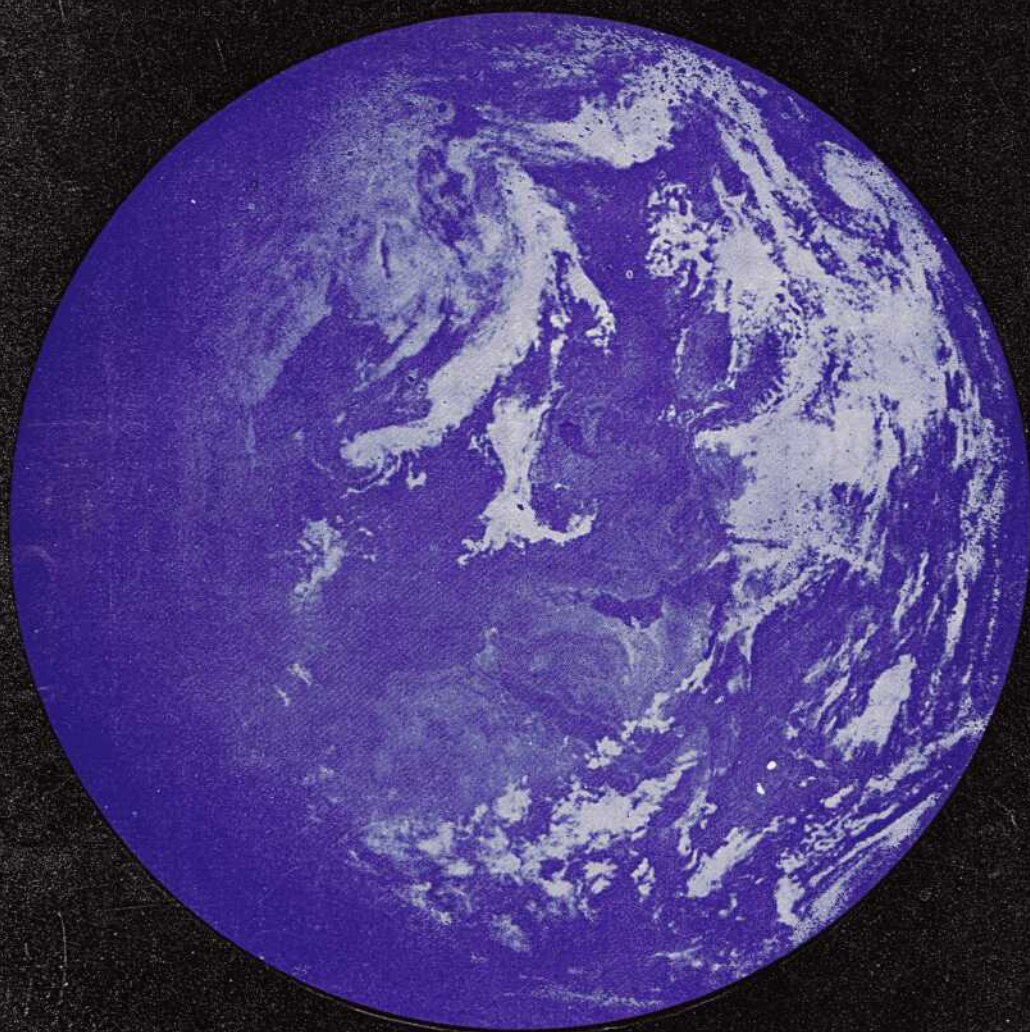


ISSN 0205-9614

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



ИССЛЕДОВАНИЕ
ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА

5*1981

Академия наук

СССР

*

№ 5 • 1981

Сентябрь — октябрь

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Журнал основан в 1980 г. • Москва • выходит 6 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. В. СИДОРЕНКО — главный редактор

Г. А. АВАНЕСОВ, В. С. АДЪЕВСКИЙ, Н. А. АРМАНД, В. Н. БРЮХАНОВ, И. П. ВЕТЛОВ, В. С. ВЕРЕЩЕТИН, Г. В. ВОРОПАЕВ, Я. Л. ЗИМАН (ответственный секретарь), В. Г. ЗОЛОТУХИН, А. С. ИСАЕВ, Т. К. ИСМАИЛОВ, А. П. КАПИЦА (зам. главного редактора), Ю. П. КИЕНКО, Д. М. КИРЕЕВ, Ю. Ф. КНИЖНИКОВ, В. В. КОВАЛЕНКО, В. Б. КОМАРОВ, К. Я. КОНДРАТЬЕВ, И. А. КУТУЗОВ, В. М. МОРАЛЕВ (зам. главного редактора), Б. А. НЕЛЕНО, А. М. ОБУХОВ, Р. З. САГДЕЕВ (зам. главного редактора), В. И. СЕВАСТЬЯНОВ, А. П. ТИЩЕНКО, К. Н. ФЕДОРОВ, А. Л. ЯНИШИН (зам. главного редактора)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Адрес редакции: 117810 ГСП-7 Москва В-485, Профсоюзная ул.,
д. 84/32, ИКИ АН СССР
Телефон: 333-35-78

Зав. редакцией О. Е. Осипова

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы нового эксперимента, проводимого по программе «Метеор — Природа»

Козлов Н. П., Сагдеев Р. З., Шереметьевский Н. Н. Комплексный эксперимент на ИСЗ «Метеор» — важный шаг в развитии оперативных исследований Земли из космоса	5
Трифонов Ю. В. Спутники серии «Метеор», предназначенные для изучения Земли из космоса	8
Трифонов Ю. В. Комплекс технических средств эксперимента по дистанционному зондированию Земли из космоса	21
Селиванов А. С., Тучин Ю. М. Радиотелевизионный комплекс спутников «Метеор» для исследования природных ресурсов Земли	28
Селиванов А. С., Тучин Ю. М., Нараева М. К., Носов Б. И. Экспериментальный бортовой информационный комплекс для наблюдения Земли	35
Аванесов Г. А. Экспериментальный информационно-измерительный комплекс на основе многозональной сканирующей системы «Фрагмент»	40
Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Зиман Я. Л., Игнатенко С. А., Курманалиев Т. П., Муравьев В. М., Рожавский Э. И., Тарнопольский В. И., Фукс В. И., Шербаков В. В. Многозональная сканирующая система «Фрагмент»	45
Богомолов А. Ф., Попов С. М., Смоляников Ю. Д., Степин А. В. Проблемы цифровой передачи и регистрации многозональной видеоинформации и их решение в эксперименте «Фрагмент»	57
Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Сычев А. Г., Тарнопольский В. И. Метрологическое обеспечение измерений яркости земной поверхности многозональной сканирующей системой «Фрагмент»	65
Зиман Я. Л., Юров В. И. Предполетная фотограмметрическая калибровка многозональной сканирующей системы «Фрагмент»	78
Селиванов А. С., Гектин Ю. М., Панфилов А. С., Фокин А. Б. Исследование условий съемки поверхности океана в спектральном диапазоне 0,4—1,1 мкм	82
Ефремова О. П., Кравцова В. И. Изучение динамики дельты Дуная с использованием космических снимков	90
Сафьянов Г. А., Кравцова В. И. Развитие рельефа побережий Рижского залива по результатам анализа, космических, снимков	97
Япварева Л. Ф. Изучение и картографирование сельскохозяйственного использования земель по космическим снимкам	103
Котова Т. В., Кравцова В. И., Макаревич А. К. Картографирование десной растительности по космическим снимкам	111
Кравцова В. П., Низкая И. С. Изучение антропогенного воздействия на природную среду по материалам многозональной сканерной съемки	117
Лаптева Н. И., Тальская Н. Н. Изучение и картографирование эрозионного рельефа Кадачской возвышенности по многозональным сканерным снимкам	124
Ивапугина Л. И., Николаев В. А. Космические снимки, полученные системой «Фрагмент» как основа ландшафтного картографирования и физикотопографического районирования аридных территорий	130
К сведению авторов	131

CONTENTS

New experimental data obtained on the «Meteor—Priroda» program

Kozlov N. P., Sagdeev R. Z., Sheremefevskij N. N. Complex experiment on the «Meteor» satellite — significant stage in development of the Earth operational research from space.	5
Trifonov Yu. V. «Meteor» satellites intended for the Earth research from space	8
Trifonov Yu. V. Technical equipment of experiment on the Earth remote sensing	21
Selivanov A. S., Juchin Yu. M. Radio-TV complex of «Meteor» satellites for natural resources investigation	28
Selivanov A. S., Tuchin Yu. M., Naraeva M. E., Nosov B. I. Experimental satellite system for the Earth monitoring	35
Avanesov G. A. Experimental telemetrical complex on the base of «Fragment» multispectral scanning system	40
Avanesov G. A., Glazkov V. D., Ziman Ya. L., Ignatenko S. A., Eurmanaliev T. L., Murav'ev V. M., Rozhavskij E. L., Tarnopol'skij V. L., Fux V. I., Shcherbakov V. V. The «Fragment» multispectral scanning system	45
Bogomolov A. F., Popov S. M., Smolyannikov Yu. D., Stepin A. Y. Problems of multispectral data digital transmission and recording and their solving in the «Fragment» experiment	57
Avanesov G. A., Ziman Ya. L., Sychev A. G., Tarnopol'skij V. I. Metrological support of the Earth surface brightness measurements by means of «Fragment» multispectral scanning system	65
Ziman Ya. L., Yurov V. L. Preflight photogrammetric calibration of the «Fragment» multispectral scanning system	78
Selivanov A. S., Gektm Yu. M., Panfilov A. S., Fokin A. B. Survey conditions investigation for ocean surface in the band 0.4—1.1 mkm	82
Efremova O. N., Eravtsova V. I. Danube delta dynamics study using space images	90
Safyanov G. A., Kravtsova V. I. Development of the Rzhskij gulf coastal relief according to space images analysis	97
Yanvareva L. F. Study and mapping of agricultural land use with space images	103
Kotova T. V., Eravtsova V. I., Makarevich A. E. Forest mapping on the base of space images	111
Kravtsova V. I., Nizkaya I. S. Study of antropogenic influence on environment on the base of multispectral scanning survey	117
Lapteva N. I., TaTskaya N. N. Erosion relief study and mapping for the Kalach upland on the base of multispectral scanning images	124
Ivashutina L. I., Nikolaev V. A. «Fragment» space images as a base of landscape mapping and physical-geographical classification of arid territories	130
For the authors' information.	143

УДК 502.3:629.78

**КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ИСЗ «МЕТЕОР» —
ВАЖНЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ ОПЕРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

КОЗЛОВ Н. П., САГДЕЕВ Р. З., ШЕРЕМЕТЬЕВСКИЙ Н. Н.

