

4205

ВКО

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для служебного пользования

~~ПОДАДЕНО~~
Экз. № 29
На правах, рукописи

Аксенов Владимир Викторович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ
В ПРОГРАММЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ

05.II.16.

Информационно-измерительные системы в
области космических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ВН/124 дсп от 5.06.81 г.

ВНИРО

Вход. № _____

Дата _____

Москва 1981

Работа выполнена в Институте космических исследований
Академии наук СССР

Научные руководители: академик

Р.З. САГДЕЕВ

кандидат технических наук

Я.Л. ЗИМАН

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Л.Н. ВАСИЛЬЕВ

кандидат геолого-минералогических наук

В.Н. БРЮХАНОВ

Ведущая организация: Государственный научно-исследовательский
и производственный центр "Природа" ГУГК
при СМ СССР

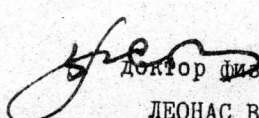
Защита диссертации состоится "20" июня 1981г.
в 10⁰⁰ часов на заседании Ученого совета Д-002.94.02.

по адресу: П17810, г. Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, 84/32

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКИ АН СССР.

Автореферат разослан "18" июня 1981г.

Ученый секретарь Совета


Доктор физ.-мат. наук

ЛЕОНАС В.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Широкий круг научных и практических задач комплексной проблемы изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ) из космоса и достигнутые успехи в этой области выдвинули на первый план интенсивное применение многозональной видеоинформации, получаемой в оптическом диапазоне электромагнитных волн. Создаваемая в нашей стране космическая система ИПРЗ рассчитана на использование в первую очередь беспилотных космических аппаратов. Тем не менее, создание указанной системы предусматривает широкое использование пилотируемых космических кораблей (ПКК) и орбитальных пилотируемых станций (ОПС) как основу для отработки методов и технических средств дистанционных исследований Земли. Возможность привлечения космонавтов к управлению съемочной аппаратурой, к оценке ее работоспособности и надежности, к проведению экспериментов по ИПРЗ в интерактивном режиме, активного участия в оперативном выборе объектов исследования и оптимальных условий их регистрации делают необходимым и чрезвычайно актуальным использование ПКК и ОПС с участием экипажа.

Целью работы являлась разработка методов и испытание технических средств фотографических съемок Земли из космоса, а также оценка активного участия космонавтов-исследователей в решении некоторых задач изучения природных ресурсов Земли.

Методика исследований. Поставленные задачи решались на основе анализа современного уровня дистанционного изучения природных ресурсов Земли, летно-конструкторских испытаний в космическом полете специальной многозональной фотокамеры МКФ-6 и личного опыта по визуальным и визуально-инструментальным наблюдениям земной поверхности из космоса. Эффективность метода оценивалась по результатам разносторонней тематической обработки полученных космических снимков различных районов СССР и исполь-

зованием камеры в течение нескольких лет на борту ОПС.

Научная новизна. Камера МКФ-6 явилась первым специальным бортовым прибором, предназначенным для штатных съемок Земли из космоса. Испытания указанной аппаратуры в космосе, оценка ее работы и высокое качество получаемых снимков определили целесообразность ее внедрения в практику ИПРЗ. Сопровождение съемок визуальными наблюдениями и анализ результатов эксперимента "Радуга" позволили выработать ряд рекомендаций по дальнейшему развитию арсенала технических средств решения проблемы изучения природных ресурсов Земли из космоса.

Автор защищает:

- 1) результаты эксперимента по многозональному фотографированию Земли с пилотируемого космического аппарата,
- 2) методические положения по работе космонавта-исследователя при проведении экспериментов по комплексным (визуальным и визуально-инструментальным) наблюдениям Земли,
- 3) принципы построения прибора, предназначенного для проведения одновременных визуальных наблюдений, фотографических съемок и спектрометрических измерений природных объектов с борта пилотируемых космических аппаратов,
- 4) методические рекомендации по программе подготовки космонавтов к проведению работ по ИПРЗ.

Практическая ценность работы состоит в получении и анализе высококачественных материалов съемки, их эффективном научном и практическом применении, положительной оценке камеры МКФ-6, ее работы в период испытательного полета и ее последующем внедрении в практику. На основе личного опыта выработаны предложения

по созданию новых приборов и внедрения их в практику визуальных и визуально-инструментальных наблюдений космонавтов-исследователей в период полета.

