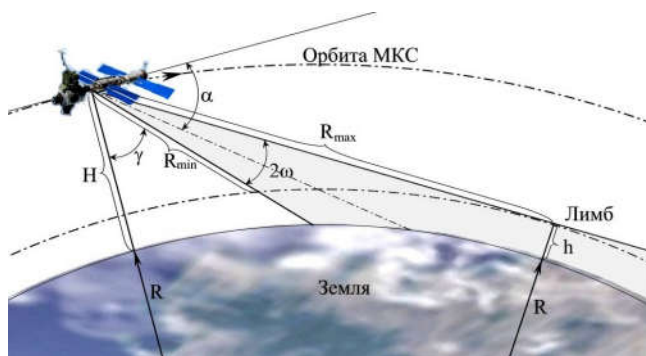


Рис. 8. Геометрия наблюдения свечений с борта МКС



Рис. 9. Внешний вид СФК для КЭ «Гидроксил-МКС»

Блок оптических датчиков предназначен для выделения и регистрации свечений. Он состоит из модуля спектральных изображений гидроксильных свечений на основе матричного фотоприемного устройства с числом элементов 1024×64 , работающего в диапазоне 840–1040 нм со спектральным разрешением 0,5 нм; модуля регистрации свечения атомарного кислорода на основе линейного фотоприемного устройства с числом элементов 128 и оптического визира.

В настоящее время изготовлены экспериментальный, технологический и летный образцы СФК. Разработано специальное программное обеспечение функционирования и представления данных СФК, контрольно-поверочная аппаратура для проведения автономных испытаний (КПА-АИ) СФК. На базе метрологического комплекса «Камелия-М» разработан имитатор КЭ «Гидроксил».

Одним из важнейших ожидаемых результатов исследований являются возможность предсказания землетрясений, а также некоторых типов техногенных катастроф с помощью регистрации свечения гидроксила и атомарного кислорода в сейсмоопасных районах и создание методик мониторинга состояния верхней атмосферы с учетом эффектов глобального потепления.

Заключение

В статье представлены результаты разработок оптико-электронных систем дистанционной спектроскопии, предназначенные для исследований различных природных и искусственных образований и сред в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра из космоса.

На основании исходных данных о характеристиках объектов, выбранных для решения широкого круга задач, были проанализированы и определены базовые принципы построения оптических схем монохроматоров и полихроматоров спектрометров и спектро радиометров, позволяющих получить высокие (форсированные) оптические характеристики при малых габаритных размерах приборов.

Приведены результаты комплексных исследований оптико-спектральных характеристик природных образований с помощью созданных приборов и систем дистанционного зондирования Земли.

Проанализировано влияние атмосферы на результаты спектрометрирования подстилающих поверхностей, оценено влияние аэрозольной компоненты рассеяния на спектральный состав уходящего с верхней границы атмосферы излучения и влияние условий освещения при космических спектральных исследованиях Земли. Изучены оптико-физические характеристики природных и антропогенных образований в атмосфере и на поверхности Земли.

Список литературы

1. Малогабаритный скоростной спектрометр МСС-2 / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. спектроскопии. – 1978. – Т. 29, № 6. – С. 1070–1073.
2. Спектрометр: а. с. 550539 СССР, МКИ² С 01 J 3/18 / Б.И. Беляев, В.Е. Плюта, Е.А. Сметанин (СССР); Ин-т физики АН БССР. – № 2300751; заявл. 18.12.75; опубл. 1977 // Открытия, изобрет. – 1977. – № 10. – С. 15.
3. Авиакосмическая спектрометрическая микропроцессорная система «СКИФ-М» / Б.И. Беляев [и др.] // Каталог приборов. – Минск: Наука и техника, 1988. – С. 14–16.
4. Спутниковая спектрометрическая система: а. с. 1127404 СССР / Б. И. Беляев [и др.]; ИФ АН БССР и Центр подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина. – № 3625361; заявл. 19.07.83; опубл. 01.08.1984 // Открытия. Изобрет. – 1984. – № 5. – С. 11.
5. Беляев, Б.И. Создание комплекса средств дистанционной спектроскопии видимого и ближнего ИК-диапазонов / Б.И. Беляев, В.А. Сосенко // Журн. прикл. спектроскопии. – 1997. – Т. 64, № 6. – С. 827–833.
6. Comparison of field radiances as measured by United States and Russian spectroradiometers / V. Beljaev [et al.] // International Journal of Remote Sensing. – 1993. – № 3. – P. 140–152.
7. Исследование оптических характеристик иллюминаторов / Б.И. Беляев [и др.] // Исследование атмосферно-оптических явлений с борта ОНС «Салют-4». – Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1979. – С. 103–114.
8. Беляев, Б.И. Исследование изменчивости оптических свойств иллюминаторов станций «Салют» в ходе их полета / Б.И. Беляев, В.А. Зайцева, В.Е. Плюта // Труды IX Научных чтений по космонавтике. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1988. – С. 111–117.
9. Спектрометрические исследования природной среды в видимом диапазоне с орбитальной научной станции «Салют-4» / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. спектроскопии. – 1978. – Т. 29, № 6. – С. 1011–1018.
10. К анализу факторов, формирующих спектральное распределение уходящей радиации по результатам спектрометрирования с орбитальной научной станции «Салют-4» / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. спектроскопии. – 1981. – Т. 34, № 2. – С. 281–285.
11. Беляев, Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский. – Минск: Изд-во БГУ, 2006. – 455 с.
12. Спектрофотометрический комплекс для исследования свечений верхней атмосферы с борта международной космической станции / Б.И. Беляев [и др.] // Тезисы IV Открытой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 13–17 ноября 2006 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://d902.iki.rssi.ru/theses/cgi/thesis.pl?id=468>. – Дата доступа: 10.07.2007.

Поступила 24.04.07

*Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А.Н. Севченко БГУ,
Минск, Курчатова, 7
e-mail: remsens@niks.by*

B.I. Beliaev

**RESEARCH OF EARTH OPTICAL CHARACTERISTICS
FROM PILOT SPACE STATIONS**

Spectral devices for research of Earth optical characteristics from space stations «Salut», «Mir» and International Space Station are described. Some results of applied and fundamental research of Earth from Space are presented.