Развитие технических средств дистанционного зондирования Земли из космоса идет в нашей стране по двум основным взаимодополняющим друг друга направлениям. Первое из них основывается на фотосъемках земной поверхности, доставке на Землю отснятых фотопленок и использовании получаемых материалов для разностороннего тематического картографирования. Основополагающие космические эксперименты по этому направлению были проведены летчиками-космонавтами СССР тов. Добровольским Г. Т., Волковым В. Н., Пацаевым В. И., Лазаревым В. Г., Макаровым О. Г., Климуком П. И., Лебедевым В. В., Севастьяновым В. И., Быковским В. Ф. и Аксеновым В. В. на пилотируемых орбитальных станциях «Салют» и космических кораблях «Союз».

В результате перечисленных экспериментов и проведенных на их базе научных исследований и проектно-конструкторских работ был разработан метод многозонального космического фотографирования; в рамках программы «Интеркосмос» специалистами СССР и ГДР создан реализующий этот метод многозональный космический фотоаппарат МКФ-6, рассчитанный на широкое производственное использование. Доработанный по результатам лётно-конструкторских испытаний, проведенных на космическом корабле «Союз-22», аппарат МКФ-6М в 1977 г. был передан в порядке внедрения в практику заинтересованные организации. С тех пор эти аппараты успешно эксплуатируются на пилотируемой орбитальной станции «Салют-6», а также на самолетах-лабораториях, работающих по программе исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ) на многих полигонах нашей страны и других социалистических стран.

Создание аппарата МКФ-6М и сопутствующего ему оборудования для обработки снимков явилось важным шагом в становлении фотографических аэрокосмических исследований Земли. Сегодня получаемые этими аппаратами снимки земной поверхности эффективно используются многочисленными научными и производственными организациями различных министерств и ведомств для решения многоплановых задач наук о Земле и хозяйственных отраслей.

Второе направление исследований Земли из космоса предусматривает проведение съёмок в самых разных зонах видимой, инфракрасной и СВЧ-областях спектра электромагнитных волн, пропускаемых земной атмосферой, передачу получаемой информации со спутников по радиоканалам на пункты приема, оперативную обработку и доставку ее потребителям с целью наблюдений, исследования и контроля быстропротекающих процессов, проходящих на поверхности земли, морей и океанов.

Анализ отечественного и зарубежного опыта использования получаемой из космоса информации в целях ИПРЗ показывает, что именно опе-

ративно доставляемые данные представляют наибольшую ценность, обеспечивая высокую эффективность решения важнейших народнохозяйственных задач, в частности таких, как контроль за состоянием сельскохозяйственных угодий и ходом работ на них, поиск районов повышенной биопродуктивности моря и многих других. Развитие этого направления требует решения технически более сложных задач, как на борту космического аппарата, так и на Земле в пунктах приема и обработки получаемой информации. Сложность решения задачи особенно возрастает при съемке земной поверхности с высоким пространственным, спектральным и радиодострическим разрешением и передачей на Землю получаемой видеоинформации по цифровой радиолинии. Оперативная обработка и интерпретация получаемой видеоинформации возможны только на основе специализированной вычислительной техники. Включение в цикл получения, передачи и обработки видеоинформации специализированных вычислительных средств, а также разработка для этих средств необходимого математического обеспечения, само по себе является весьма непростой проблемой.

18 июня 1980 г. был запущен ИСЗ «Метеор» второго поколения комплексом экспериментальной аппаратуры, позволившей начать широкий эксперимент, моделирующий штатное оперативное использование космических средств в целях ИПРЗ.

«Метеор» выведен на солнечно-синхронную орбиту (наклонение $\sim 97^\circ$), что обеспечивает возможность съемки любого района Советского Союза в примерно одинаковых условиях освещенности Солнцем. Высокая точность орбитальной ориентации спутника при его высоте ~ 630 км над земной поверхностью позволила проводить съемку с пространственным разрешением в десятках метров.

На спутнике помимо штатного радиотелевизионного комплекса, уже неоднократно используемого в целях ИПРЗ, установлено три новых экспериментальных оптико-электронных прибора, позволяющих проводить съемку земной поверхности в различных зонах видимой и ближней инфракрасной области спектра со средним и высоким пространственными разрешениями.

Получаемая видеоинформация в темпе съемки передается на Землю по специально разработанным высокоинформативным каналам связи, в том числе и цифровым, обеспечивающим сохранение высокой радиометрической точности видеоинформации, получаемой съемочными приборами. В разработке бортовой и наземной аппаратуры, используемой в данном эксперименте, наряду с промышленными организациями участвовали Институт космических исследований (ИКИ) АН СССР и ОКБ Московского энергетического института Минвуза СССР.

Поступающая со спутника видеоинформация обрабатывается в ИКИ АН СССР и Государственном научно-исследовательском центре изучения природных ресурсов Госкомгидромета СССР на специализированных дисплейных вычислительных комплексах. Специалистами ИКИ АН СССР для указанных комплексов разработана проблемно-ориентированная система математического обеспечения. Эта система позволяет решать в интерактивном режиме (диалога специалиста с ЭВМ) широкий круг задач по служебной обработке и коррекции видеоинформации, ее координатной привязке и преобразованию в заданные картографические проекции и масштабы, по получении) различных статистических характеристик и проведению тематически ориентированных яркостных и цветовых преобразований, обеспечивающих получение качественных изображений и их разностороннюю интерпретацию.

Использование экспериментальной видеоинформации, получаемой с ИСЗ «Метеор» в интересах решения различных задач народного хозяйства и наук о Земле, как показали исследования, выполненные в Московском государственном университете и других организациях, подтверждает эф-

фективность проводимого эксперимента и перспективность многих его технических и методических решений.

В то же время в ходе эксперимента выявлено немало еще не до конца решенных научно-технических, методических и организационных задач. Это можно сказать о надежности отдельных бортовых приборов, об аппаратуре высокоскоростной регистрации получаемой видеоинформации, о дисплейной аппаратуре цифровой обработки изображений и об оснащении этой аппаратурой заинтересованных научных и производственных организаций, об обеспеченности обработки космической видеоинформации априорными данными о спектрально-структурных характеристиках исследуемых объектов, о работе службы оперативной обработки и распространения получаемой из космоса информации и, наконец, о подготовленности большинства потребителей к обращению с цифровой видеоинформацией и эффективному ее использованию. Выявления указанных недостатков, их анализ и поиск путей устранения тоже является важной задачей проводимого эксперимента.

«Метеор» продолжает успешно функционировать на орбите. Эксперимент еще не завершен, но уже с уверенностью можно сказать, что он явился важнейшим шагом в становлении в нашей стране оперативных исследований природных ресурсов Земли. «Метеор» с его оснащением безусловно в наибольшей степени отражает современные представления об облике космического аппарата для ИПРЗ оперативного назначения. Получаемая с него информация и разработанное математическое обеспечение ее обработки и интерпретации вполне отвечают современным требованиям самых разных потребителей. Большинство вышеизложенных тезисов убедительно подтверждаются и детализируются в статьях этого целевого номера журнала «Исследование Земли из космоса».

Поступила в редакцию
1.VII.1981

**COMPLEX EXPERIMENT ON THE «METEOR»
SATELLITE—SIGNIFICANT STAGE IN DEVELOPMENT
OF THE EARTH OPERATIONAL RESEARCH FROM SPACE**

KOZLOV N. P., SAGDEEV R. Z., SHEREMETEVSKIY N. N.

Information is given on principal development trends of remote sensing instrumentation in the USSR. Experiment is briefly characterized, carried out on the base of the «Meteor» satellite as well as its role in the Earth operational study from space.

УДК 551.507.362

СПУТНИКИ СЕРИИ «МЕТЕОР», ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

ТРИФОНОВ Ю. В.

Советская экспериментальная программа изучения природных ресурсов Земли из космоса с помощью спутников-автоматов, получившая впоследствии в периодической печати название «Метеор — Природа», началась в 1974 г. запуском экспериментального космического аппарата типа «Метеор», оснащенного многоспектральной телевизионной аппаратурой. Затем до 1979 г. были выведены на орбиты еще три подобных космических аппарата (КА). Два первых КА выводились на орбиты высотой 900 км и наклоном 82°, а пуски последующих КА программы «Метеор — Природа», начиная с 1977 г., осуществлялись на синхронно-солнечную орбиту со средней высотой 650 км и наклоном 98°. Все спутники «Метеор» успешно работали на орбитах, обеспечивая регулярную передачу на Землю многоспектральной телевизионной информации (таблица).

Главными задачами программы «Метеор — Природа» были:

- создание и отработка аппаратуры и методов получения, передачи и обработки многоспектральной телевизионной информации малого и среднего разрешения для изучения природных ресурсов;
- создание и отработка методик дешифрирования и интерпретации многоспектральной телевизионной информации о подстилающей поверхности Земли в интересах отраслей народного хозяйства;
- отработка аппаратуры и методов коррекции траектории КА с целью получения специальных орбит и наведения трасс КА на тестовые полигоны;
- получение опыта экспериментальной эксплуатации КА для ИПРЗ и создание научно-технического задела для развития и усовершенствования природно-ресурсных КА и их аппаратуры.

Стержнем выполнения этой программы стал установленный на всех КА «Метеор» информационный радиотелевизионный комплекс (РТВК), состоящий из двух многоканальных сканирующих устройств малого (МСУ-М) и среднего (МСУ-С) разрешения, устройств запоминания, автоматики, синхронизации и двух передатчиков — дециметрового и метрового диапазонов. Все устройства РТВК дублированы. Характеристики этой аппаратуры и ее описание помещено в [1]. Прием многоспектральной информации в полном объеме производился на основных пунктах приема информации Госкомгидромета в Москве, Новосибирске и Хабаровске, а информация малого разрешения в одном из поддиапазонов принималась также на автономных (упрощенных) пунктах приема, расположенных в разных районах СССР. Информация многоспектральных сканеров РТВК не носила измерительного характера и передавалась по аналоговой радиолинии, поэтому дешифровка и интерпретация информации производились визуальными способами без использования цифровых методов.

Для всех экспериментов с использованием КА программы «Метеор — Природа» характерна комплексность изучения Земли и атмосферы. Так,

совместно с многоспектральными телевизионными приборами на КА испытывались в разных сочетаниях еще семь приборов в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра, а также восемь приборов для исследования корпускулярных излучений; -и других параметров космического пространства. Большинство из них создавалось и испытывалось в космическом полете впервые. В [2] перечислены состав, назначение и краткие характеристики приборов, входивших в информационные комплексы КА программы «Метеор — Природа» в 1974—1979 гг. Итоги

Запуски КА программы «Метеор — Природа»

№ п.п.	Дата запуска	Характеристики орбиты		
		наклонение, град	средняя высота км	период, мин
1	09. VII. 1974 г.	81,2	891	102,6
2	15. V. 1976 г.	81,2	887	102,4
3	29. VI. 1977 г.	97,9	643	97,5
4	25. I. 1979 г.	98,0	643	97,4

работы большинства этих приборов опубликованы в журналах и трудах конференций. Не все приборы оправдали возлагавшиеся на них надежды, результаты некоторых разработок и испытаний были отрицательными, но в целом были заложены основы и получен весьма ценный опыт по созданию перспективных приборов для дистанционного зондирования, частично реализуемый в природно-ресурсных КА второго поколения.