Апробация. Основные положения работы были доложены на научном семинаре, проведенном в рамках совещания Рабочей группы социалистических стран по дистанционному зондированию Земли с помощью аэрокосмических средств (г.Будапешт, 1978г.) и на семинарах отдела оптико-физических измерений и научно-методического центра ИКИ АН СССР.

Основные результаты работы опубликованы в трех печатных работах и ряде рукописных научно-технических отчетов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, пяти глав и Заключения. Общий объем работы стр., в том числе текста, таблиц, рисунков, обл. наим.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, кратко рассмотрено современное состояние проблемы и перспективы ее решения.

Глава I посвящена обзору задач и методов дистанционных исследований Земли из космоса в оптическом диапазоне электромагнитных волн.

В §I.I обосновывается и уточняется общая постановка задачи дистанционных исследований Земли из космоса, под которой понимается "... наблюдение и измерение энергетических и поляризационных характеристик собственного и отраженного излучения элементов суши, океана и атмосферы Земли в различных диапазонах электромагнитных волн, способствующие описанию местонахождения, характера и временной изменчивости естественных природных пара-

метров и явлений, природных ресурсов Земли, окружающей среды, а также антропогенных объектов и явлений".

В §1.2 рассмотрены методы дистанционных исследований и аппаратура, применяемая в отечественных и зарубежных программах изучения природных ресурсов Земли из космоса (сканеры, многозональные фотографические системы и камеры, спектрометры и др.), а также создаваемая аппаратура.

В §1.3 приведены наиболее употребимые в настоящее время методы обработки и интерпретации космической информации о Земле: визуальные, визуально-инструментальные и автоматизированные с использованием ЭВМ.

В §1.4 дается обширный перечень задач изучения природных ресурсов Земли, решаемых при дистанционных исследованиях. Перечисленные задачи размещены по крупным разделам географической науки и хозяйственной деятельности (ландшафтоведению, геоморфологии, почвоведению, геоботанике, сельскому и лесному хозяйству, гидрологии и мелиорации, океанологии, океанографии и рыбному хозяйству, метеорологии, атмосфере, охране окружающей среды и социально-экономическим проблемам), по геологии (структурной геологии, тектонике и неотектонике, поисковой и теоретической геологии и т.д.), картографии.

В §1.5 рассмотрена роль визуальных и визуально-инструментальных наблюдений космонавтов-исследователей с борта пилотируемых космических кораблей и орбитальных пилотируемых станций в программе комплексного изучения природных ресурсов Земли из космоса.

В §1.6 дается краткий обзор американских программ дистанционных исследований земной поверхности по ИПРЗ, реализованных с ПКК и орбитальной станции Скайлэб и существующих проектов:

Шаттл, Спейсшэб и др.

Глава II посвящена рассмотрению вопросов подготовки и проведения эксперимента "Радуга", включавшего в себя широкий комплекс научно-исследовательских, экспериментальных и опытно-конструкторских многолетних работ, основной задачей которых являлась разработка и испытание в космосе метода и технических средств многозонального космического фотографирования с целью изучения природных ресурсов Земли.

На первом этапе работ на основе многолетних научных исследований для эксперимента "Радуга" специалистами СССР и ГДР были созданы многозональный космический фотоаппарат МКФ-6 и многозональный синтезирующий проектор МСП-4. В ходе второго этапа эксперимента были проведены летно-конструкторские испытания камеры МКФ-6 в период пилотируемого полета космического корабля "Союз-22", конструкция которого была специально доработана.

В §2.1 изложены задачи эксперимента "Радуга", условно разделенные на два типа: летные и технические испытания камеры МКФ-6; совершенствование методов многозонального космического фотографирования; проведение съемки территории СССР и ГДР и последующие научно-методические исследования и практическое использование полученных снимков.