Главным итогом отработки основной информационной системы КА программы «Метеор — Природа» — многоспектрального радиотелевизионного комплекса РТВК — и космического аппарата в целом явился переход от отдельных экспериментов к опытной эксплуатации этой космической системы в составе одного-двух КА и трех наземных пунктов приема и обработки информации.

За время фактической эксплуатации этой системы с июня 1976 г. с помощью многоспектральной аппаратуры малого и среднего разрешения более 400 раз снята территория Советского Союза, т. е. практически общий обзор территории производился в среднем каждые четыре-пять суток. Несмотря на то, что на значительной части снимков подстилающая поверхность была закрыта облачностью, за это время было разослано в сотни научно-исследовательских организаций 20 народнохозяйственных министерств и ведомств более 100 000 дубль-негативов и свыше 70 000 фотографий и ортопланов многоспектральной телевизионной информации. Наиболее эффективно эта информация использовалась в интересах гидрологии, морского флота, геологии и лесного хозяйства. Многочисленные примеры интерпретации полученной информации в интересах этих отраслей приводятся в работах [2—5].

С помощью информации РТВК проводится оценка ледовой обстановки на морях и океанах, в том числе картирование распределения и динамики движения ледовых полей, возраста и сплоченности льда, обнаружение свободных айсбергов и др. На основе этих оценок обеспечивалось проведение ряда важных народнохозяйственных мероприятий, в том числе осуществление сверххранной проводки судов по северному морскому пути в Арктике и обеспечение работы судов сезонных антарктических экспедиций, а также экспериментальных рейсов атомных ледоколов в высокие северные широты. Внедрена в оперативную практику разработанная Арктическим и Антарктическим институтом Госкомгидромета инструкция «Исследование распределения и динамики морских льдов по телевизионным снимкам с ИСЗ „Метеор“». Кроме того, по снимкам РТВК проводились регулярные и оперативные оценки границ и динамики снежного покрова в гор-

ных и полугорных районах, гидрологического режима рек и других водных объектов, особенно в период паводков. Эти работы постоянно проводятся в Байкало-Амурской магистрали.

Министерство геологии СССР является одним из главных потребителей широкозахватной многоспектральной информации от КА программы «Метеор — Природа». Многие организации Мингео под руководством ВНПО «Аэрогеология» разрабатывают основы методики и технологических процессов комплексного использования материалов съемок из космоса при региональных поисковых работах. Уже получены важные практические результаты. Информация РТБК широко используется для выявления и уточнения тектонических структур и линейных разломов. По оценкам геологов, годовой экономический эффект от использования многоспектральной информации только при решении этой задачи составил около 10 млн. руб. По данным снимков РТБК составлены космотектонические карты СССР в масштабах 1:5000000 и 1:2500000, являющиеся основой для прогнозов полезных ископаемых и определения общей стратегии поисковых работ, получены данные для прогноза потенциально нефтегазоносных структур в некоторых районах СССР, установлена в одном из восточных районов приуроченность рудопроявлений золота к узлам пересечения кольцевых структур и линейных разломов. По некоторым оценкам экономия денежных средств при изучении космическими методами геологических структур по территории в 1 млн. км² составляет около 3 млн. руб.

Значительных результатов достигли специалисты лесного хозяйства, применяющие спектрозональную спутниковую информацию для обнаружения очагов лесных пожаров и контроля их распространения. Ими разработаны и внедрены в оперативную практическую деятельность учреждений лесохозяйства специальные методики использования спутниковой информации для этих целей, а также для оперативной оценки погодной обстановки в пожароопасные периоды по охраняемой территории и организации маневрирования авиационными средствами пожаротушения.

Одновременно с получением эксплуатационных результатов, связанных с интерпретацией информации в интересах отраслей народного хозяйства, при разработке и летных испытаниях КА программы «Метеор — Природа», был впервые в отечественной практике решен ряд проблем, важных для развития космической техники: дистанционного зондирования.

Требования к КА для дистанционного зондирования. Для решения комплекса задач исследования Земли из космоса методами дистанционного зондирования помимо наличия на борту спутника специальных информационно-измерительных приборов и радиолиний для передачи информации необходим, чтобы космический аппарат — носитель этих приборов — удовлетворял широкому спектру требований, определяемых его назначением. Использование методов и аппаратуры дистанционного зондирования Земли и атмосферы практически осуществимо и полезно, если в космическом аппарате (КА) и космической системе обеспечивается:

— получение спектрозональной измерительной информации необходимого пространственного и спектрального разрешения с минимальными геометрическими искажениями и географической привязкой изображений к местности с требуемой точностью;

— возможность одновременного (синхронного) получения комплексных измерений и изображений подстилающей поверхности Земли в нескольких различных областях и подобластях спектра электромагнитных волн;

— постоянная или регулируемая периодичность получения информации с одних и тех же районов Земли в одинаковых условиях освещенности для изучения динамики процессов, происходящих в природных образованиях;

— возможность оперативного и точного наведения трасс съемки с КА на определенные районы для частых наблюдений при стихийных бедствиях.

ях или на измерительные наземные полигоны при проведении комплексных подспутниковых экспериментов;

— оптимальное сочетание достаточно оперативного глобального обзора земной поверхности с возможностями получения локальной информации детального осмотра.

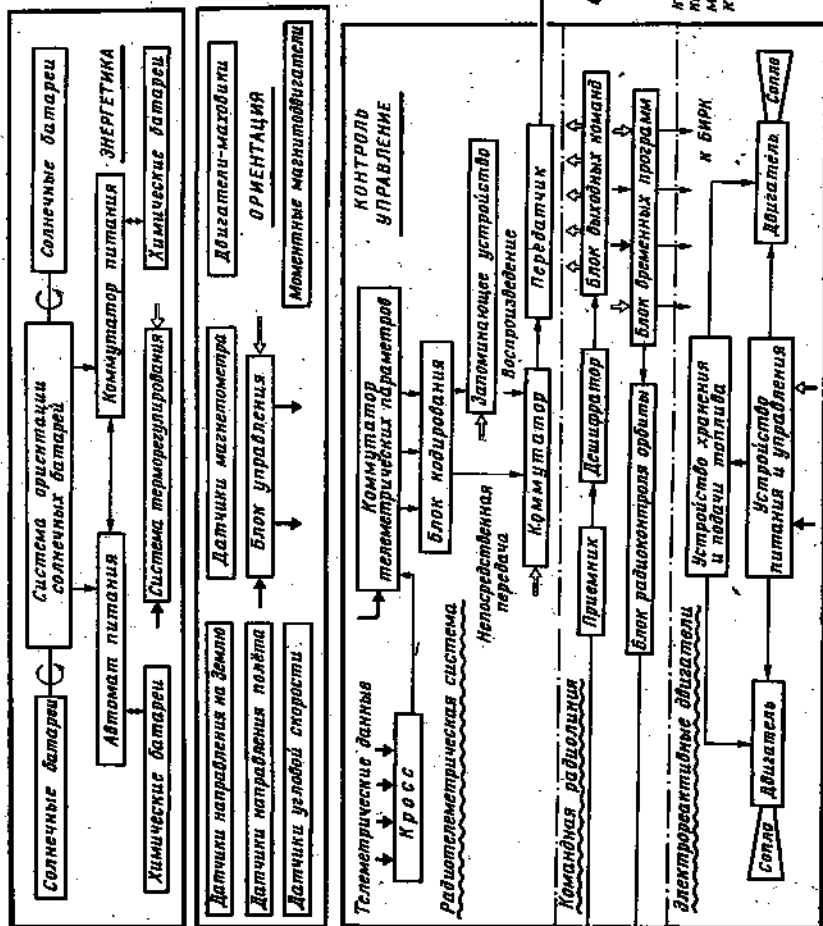
Анализ системных требований и принципов построения информационной аппаратуры дистанционного зондирования (ДЗ) для космических аппаратов показывает, что и сами КА должны обладать рядом особенностей структуры и конструкции.

Чтобы обеспечить постоянное наблюдение за Землей с необходимой географической привязкой данных измерений и минимальными геометрическими искажениями получаемых изображений КА для дистанционного зондирования должны прежде всего иметь высокую точность ориентации в орбитальной системе координат (на Землю и по вектору скорости спутника) и стабилизации собственных угловых скоростей движения аппарата вокруг центра масс. Точность ориентации и стабилизации должна быть тем выше, чем выше пространственная разрешающая способность аппаратуры дистанционного зондирования и чем точнее требования географической привязки. Особое внимание должно быть уделено динамическим характеристикам КА с тем, чтобы не допустить нескомпенсированных возмущающих моментов в аппаратуре спутника, например, при поворотах солнечных батареи в процессе их ориентации на Солнце, при качаний сканеров и других движущихся масс.

Поскольку программа исследования природных ресурсов методами дистанционного зондирования является в значительной мере экспериментальной, предусматривающей возможность установки на КА комплекса информационных приборов, нескольких радиоприемников и обеспечения одновременного включения этих приборов в различных режимах, для такого КА требуется достаточно мощная система энергоснабжения с большим динамическим диапазоном нагрузок и сложной логикой управления. Многорежимность съема информации ДЗ в совокупности с выбором определенных сочетаний районов получения и сброса данных вызывает потребность: в специальном программно-временном устройстве с долговременной памятью или использовании управляющей ЭВМ на борту КА. Большие массивы накапливаемой и передаваемой информации в сочетании со стремлением экономить бортовые энергоресурсы и ограниченностью зон радиовидимости наземных пунктов приема требуют применения узконаправленных ориентированных бортовых антенн, иногда со специальными электроприводами наведения. Поскольку аппаратура ДЗ является измерительной, требуется обеспечить постоянство температурного режима, а иногда и «глубокое» охлаждение ее датчиков. Кроме того, необходимо защитить чувствительную аппаратуру от помех и взаимовлияний сравнительно мощных электротехнических и радиотехнических систем в широком диапазоне спектра электромагнитных волн.

Естественно, что космический аппарат и его системы должны обладать сроком службы несколько лет. К этому надо добавить, что к космическим аппаратам ДЗ можно в высокой степени предъявлять требования автономности, т. е. способности достаточно длительное время, особенно в эксплуатационном режиме, работать, не требуя информационных связей с наземными комплексами управления, входящими в единый для советских КА командно-измерительный комплекс с целью уменьшения его загрузки. Это требование связано как с обеспечением высокой надежности бортовой аппаратуры, так и использованием эффективных и автоматических бортовых систем контроля и управления спутником.

Конструкция космического аппарата должна обеспечивать высокую динамическую точность и температурную стабильность установки измерительных приборов относительно оптических осей, быть достаточно универсальной и позволять сравнительно легко устанавливать различные на-



боры экспериментальной информационной аппаратуры. Кроме всего прочего конструкция должна быть рассчитана на установку корректирующих двигателей для начальной установки необходимой орбиты и последующего управления ею.

Всеми этими многообразными качествами в значительной степени обладают космические аппараты серии «Метеор» как в первом, так и особенно во втором поколении. Созданные первоначально для метеорологических целей, они удовлетворяют большинству требований дистанционного зондирования Земли.

Структура КА программы «Метеор — Природа». Программа «Метеор — Природа» с начала ее осуществления (1974 г.) развивалась как комплексная программа, предусматривавшая проведение экспериментальных работ по получению, передаче и обработке информации по исследованиям Земли, атмосферы, околоземного космического пространства, а также конструкторских экспериментов, направленных на дальнейшее усовершенствование КА для дистанционного зондирования. В основу программы было, как уже указывалось, положено использование конструкции и электротехнического комплекса космического метеорологического аппарата первого поколения «Метеор».

Кратко остановимся на некоторых особенностях приборных комплексов КА программы «Метеор — Природа», обобщенная структурная схема одного из которых дана на рис. 1. Для них характерна разнородность одновременно работающих приборов по нескольким специфическим признакам:

- по используемым для получения информации диапазонам спектра электромагнитных излучений — в видимом, ИК (от 1 до 25 мкм), СВЧ (0,8—8,5 см), рентгеновском диапазонах;

- по принципам наблюдения — электромеханическое и электронное сканирование по местности и спектру, трассирование, непосредственное измерение корпускулярных потоков, оптическое наблюдение звезд и т. д.;

- по ориентации и геометрическим формам полей обзора приборов, направленных на Землю при вертикальном, наклонном и круговом зондировании, в космос и на Солнце для калибровок, а также расположенных в разных направлениях для корпускулярных и геофизических измерений;

- по способам передачи информации — цифровым и аналоговым с помощью телеметрических и специальных информационных радиолиний в метровом и дециметровом диапазонах.

Стремление к реализации таких разнородных экспериментов на одном космическом аппарате вызывало необходимость решения как электротехнических, так и конструктивных проблем. Среди электротехнических, помимо уже упоминавшихся вопросов обеспечения энергопитания и программно-временного управления процессами сбора и передачи информации приборных комплексов, важное место в ходе создания и отработки КА занимало обеспечение электромагнитной совместимости столь разнообразных приборов, т. е. устранение их взаимовлияний друг на друга как в части минимизации низкочастотных помех по цепям питания, так и относительно радиотехнических (высокочастотных) помех по эфиру. Эта проблема была наиболее острой, поскольку использование высокочувствительных приборов, измерявших в достаточно широких спектрах частот сигналы, оцениваемые микровольтами и микроамперами, было по существу на грани тонких физических экспериментов. Были найдены технические решения, позволившие настолько минимизировать помехи, что серьезного влияния на конечный исход экспериментов они не оказали, кроме того, был получен опыт для решения в дальнейшем задач большей сложности.

Важное место при разработке приборных комплексов для КА программы «Метеор — Природа» было отведено проблемам надежности. Известно, что КА серии «Метеор» обладают в части бортовых электро- и радиотехнических систем — энергопитания, ориентации, обеспечения теплового

режима, контроля и командно-программного управления — и конструкции высокой надежностью. При создании информационных приборов были в основном реализованы принципы надежности, использованные в программе «Метеор»: единая программа обеспечения надежности на всех этапах разработки, изготовления, наземных и летных испытаний, специальные облегченные режимы работы электрорадиоэлементов, обеспечение резервирования и функциональной избыточности, применение термостабилизационных испытаний и другие способы. В большинстве случаев это дало хороший эффект или заложило основу для создания высоконадежных информационных приборов второго поколения.

Конструкция. Значительные сложности при создании КА программы «Метеор — Природа» вызвали вопросы размещения и обеспечения нормальной работоспособности приборных комплексов в рамках имевшихся конструктивных основ. Представление о принципах компоновки приборов этих КА дает рис. 2, на котором изображена конструктивная схема расположения приборов, а также фотография (рис. 3) макета одного из КА. При решении конструктивно-компоновочных задач были реализованы следующие ПРИНЦИПЫ!

- с целью обеспечения максимального совпадения оптических осей КА в целом, определяемых датчиками его ориентации (построитель местной вертикали), и оптических осей: приборов, требующих точного наведения на Землю, они расположены на единой приборной платформе, при этом точность и динамическая жесткость платформы обеспечиваются конструктивными и технологическими решениями; платформа в значительной степени унифицирована и позволяет размещать различные приборы;

- большинство чувствительных элементов приборов расположено вне герметичного контейнера КА, что позволяет избавиться от иллюминаторов, снижающих общий уровень полезного сигнала и искажающих его спектральный состав; приборы имеют собственную микроатмосферу (микроклимат); электронные и электротехнические блоки и узлы, не рассчитанные на открытое исполнение, komponуются в виде герметичных моноблоков;

- приборы, особо чувствительные к вибрационным и линейным перетрускам на активном участке выведения или структурным шумам (виброускорениям), возникающим при вращении внутри КА недостаточно уравновешенных динамических масс, крепятся на специальных амортизаторах; в случае необходимости сохранения высокой геометрической точности на амортизаторы устанавливается целиком приборная платформа с датчиками.

Особые трудности возникали при стремлении совместить жесткие габаритные ограничения при размещении многоприборного комплекса с необходимостью обеспечить непересекающиеся в трехмерном пространстве разнообразные поля обзора информационной аппаратуры и достаточно широкие диаграммы направленности нескольких антенн радиотехнических передающих систем. Одновременно с целью повышения надежности решалась задача отказа от каких-либо раскрывающихся механизмов и использования стационарных антенн.

Работоспособность информационных приборов, качественные и количественные характеристики информации дистанционного зондирования, получаемой от КА, во многом определялись соблюдением заданной стабильности теплового режима каждого прибора в отдельности. На основе постоянства ориентации объекта по отношению к Земле и стабильной цикличности ориентации по отношению к Солнцу, определяемых синхронно-солнечной орбитой, для решения задач теплообмена геометрически сложных систем приборов, расположенных вне герметичного отсека, с учетом их взаимных переменных затенений были разработаны типовые методики расчетов, в которых учитывались также реально планируемые программы включений той или иной аппаратуры в течение витка и ее внутреннее тепловыделение. Расчеты, проводившиеся по усредненным значениям теп-

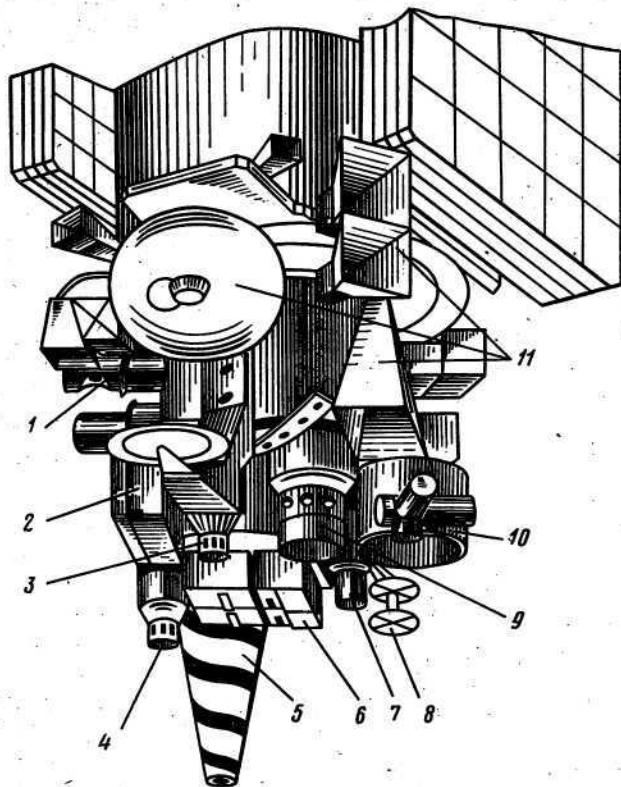


Рис. 2. Конструктивная схема размещения приборов: 1-ИК-аппаратура, 2—аппаратура А-019, 3—построитель местной вертикали, 4—экспериментальный образец построителя местной вертикали, 5—совмещенная коническая антенна, 6-комплекс РТВК, 7 - радиационнометрический комплекс, 8-г антенна ДЦВ, 9—блок радиационнометрического комплекса, 10—СИ-аппаратура, 11—СВЧ-аппаратура

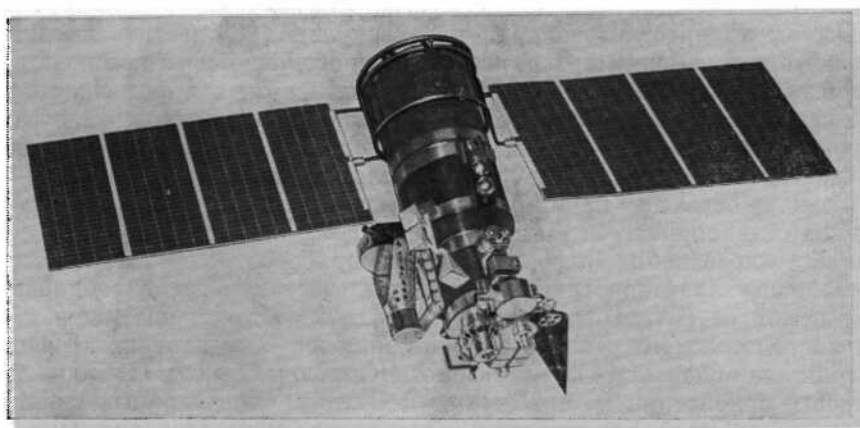


Рис. 3. Общий вид одного из КА программы «Метеор - Природа»

лопотоков, позволили оценить среднemasсовую квазистационарную температуру, по которой затем проводился выбор средств термостабилизации. Кроме того, разработчикам приборов давались конструкторские рекомендации, имевшие целью обеспечить с точностью до нескольких градусов стабильность температуры чувствительных элементов прибора (фотоприемника, болометра и т. д.). Для учета деградаций оптических свойств терморегулирующих покрытий (ТРП), являющихся важным элементом обеспечения теплового режима, на нескольких КА «Метеор» впервые в СССР была проведена специальная научно-исследовательская работа по изучению влияния факторов космического пространства на свойства ТРП [6]. Были изучены количественные и качественные характеристики практически всех применяемых покрытий в длительном космическом полете (до 3—4 лет). Результаты исследований учитывались при расчетах систем терморегулирования КА программы «Метеор — Природа» и явились основой для создания более радиационноустойчивых покрытий.