В §2.2 кратко рассмотрены общие вопросы разработки методики многозонального космического фотографирования и требования к характеристикам снимков, явившиеся основой создания камеры МКФ-6, техническое описание которой и принципы работы приведены в § 2.3. Основные технические данные камеры МКФ-6: высота съемки 200-400 км; количество каналов - 6; спектральный диапазон - 480-840 нм; объектив - Пинастар I/125; затвор - центральный с вращающимися дисками; ширина пленки - 70 мм; перекрытие кадров-

- 20, 60, 80%.

В § 2.4 рассмотрены особенности установки аппаратуры МКФ-6 на космическом корабле "Союз-22", баллистического и метеорологического обеспечения полета и съемки земной поверхности. Для реализации намеченной программы эксперимента "Радуга" в КК "Союз" был создан специальный фотоотсек с оптическим иллюминатором большого диаметра (420 мм); выбрано наклонение орбиты $64,8^{\circ}$, обеспечившее возможность фотосъемки 78% территории СССР и всей территории ГДР. Приведены данные о сеансах фотографирования различных районов нашей страны, ГДР, акватории Мирового океана, Дуны, горизонта Земли, восхода Солнца. За 6 дней работы МКФ-6 в период космического полета было получено около 14000 зональных снимков. Летно-конструкторские испытания фотокамеры МКФ-6 прошли успешно, завершив важный этап эксперимента "Радуга".

Глава II посвящена завершающему этапу эксперимента, начавшемуся по окончании космического полета и возвращении на Землю кассет с отснятой пленкой. На этом этапе была проведена фотохимическая обработка пленки, получены снимки, которые были переданы специалистам для интерпретации и дешифрирования.

В §3.1 рассмотрены основные характеристики полученных многозональных космических снимков. Фактически достигнутое разрешение на земной поверхности в шести съемочных каналах: 480мм-22м; 540мм-18м; 600мм-16м; 660мм-16м; 720мм-48м; 820мм-40м. При таких значениях разрешения на снимках I-4 каналов по всему полю изображения распознается планировка всех населенных пунктов, дорожная сеть (вплоть до проселочных дорог), различные линейные объекты. Структурно-метрические показатели полученных снимков характеризуются высоким пределом оптического увеличения оригинальных

негативов, при котором еще не наблюдается ухудшения детальности фотозображения. При дешифрировании мелких деталей снимков, полученных в видимой области спектра, возможно $30^{\times} - 60^{\times}$ оптическое увеличение; в ближнем ИК-диапазоне $7^{\times} - 10^{\times}$. Полученные снимки, благодаря имеющимся данным о световых и пространственных передаточных характеристиках фотоаппарата МКФ-6 и секситометрической привязке каждого зонального негатива, применяются для проведения по ним высокоточных измерений спектральных яркостных характеристик природных объектов. Перечисленные особенности многозональных космических снимков, наряду с их широкой обзорностью, хорошими цветовыми и фотограмметрическими свойствами, естественной оптической генерализацией деталей земной поверхности, возможностью повышения детальности и целенаправленного колористического синтеза изображений, делают их пригодными для решения многих задач ИПРЗ.

В §3.2 указаны некоторые области научно-практического применения многозональных космических снимков. Во всем многообразии решаемых задач разных отраслей науки и практики (§1.4) можно выделить три их основных типа: инвентаризация и уточнение имеющейся информации; получение принципиально новых данных; контроль за состоянием изучаемого объекта или региона.

В §3.3 приведены примеры комплексного геолого-географического изучения территории СССР и тематического картографирования по материалам съемки. Особенности строения территории каждого из трех приведенных анализируемых снимков (района центральной части Вилуйской низменности, западного Прибайкалья и Памиро-Алая) определили круг решаемых задач, а результаты обработки и интерпретации отражают три вышеуказанных их типа. Приведенные примеры характеризуют большую практическую значимость снимков,

полученных камерой МКФ-6, качество и степень информативности которых специалисты-интерпретаторы оценивают очень высоко.

В §3.4 приводятся оценки снимков разных спектральных диапазонов (по пятибалльной шкале) для некоторых природных объектов (таблица I).