В результате проведенных работ удалось создать системы обеспечения теплового режима приборных комплексов КА, отличающиеся конструктивной простотой и надежностью при длительных сроках эксплуатации. В их состав входят: радиаторы с ТРП типа солнечных отражателей; электронагреватели с автоматически или по командам регулируемой мощностью для выравнивания температурных полей по конструкции; экранно-вакуумная теплоизоляция, снижающая неравномерность воздействия теплообмена с внешней средой.

Эти системы, проверенные во многих летних экспериментах, обеспечили необходимые температурные режимы приборов.

Баллистическое построение космической системы «Метеор — Природа». Одна из существенных проблем — практическое обеспечение оптимального баллистического построения космической системы для ИПРЗ и поддержание стабильности выбранных и осуществленных для КА дистанционного зондирования орбит. Как известно, наиболее подходящей для таких КА является синхронно-солнечная или гелиосинхронная орбита, при которой КА проходит над одними и теми же широтами в одно и то же местное солнечное время при почти постоянной освещенности, что позволяет сравнивать изменения в отражательных характеристиках природных образований.

Для КА ИПРЗ выгодно выбирать местное время наблюдения в 9—11 час. утра, так как при этом, во-первых, изображения хорошо освещены и достаточно контрастны за счет теней, а, во-вторых, облачность над наблюдаемыми районами в это время, как правило, минимальна и эффективность наблюдений повышается. На таких орбитах нет потерь телевизионной информации, связанных с низкими углами высоты Солнца над горизонтом, периодически возникающих при орбитах других типов.

Реализация синхронно-солнечной орбиты для советских космических аппаратов была впервые достигнута при запуске КА программы «Метеор — Природа» в июле 1977 г.

Отдавая дань уважения специалистам по ракетной технике, успешно решившим эту новую для СССР задачу, необходимо отметить, что универсальные принципы конструкции и структуры КА «Метеор» позволили вывести его на эту орбиту и обеспечить нормальную длительную работоспособность на ней практически без конструктивных изменений. Доработке подверглись лишь элементы системы ориентации и программно-управляющие устройства КА в связи с изменением высоты полета.

Для КА дистанционного зондирования — помимо синхронно-солнечности орбиты необходимо, чтобы ее параметры соответствовали и, некоторым другим требованиям. Желательно, чтобы орбита была близка к круговой, тогда полученные изображения будут иметь одинаковые масштабы с минимальными геометрическими искажениями, что облегчает дешифровку и сопоставление результатов измерений. Поскольку КА ДЗ, особенно ИСЗ

оперативного наблюдения, предназначены в том числе и для прослеживания динамики природных образований, - необходимо, чтобы орбиты КА были кратными, т. е. трассы спутника на Земле должны повторяться через целое число суток; Если в космической системе не один, а несколько спутников, то для обеспечения эффективного обзора Земли и оперативной связи КА с наземными пунктами приема информации параметры орбит космических аппаратов должны определенным образом соотноситься друг с другом. Чтобы удовлетворить всему комплексу этих требований, нужно соблюдать с достаточно высокой точностью расчетные значения наклонений, эксцентриситетов и периодов орбит, причем не только после вывода КА на орбиту, но и в течение всего периода активного существования.

Практически все современные ракеты-носители, выводящие КА на орбиты, обладают ограниченными точностями, т. е. параметры начальных орбит имеют значительные пределы возможных отклонений от расчетных значений. Например, американская ракета-носитель «Atlas-E» выводит КА «Tiros-N» на орбиту со средним разбросом высот в 37 км (при номинальной высоте 830 км), разницей между высотой перигея и апогея 56 км и отклонениями в периоде до 1 мин. После вывода КА на орбиту ее параметры благодаря действию различных факторов подвергаются значительным периодическим и постоянным изменениям, вследствие чего достаточно быстро нарушаются необходимые/соотношения орбитальных параметров КА.

Для поддержания стабильности космических систем дистанционного зондирования используются корректирующие двигательные установки (КДУ), которые осуществляют начальную коррекцию орбит, т. е. исправление ошибок выведения КА на начальную орбиту* ракетой-носителем, и периодические коррекции для компенсации возмущений, накапливающихся в процессе полета КА.

В настоящее время все большее распространение получают так называемые электрореактивные двигатели (ЭРД). В ЭРД различных типов используется принцип ускорения и выброса ионизированного и нагретого до высокой температуры газа (в состоянии плазмы) с помощью электромагнитного или электростатического поля. В электрореактивных двигателях ионы газа, пройдя ускорители, приобретают скорости в десятки километров в секунду, тогда как в наиболее совершенных кислородно-водородных ракетных двигателях максимальная скорость истечения составляет 4—5 км/с. За счет большой скорости истечения ЭРД расходуют в 5—10 раз меньше топлива при одной и той же тяге, благодаря чему резко сокращается необходимый запас топлива на борту КА, а следовательно, и общий вес установки. Таким образом, при длительных сроках службы КА применение ЭРД оказывается более выгодным* чем микро-ЖРД.

Одним из важных результатов /программы «Метеор — Природа» были успешные эксперименты по летным испытаниям электрореактивных двигателей и отработка методик коррекции орбит [7, 8]. Эксперименты вначале проводились с несколькими типами электрореактивных двигателей (ЭРД), созданных в СССР под научным руководством академика Л.А. Арцимовича, затем по ряду показателей для дальнейших работ был выбран стационарный плазменный двигатель (СПД). Двигатели имели среднюю тягу 2—2,5 г. На этапе летных испытаний в 1973—1975 гг. были отработаны принципиальные вопросы работоспособности таких двигателей в космосе, надежности, стабильности тяги, исследована электромагнитная совместимость СПД с электрорадиотехническими системами спутника, а также проведены пробные коррекции орбит КА, в ходе которых была подтверждена возможность значительного уменьшения эксцентриситета и поддержания стабильности орбиты. На следующем этапе была создана и отработана методика проведения оптимальных по времени и расходу электроэнергии коррекций, имевших целью установление кратных орбит (в од-

ном из экспериментов была установлена кратная синхронно-солнечная орбитам пяти (Суточным периодом повторения), при этом была определена оптимальная стратегия чередования активных участков включения КДУ и пассивных, на которых производились орбитальные измерения.

Большой интерес для решения задач дистанционного зондирования представляет установка не просто кратной а такой орбиты, при которой трасса КА с заданной периодичностью проходит через определенный район, например через тестовый (измерительный) полигон, где одновременно проводятся подспутниковые (самолетные и наземные) наблюдения с целью разработки единых методик интерпретации космической информации. Методика решения такой задачи была отработана в процессе эксперимента с одним из КА программы «Метеор — Природа», причем точность наведения трассы на нужный район составила 5—10 км при суточном периоде повторения.

Основные итоги выполнения программы «Метеор — Природа». В ходе выполнения программы впервые в отечественной практике успешно решены следующие научно-технические проблемы.

1. Создана экспериментально-эксплуатационная космическая система первого поколения для изучения природных ресурсов Земли, основанная на получении, обработке и использовании в интересах геологии, гидрологии, морского флота, лесного хозяйства, гидрометеорологии и других отраслей народного хозяйства многоспектральной телевизионной информации среднего и малого разрешения. Система дает значительный ежегодный экономический эффект.

2. Освоена синхронно-солнечная орбита для космических аппаратов дистанционного зондирования.

3. На основе использования конструкций и бортового комплекса управления КА серии «Метеор» создан специализированный космический аппарат для изучения природных ресурсов Земли первого поколения «Метеор-Природа», разработаны и реализованы конструктивно-компоновочные принципы приборных платформ для комплекса приборов дистанционного зондирования в моноблочном и негерметичном исполнениях; решены проблемы электромагнитной совместимости и обеспечения тепловых режимов многоприборных комплексов; получен опыт для дальнейшего усовершенствования КА для ИПРЗ.

4. Отработаны и внедрены в оперативную практику методы визуальной интерпретации телевизионных многоспектральных широкозахватных изображений среднего и малого разрешения в интересах упомянутых отраслей народного хозяйства, ведутся методические работы по расширению сфер применения поступающей информации.

5. Проведены комплексные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию и отработке в условиях космического полета различных экспериментальных приборов дистанционного зондирования Земли и атмосферы в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах и экспериментальной интерпретации их информации; получен научно-технический и конструкторский опыт для создания усовершенствованных приборов дистанционного зондирования эксплуатационного назначения.

6. Создана и отработана оптимальная методика коррекции траектории космического аппарата с помощью электрореактивных двигателей малой тяги с целью получения кратных орбит и наведения трасс КА на измерительные полигоны ИПРЗ при подспутниковых экспериментах.

ЛИТЕРАТУРА

- Л. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. и др. Радиотелевизионный комплекс экспериментальных спутников для наблюдений облачного покрова и поверхности Земли. — В кн.: Космическая геофизика. Л.: Гидрометеиздат, 1978, с. 3—10.
2. Ветлов И. П. Космическая система «Метеор» на службе гидрометеорологии. — Исслед. Земли из космоса, 1980, № 2, с. 11—28.

3. Гурвич А. С., Егоров С. Т., Кутуза В. Г. Радиофизические методы зондирования атмосферы и поверхности океана из космоса.— Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 63-69.
4. Власов А. А., Егоров С. Т., Плющев В. А. Сравнительный анализ радиотепловых и инфракрасных изображений, полученных с ИСЗ.—Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 43-47.
5. Кириллов А. Б., Борисов О. М. Опыт составления космогеологической карты на основе дешифрирования телевизионных снимков с ИСЗ «Метеор».— Исслед. Земли из космоса, 1980, № 4, с. 25-30.
6. Дистанционное зондирование атмосферы со спутника «Метеор». Сб. статей. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
7. Арцимович Л. А., Андронов И. М., Трифонов Ю. В. и др. Разработка стационарного плазменного двигателя (СПД) и его испытания на ИСЗ «Метеор».—Космические исследования, 1974, т. XII, вып. 3, с. 451-468.
8. Андронов И. М., Трифонов Ю. В., Тайное Ю. Ф. и др. Электрореактивные двигательные установки в космосе.— Космические исследования, 1974, т. XII, вып. 3, с. 447-450.

Поступила в редакцию
29.V.1981

«METEOR» SATELLITES INTENDED FOR THE EARTH RESEARCH FROM SPACE

TRIPONOV Yu.V.

Objectives, content and primary results of the Soviet experimental program are considered on the Earth operational study from space by means of «Meteor» type satellites. Examples are listed on application of multispectral wide-angle TV data of low and mean resolution in different fields of national economy.

УДК 502.3:629.78

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ДИСТАНЦИОННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

ТРИФОНОВ Ю. В.

В Советском Союзе проводятся интенсивные работы по развитию и усовершенствованию космических средств получения оперативной информации для исследования природных ресурсов Земли. В [1] кратко охарактеризовано содержание и основные результаты работ по созданию экспериментально-эксплуатационной космической системы для ИПРЗ, получившей наименование «Метеор — Природа». Эта система как по информационным приборам, так и по использованному для их размещения базовому космическому аппарату «Метеор» относится к космическим средствам первого поколения. Информационные средства, используемые в системе для получения многоспектральной телевизионной информации, не имеют измерительных свойств, дешифровка информации производится визуальными методами, кроме того, разрешающая способность аппаратуры, обеспечивая решение ряда важных народнохозяйственных задач, недостаточна для широкого использования в сельском хозяйстве, в рыболовстве и некоторых других отраслях.

Как известно, в СССР планируется создание постоянно действующей космической системы для исследования природных ресурсов, в состав которой для получения характеристик быстроменяющихся компонентов природной среды будет входить оперативная подсистема изучения Земли. В качестве основных приборов для изучения поверхности Земли, информация от которых будет передаваться на Землю по радиоканалам, предполагается использовать многозональные оптико-доеханические сканирующие устройства высокого разрешения с размером элемента разложения на местности 50 м в видимом диапазоне и 200 м в инфракрасном диапазоне при полосе обзора 180—200 км для восьми спектральных зон в спектральном интервале 0,4—12,5 мкм и среднего разрешения с размером элемента разложения на местности 150—250 м в видимом и 500—600 м в инфракрасном диапазоне при полосе обзора 500—700 км для четырех спектральных зон интервала 0,4—12,5 мкм. Периодичность обзора по экватору для одного космического аппарата этой оперативной подсистемы составит 14—17 сут при использовании многозональных сканирующих устройств высокого разрешения и 4—5 сут при использовании многозональных сканирующих устройств среднего разрешения.

С целью поэтапной проверки и отработки в реальных условиях новых информационно-измерительных средств получения многозональной космической информации высокого и среднего разрешения, а также для отработки методических вопросов дешифрирования и интерпретации измерительной космической информации для изучения Земли в течение 1980—1981 гг. проводится комплексный эксперимент. В этом эксперименте имеется возможность осуществлять одновременную съемку земной поверхности с помощью сканирующих устройств различного типа в 10 поддиапазонах спектра от 0,4 до 2,4 мкм с разрешением от 30 до 800 м в полосах обзора

от 30 до 2000 км. Детальные характеристики информационной аппаратуры и задачи эксперимента опубликованы в [2].

Важнейшей задачей эксперимента является также дальнейшая обработка структурного построения, конструкции и надежности усовершенствованного космического аппарата — носителя уникального комплекса приборов дистанционного зондирования.

Состав информационной аппаратуры комплексного эксперимента. Эксперимент проводится с использованием трех комплексов бортовой и наземной информационной* аппаратуры, предназначенной для наблюдения земной поверхности в интересах исследования природных ресурсов Земли. На космическом аппарате, который 18.VI.1980 г. выведен на синхронно-солнечную орбиту со средней высотой 634 дсм, установлены:

1. Экспериментальный бортовой информационный комплекс ВИК-Э, в составе которого:

- многозональное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СК с конической оптико-механической разверткой;

- многозональное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-Э с электронной разверткой, выполненное с использованием ПЗС-приемников;

- устройству преобразования и уплотнения информации;

- цифровое радиопередающее устройство в диапазоне 460—470 МГц.

2. Экспериментальная многозональная система «Фрагмент», в составе которой:

- оптико-механическое сканирующее устройство с устройствами калибровки;

- система фотоприемников с волоконно-оптическим коллектором;

- устройство аналого-цифрового преобразования;

- устройства синхронизации, коммутации и уплотнения;

- цифровое радиопередающее устройство в диапазоне 1000 МГц.

Система «Фрагмент» обеспечивает измерение спектральных энергетических яркостей природных образований в восьми спектральных интервалах с различной точностью, при измерениях используются бортовые калибровочные и эталонные источники света.

3. Эксплуатационный радиотелевизионный комплекс РТВК с характеристиками, указанными в [3].

Структурная схема бортовых и наземных информационных комплексов эксперимента приведена на рис. 1.

Следует отметить, что на одностороннюю передачу информации с комплексов РТВК и БИК-Э имеются некоторые ограничения, связанные с использованием единого радиодиапазона 460—470 МГц и единой наземной антенны «Фобос», а также с информативностью отдельных сканирующих устройств. Поскольку максимальная информативность радиосвязи в указанном диапазоне составляет 8 Мбит/с, то в каждый момент времени возможна передача информации только с одного из четырех (МСУ-М, МСУ-С, МСУ-СК; МСУ-Э) сканирующих устройств, что отражено на схеме рис. 1 логическими элементами ИЛИ. Передача информации от системы «Фрагмент» осуществляется независимо от систем БИК-Э и РТВК одновременно по четырем — шести каналам из имеющихся восьми. Выбор одновременно работающих сканеров и сравнительная оценка получающихся изображений и измерений одного и того же района Земли составляют одну из важных задач эксперимента.

Сброс информации от комплекса БИК-Э производится по цифровой радиосвязи на приемный пункт Госкргидромета в г. Обнинске, где также принимается и информация РТВК. Затем информация для первичной обработки наводится в ГосНИЦИПР. Информация системы «Фрагмент» передается по цифровой радиосвязи на приемный пункт ОКБ МЭИ, обработка ее производится в ИКИ АН СССР и ГосНИЦИПР,

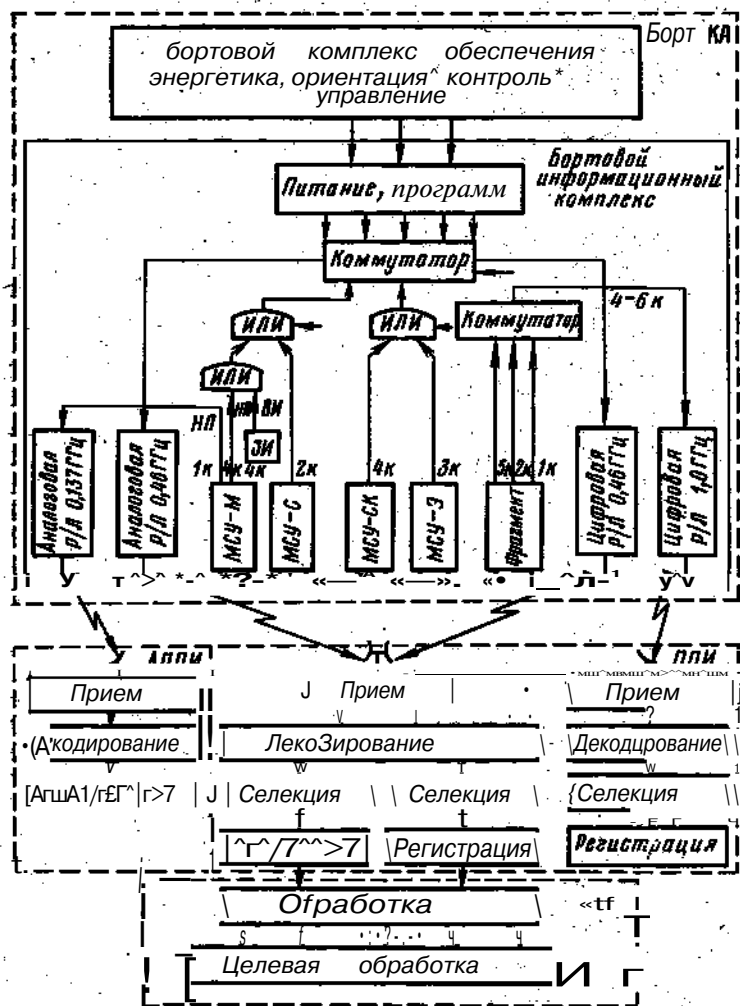


Рис. 1. Структурная схема эксперимента

На рис. 2 дана схема расположения полей обзора на Земле для всех приборов бортового информационного комплекса в эксперименте в совокупности с зоной радиовидимости пунктов приема информации с БИК-Э, «Фрагмент» и РТВК.

Особенности конструкции и структурного построения космического аппарата. В качестве базового космического аппарата в эксперименте используется КА второго поколения «Метеор-2», который отличается от КА «Метеор» следующими основными качествами:

- повышенной точностью трехосной ориентации и стабилизации угловых скоростей, позволяющей использовать информационные приборы с оптико-механическими сканированием и разрешением на местности до 80 м, а также увеличенной мощностью системы энергоснабжения;
- расширенными возможностями автоматического программно-временного управления процессами получения и передачи информации, включая управление световыми режимами и уровнями чувствительности измерительной аппаратуры;
- дополнительными конструктивно-компоновочными и весо-габаритными возможностями, позволившими разместить многодиапазонный приборный комплекс и несколько информационных радиолоний;