Таблица I

Отрасли наук о Земле	Номер зон, длина волны (мм) Денифрируемые объекты	I	2	3	4	5	6
		0,46-0,50	0,52-0,56	0,58-0,62	0,64-0,68	0,70-0,74	0,78-0,86
Геология	Четвертичные отложения	I	2	3	4	0	5
	Типы горных пород	0	4	I	3	5	2
	Структурно-тектонические элементы	0	3	5	4	I	0
География	Сельскохозяйственная растительность	4	3	2	2	0	5
	Почвенный покров	3	I	2	4	0	5
	Лесные массивы	5	0	4	3	I	2
	Снежный покров	2	0	3	5	0	4
Гидрология	Водные поверхности	3	I	4	5	0	2
	Геоморфологическое строение дна мелководий, подводная растительность	3	2	5	4	I	0
	Механические взвеси	I	5	2	2	I	4
Сумма баллов		22	2I	3I	36	9	29

Снимки первой зоны (0,46-0,50мм) наиболее пригодны для изучения водосмов небольшой глубины (3-10м), для разделения речных пойм, болот и гарей, лиственных и березовых лесов, некоторых типов почв. Снимки второй зоны (0,52-0,56мм) полезны при изучении мутности водных масс (по ним выделяются различные степени и градации замутненности и концентрации взвесей), хорошо

дешифрируется геолого-геоморфологическое строение. Снимки третьей зоны (0,58-0,62 мкм) наиболее информативны при изучении лесных массивов (по ним хорошо дешифрируются гари, просеки, выруб-ки и т.д.), элементов разломной тектоники и подводного рельефа (до глубины 6-8 м), береговых линий, различных типов и видов донной растительности. Снимки четвертой зоны (0,64-0,68 мкм) применимы для изучения литологического строения, некоторых типов почв, характера береговых линий, элементов донного рельефа прибрежных мелководий, снежного покрова, внутренних океанических волн. По снимкам пятой зоны (0,70-0,74 мкм) хорошо "читаются" выходы коренных пород и некоторые структурные элементы. Снимки шестой зоны (0,78-0,86) особенно ценны для изучения рыхлых четвертичных отложений, некоторых типов почв, водных поверхностей, береговых линий, структурно-тектонических элементов, водных масс различной степени замутненности.

Колористический синтез зональных изображений значительно расширяет информационные возможности многозональных космических снимков, что иллюстрируется большим количеством опубликованных работ по их использованию.

Глава IV посвящена основным итогам эксперимента "Радуга". Работа камеры МКФ-6 и полученные снимки после полета подвергались детальным исследованиям. При измерениях на оптической ми-ре абсолютного контраста разрешающая способность системы "Объектив-светофильтр-выравнивающее стекло-фотошленка Тип-18 в диапазоне длин волн 500-700 нм составила 10-180 линий на мм в центре и не менее 100 на краях кадра. Реальное разрешение, полученное в этих каналах при съемке с высот 200-270 км, составило 25 м (при контрасте 0,1) и 7-10 м (при 0,6). Точность компенсации сдвига изображения с учетом ошибок работы механизма ко-

относительной средней квадратической ошибкой 6%. Фотограмметрические параметры камеры МКФ-6 оценивались по данным ее предположительной калибровки и на основе анализа полученных снимков. Было установлено:

- величина фотограмметрической дисторсии среднеквадратическая 8 мкм, максимальная 14 мкм,
- максимальная разность фокусных расстояний фотокамер одного аппарата 0,06 мм,
- максимальная непараллельность оптических осей фотокамер $15''$.

Опробованные в эксперименте сложные методика, режим и рецептура проявления пленки обеспечили высокое качество полученных снимков. Средняя плотность негативов близка к единице, фотографическая широта колеблется в пределах 0,8-1,5.

Из-за отсутствия надежного эталона фотохимическая калибровка не отличалась достаточной точностью, что вызвало некоторые трудности фотометрической обработки снимков. В будущем необходимо иметь надежный эталон с известной спектральной плотностью энергетической яркости, который можно было бы фотографировать и измерять по всему полю кадра (например, Солнце).

Информативность спектральных зон оценивалась на основе фотометрирования оригинальных негативов и статистического анализа выполненных измерений. При изучении степени корреляции спектральных каналов камеры МКФ-6 был сделан вывод о высокой эффективности всех шести спектральных зон. В таблице 2 приведены коэффициенты корреляции между зональными яркостями, измеренными по снимку оз. Байкал (для зерновых культур).

Таблица 2.