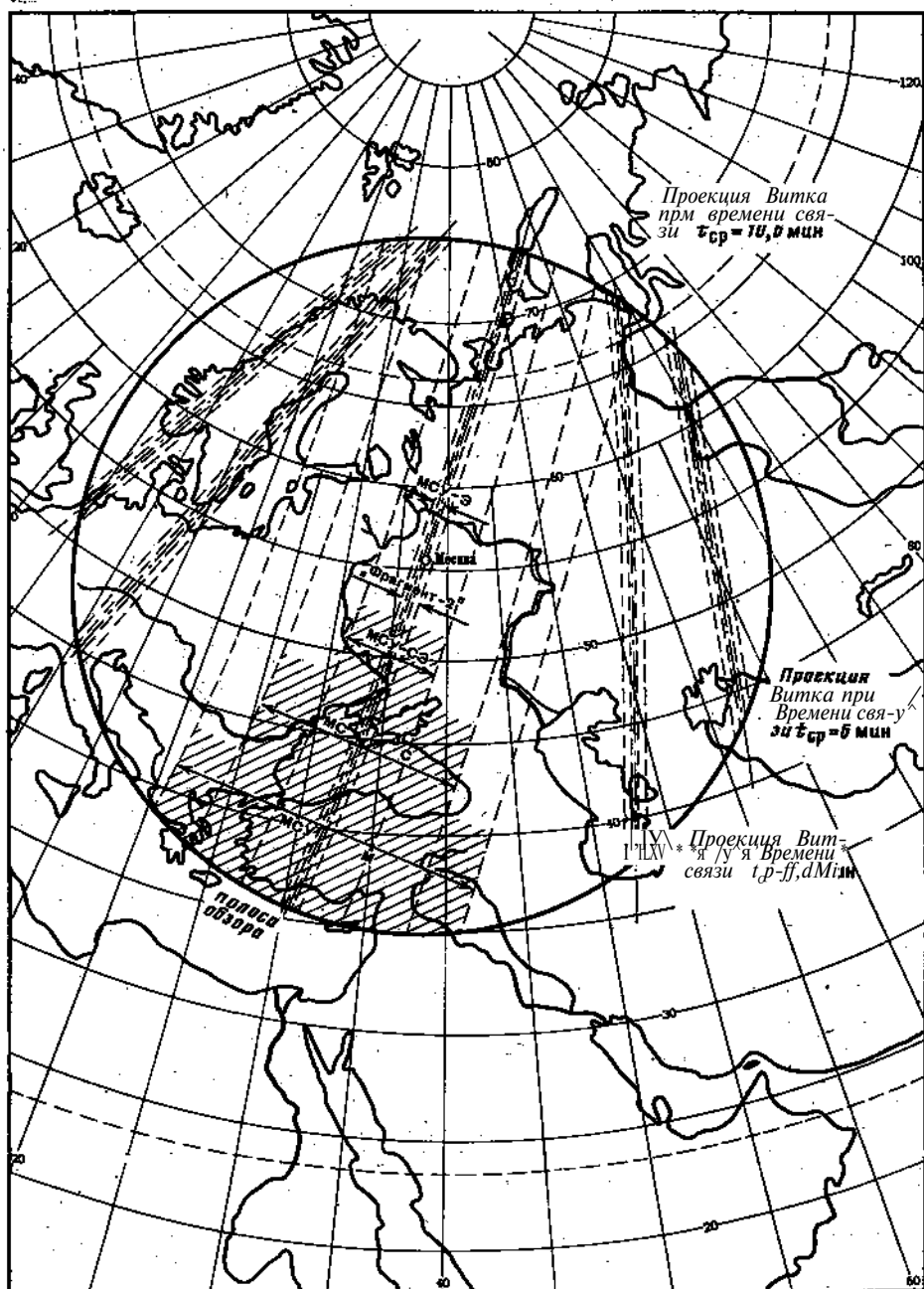
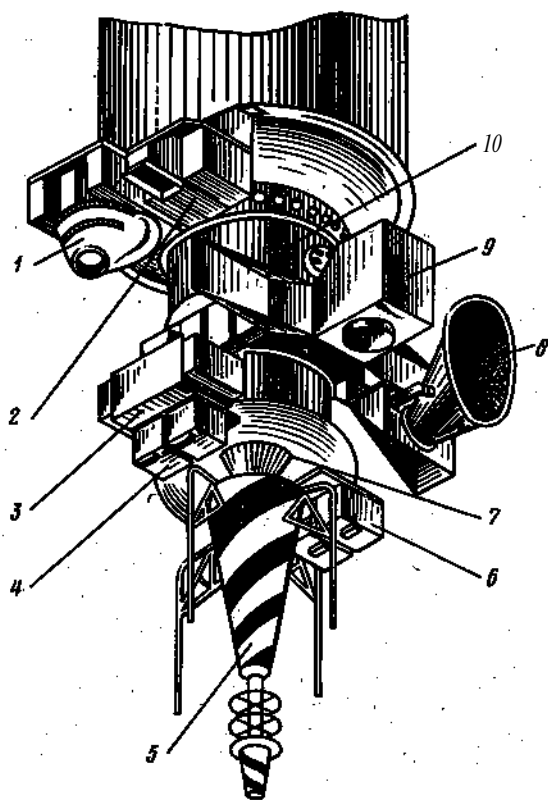


Рис. 2. Поля обзора информационной аппаратуры в эксперименте

— универсальной системой и методикой автоматизированных испытаний, использующей аппаратные и программные средства управляющей вычислительной машины, позволившими с высокой достоверностью осуществить наземные проверки добавочных приборно-информационных комплексов КА и обеспечить наряду с другими методами надежную работу их на орбите.

Использование более совершенного космического аппарата позволило одновременно с решением значительного количества экспериментальных задач продолжить эксплуатацию радиотелевизионного комплекса РТВК —

Рис. 3. Конструктивная схема приборного комплекса космического аппарата: 1 — экспериментальное сканирующее устройство среднего разрешения; 2 — экспериментальный сканер на ПЗС-структурах; 3 — моноблок автоматики информационного комплекса; 4 — сканер малого разрешения РТВК; 5 — комплекс АФУ; 6 — сканер среднего разрешения РТВК; 7 — построитель местной вертикали; 8 — радиационный холодильник; 9 — телевизионный комплекс «Фрагмент»; 10 — отсек газореактивной системы успокоения



основного источника многозональной информации малого и среднего разрешения в программе «Метеор — Природа» [1].

Конструктивная схема размещения информационных комплексов на космическом аппарате дана на рис. 3, общий вид КА — на рис. 4. Компонировка комплекса приборов дистанционного зондирования проведена с соблюдением основных принципов, сформулированных в [1], однако имеется ряд интересных особенностей.

В качестве конструктивной основы для размещения информационно-измерительных приборов и датчиков системы ориентации, а также антенного комплекса использован специально разработанный несущий корпус аппаратуры «Фрагмент», что дало возможность, с одной стороны, получить необходимую геометрическую точность совпадения оптических осей приборов, а с другой — обойтись без специальной приборной платформы, что в свою очередь улучшило весо-габаритные характеристики КА. Отношение массы информационных приборов к массе всего спутника составляет более 0,30, что является очень хорошим показателем для подобных КА. Необходимо отметить, что все приборы информационного комплекса являются негерметичными.

В число нетривиальных конструкторских решений, найденных при создании этого спутника, входит объединение в один конструктивный модуль большого числа (до шести) антенных систем, работающих в различных диапазонах. Этот модуль (см. рис. 3) установлен вдоль продольной оси космического аппарата под инфракрасным построителем местной вертикали ХПМВ). Так как рабочей зоной обзора ПМВ является широкоугольный конус с узким полем зрения, опирающийся на края видимого диска Земли (ИК-горизонт), внутреннее пространство этого конуса, его «мертвая» зона с осью, идущей к центру Земли, была использована для размещения единого антенного модуля его диаграмм направленности. Ребра жесткости, охватывающие защитный германиевый обтекатель ПМВ,

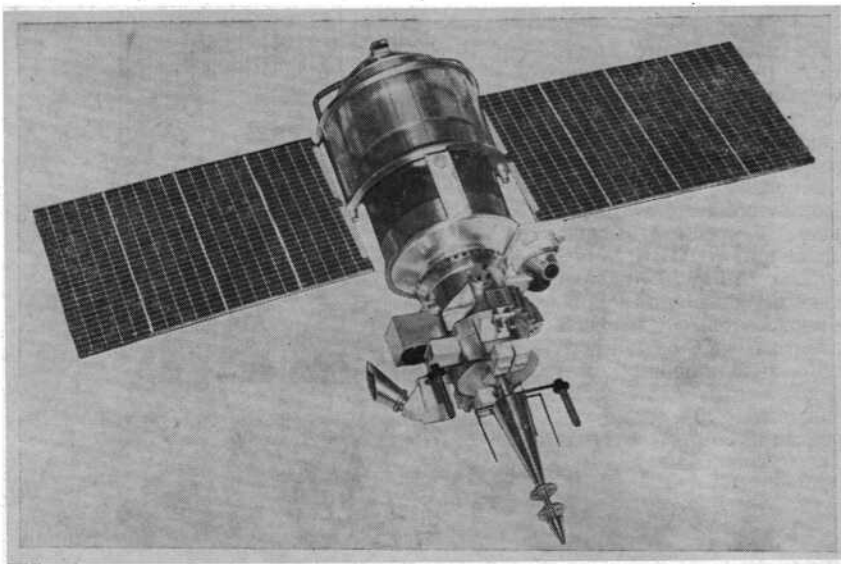


Рис. 4 Общий вид космического аппарата

были использованы для крепления антенного модуля к приборному отсеку спутника и для прохода фидерных устройств. Были приняты специальные меры по терморегулированию крепящей антенный модуль конструкции для предотвращения ее неравномерного нагрева и внесения помех во входные сигналы ПМВ, а также меры по защите ПМВ от радиоизлучений антенного модуля. Успешная работа на орбите КА с антенным модулем показала жизнеспособность конструкции и возможность ее дальнейшего применения.

Дальнейшее развитие получили работы по терморегулированию информационных приборов. Как известно, при установке приборов вне герметичного отсека возникают трудности в обеспечении требуемых тепловых режимов измерительных информационных приборов. Это связано с тем, что при отсутствии в приборах и между ними газовой среды исчезает возможность использования принудительной конвекции и теплопроводности газа для выравнивания температур элементов приборов и конструкции спутника. Главную роль в указанных процессах играют теплопроводности элементов конструкции приборов и спутника, а также излучение. Комплексное использование специальных терморегулирующих покрытий, пассивных электронагревателей и радиаторов, создание специальных конструктивных мостиков для перетекания тепла по элементам конструкции; а также отработанная и экспериментально проверенная методика теплового расчета каждого прибора в отдельности и их совокупности позволили успешно решить сложную задачу обеспечения заданных достаточно различных и узких диапазонов температуры информационных приборов.

Для создания оптимальных режимов чувствительности и обнаружительной способности линеек ПЗС-структур, использованных в приборе МСУ-Э, потребовалось обеспечить на них температуру до -40°C . Это было достигнуто с помощью охлаждающего экрана, установленного на теневой стороне корпуса космического аппарата, и тепловой трубы специальной конструкции, второй конец которой был смонтирован непосредственно в узел фотоприемника прибора МСУ-Э. Перепад температур на тепловой трубе длиной около 1,5 м не превышал $4-5^{\circ}$, и необходимое охлаждение фотоприемника было обеспечено. Фотоприемники комплекса «ФраШент» также охлаждались до необходимых температур с помощью радиаторов.

Значительные сложности были преодолены при минимизации взаимовлияний, а также различного рода помех в бортовой сети КА и обеспечении электромагнитной совместимости аппаратуры, в особенности для: ликвидации пульсаций в бортовой сети спутника, вызванных знакопеременной динамической нагрузкой при качаниях обладающего значительной массой приемного зеркала аппаратуры «Фрагмент». Кроме того, введение дополнительных радиолиний и использование совмещенных антенн также потребовало введения фильтров, экранировок и других мер защиты. В результате взаимные влияния большого комплекса разнородных радиотехнических приборов были практически ликвидированы и не сказались на качестве получаемой видеоинформации.