I	2	3	4	5	6
I	0,304	0,137	0,125	-0,074	0,235
	I	0,154	0,192	0,068	0,110
		I	0,238	0,120	0,170
			I	0,821	0,249
				I	0,123
					I

Из таблицы видно, что корреляция между зонами (за исключением 4 и 5) слабая. Аналогичный анализ других объектов земной поверхности показал, что "лишних" зон в МКФ-6 нет.

Для целей изучения поля спектрального излучения Земли проводилась статистическая обработка всех полученных снимков. Были построены мелкомасштабные карты спектральных яркостей для установления взаимосвязей спектрального отражения земной поверхности с геофизическими и географическими объектами, явлениями и процессами.

Наилучшая визуальная оценка специалистов-интерпретаторов дана третьему и четвертому каналам, так как в них сочетаются наиболее высокое пространственное и спектральное разрешение. Высокую оценку получили и шестой канал.

На основе изучения задач и перспективных методов обработки и интерпретации многозвальных снимков сформулированы технические требования к новым специализированным приборам: дисплейному комплексу цифровой обработки, оптико-электронному анализатору, принцип работы которого заключается в одновременном считывании бегущим лазерным лучом всех шести зональных изображений, аналоговой обработке фотоэлектрических сигналов и визуализации результатов на экране цветного видеоконтрольного устрой-

ства.

В главе приведен перечень основных направлений исследований в области создания специализированного математического обеспечения цифровой обработки многоканальной видеoinформации.

В главе У даны некоторые предложения по дальнейшему развитию методов и технических средств дистанционных исследований с пилотируемых космических кораблей, большая роль в которых отводится участию космонавтов-исследователей в визуальных и визуаль-но-инструментальных наблюдениях земной поверхности. Повышение эффективности полетов пилотируемых космических кораблей по программе ИПРЗ может реализовываться по трем направлениям: увеличения изучаемых площадей земной поверхности за счет увеличения угла наклона рабочих орбит; модернизации имеющейся и создания новых видов аппаратуры, управляемой космонавтами; разработки специальных приборов и технических средств, расширяющих возможности космонавтов при проведении визуальных и визуаль-но-инструментальных наблюдений.

Наклонами орбиты ПИК в 65° оказывается наиболее оптимальным, в этом случае в зоне наблюдения оказываются области высоких широт. Географические особенности нашей страны и перспективы ее экономического развития обуславливают проведение дистанционных исследований по программе ИПРЗ всех ее регионов, а в особенности северных.

Проблема модернизации съемочных средств рассмотрена на примере спектрометрической съемочной системы с фотографическим сопровождением - "Спектрокон". Этот прибор предназначен для работы в качестве управляемой оператором автономной съемочной системы с полуавтоматическим спектрометрированием природных объектов и их фотографической регистрацией. В приборе, снабженном

визиром, совмещаются функции многоканального гроссового спектрометра с цифровой регистрацией спектрограмм на магнитной ленте и фотокамеры, необходимой для последующей привязки спектральных данных.

В плане создания дополнительных технических средств, расширяющих возможности космонавта при визуальных наблюдениях экспериментально установлено, что спектрозональный метод при наблюдении водной поверхности дает выигрыш в контрасте в зонах 0,51-0,575 мкм и 0,66-0,70 мкм по сравнению с наблюдением невооруженным глазом.

В Заключении резюмируются основные результаты работы и выводы.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Зиман Я.Л., Чесноков Ю.М., Аксенов В.В. Основные итоги эксперимента "Радуга". Тезисы докладов научного семинара, проводимого в рамках совещания Рабочей группы социалистических стран по дистанционному зондированию Земли с помощью аэрокосмических средств. Будапешт, 1978.

2. "Союз-22" исследует Землю". М.; "Наука", 1980.

3. Зиман Я.Л., Чесноков Ю.М., Аксенов В.В. Основные итоги эксперимента "Радуга". В сб. "Многозональные аэрокосмические съемки Земли". М., "Наука", 1981, с.5-13.

055(02)2

Ротапринт ИКИ АН СССР
Москва 117810, Профсоюзная, 84/32

Подписано к печати 09.06.81

Заказ 323

Тираж 52

Печ.л. - 0,6