Предварительные итоги эксперимента. Новый комплексный космический эксперимент по дистанционному зондированию длится уже более года. Космический аппарат в целом и большинство приборов информационного комплекса сохраняют свою работоспособность и обеспечивают получение и передачу на Землю многозональной информации о подстилающей поверхности Земли. В настоящем номере журнала подробно изложены результаты работы информационных комплексов, обработки и интерпретации информации как в интересах преректно-конструкторских организаций, создавших спутник и научную аппаратуру, так и в нешь средствственных интересах потребителей в различных отраслях народного хозяйства. Эксперимент проходит успешно, позволяя получить ценные научные и практические данные для совершенствования аппаратуры получения и обработки информации с целью дальнейшего развития методов дистанционного зондирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов Ю. В. Спутники серии «Метеор», предназначенные для изучения Земли из космоса,— В этом номере журнала.
2. Новый эксперимент по исследованию Земли из космоса.—Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 5-6.
3. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. и др. Радиотелевизионный комплекс экспериментальных спутников для наблюдений облачного покрова и поверхности Земли.— В сб.: Космическая геофизика. Л.: Гидрометеиздат, 1978, с. 3-10.

Поступила в редакцию
29.V.1981

TECHNICAL EQUIPMENT OF EXPERIMENT ON THE EARTH REMOTE SENSING

TRIPONOV Yu. V.

Objectives of the complex experiment running in 1980-81 are reviewed. The experiment provides obtaining multispectral measuring data of mean and high resolution using the «Meteor» type satellite of the second generation. Prospects of developing in the USSR of permanently acting space system for natural resources investigation are characterized and the experiment is noted to be important stage of work. Construction and structure peculiarities of the space vehicle used in the experiment are discussed.

УДК 551.507.362

РАДИОТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС СПУТНИКОВ «МЕТЕОР» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ

СЕЛИВАНОВ А. С., ТУЧИН Ю. М.

Разнообразие задач и методов космического земледования требует создания и оптимального использования при съемке поверхности Земли со спутника нескольких типов телевизионной аппаратуры, различающейся по таким параметрам, как масштаб получаемого изображения, разрешение на местности, количество спектральных каналов, оперативность получения информации • [1].

Основное преимущество методов космической съемки заключается в их глобальности, позволяющей в один и тот же момент времени и в одних и тех же условиях передачи и регистрации получать изображения больших участков земной поверхности. Поэтому наряду с доказавшими свою эффективность телевизионными системами, аналогичными системам ИСЗ «Landsat» [2], имеющим разрешение около 80 м при полосе обзора 185 км, целесообразно использование систем, обладающих более низким разрешением, но значительно большим обзором на местности.

Прообразом таких систем является комплекс аппаратуры метеорологических спутников, которые, как это давно отмечено, могут давать информацию, полезную не только для метеорологии [3]. Однако качество метеорологических телевизионных систем все-таки недостаточно для их широкого использования в исследовании природных ресурсов (ИПР). Необходимо повышение их чувствительности, разрешающей способности, увеличение числа спектральных каналов. Тем самым расширяется круг задач, которые могут быть решены с их помощью не только в метеорологии, но и в других научных и народнохозяйственных отраслях.

Для исследования возможностей такого типа аппаратуры был разработан комплекс приборов, устанавливаемый на экспериментальные спутники, созданные на основе спутников типа «Метеор» [4]. Первый спутник с такой аппаратурой был запущен 9.VII.1974 г., и была подтверждена эффективность ее использования. Затем было создано еще четыре спутника данной серии, обеспечивших режим опытной эксплуатации оперативной системы ИПР, и налажено регулярное распространение получаемой информации среди многочисленных потребителей [5]. В настоящее время функционируют два спутника, выведенных на орбиту 25.I.1979 г. и 18.VI.1980 г. Последний является по существу спутником нового поколения, так как наряду со штатной аппаратурой, описываемой в данной статье, на нем установлена экспериментальная система с более высокими характеристиками.

Бортовая радиоаппаратура. В состав штатной аппаратуры спутника входит дублированный комплекс приборов (рис. 1, 2): четырехзональные оптико-механические сканирующие устройства малого разрешения МСУ-М (7, 2); двухзональные оптико-механические сканирующие устройства среднего разрешения МСУ-С (3, 4); устройству магнитной ре-

гистрации 5, 6; хронизаторы 7, 8; задающие генераторы 9, 10; передающие устройства дециметрового диапазона 11, 12; передающие устройства метрового диапазона 13, 14; антенные переключатели 15, 16; связанные с антенно-фидерным устройством (АФУ) спутника. Управление системой осуществляется блоком автоматики 17, кроме того, имеется устройство отображения бортового времени 18, 19.

Синхронный привод сканирующих устройств в обоих типах приборов осуществляется сигналами, сформированными в хронизаторе 7, 8, где также формируются опорные частоты для других приборов комплекса. Для работы хронизаторов используется задающая частота высокостабильных кварцевых генераторов 9, 10.

Одновременно в хронизаторе выполняются операции уплотнения канала связи. Для передачи информации от нескольких спектральных каналов в один канал связи здесь используется принцип временного уплотнения, реализуемый путем коммутации каналов и формирования амплитудно-импульсно модулированной (АИМ) последовательности сигналов.

В основной дециметровый канал связи могут передаваться непосредственно все четыре канала прибора МСУ-М. При этом частота коммутации в несколько раз превышает максимальную частоту видеосигнала, поэтому преобразование сигнала не сказывается на четкости изображения.

С прибора МСУ-С возможна передача либо одного канала, либо двух с чересстрочной коммутацией. В последнем случае четкость изображений в направлении полета уменьшается в 2 раза, но в то же время выравнивается с четкостью вдоль строки. Для синхронизации наземной системы по единому каналу передается пилот-сигнал, сложенный с основным сигналом.

Запоминающие устройства 5, 6 в последних спутниках обеспечивают запись и воспроизведение четырех спектральных каналов на каждый прибор. Время записи и воспроизведения одинаково и составляет 6 мин в полосе 5 ГГц по каждому каналу.

Устройство отображения 18, 19 дает возможность получать на снимке от МСУ-М ряд оперативных телеметрических параметров, бортовое время в минутах и градационный клин, по которому контролируется линейность канала и процесс фотообработки.

Таким образом, АИМ-сигнал в режиме непосредственной передачи или в режиме считывания с запоминающего устройства (ЗУ) поступает на вход одного из передающих устройств 11, 12, работающих в международном диапазоне волн 460—470 МГц в режиме частотной модуляции. Величина девиации ± 160 кГц. Мощность передающего устройства около 5 Вт.

Помимо дециметровой радиолинии в составе системы имеется радиолиния метрового диапазона 13, 14, также работающая в международном

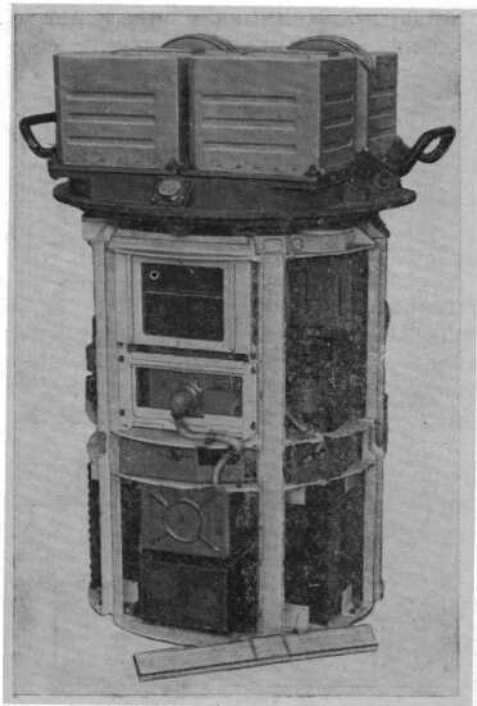


Рис. 1. Внешний вид радиотелевизионного комплекса

диапазоне волн (около 137 МГц)* предназначенная для передачи одного из спектральных каналов (по выбору) с пониженной четкостью (3 км) на упрощенные автономные пункты приема Госкомгидромета и на многие зарубежные аналогичные пункты. По радиолинии метрового диапазона видеoinформация передается по общепринятому в фототелеграфии стандарту/Номинал поднесущей 2,4 кГц, девиация частоты 9,6 кГц. Уровню белого в изображении соответствует максимальный размах ам-

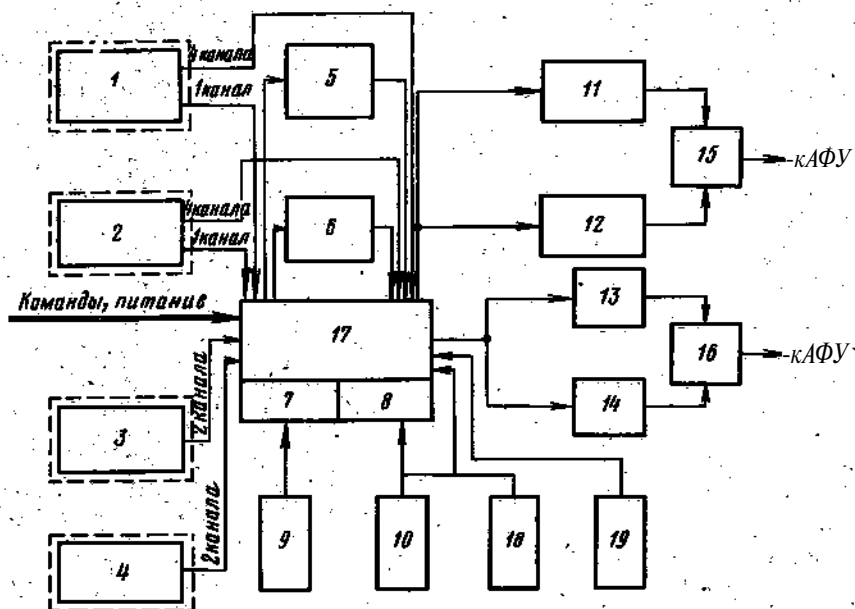


Рис. 2. Функциональная блок-схема радиотелевизионного комплекса

плитудно-модулированного (АМ) сигнала. Вес комплекса, представленного на рис. 1, 60 кг.

Оптико-механические сканирующие устройства. По принципу действия сканирующие устройства (сканеры) — оптико-механические системы с однострочной разверткой и с одноэлементными приемниками, кадровая развертка у которых осуществляется за счет движения спутника. МСУ-М работает в четырех спектральных диапазонах, МСУ-С — в двух (рис. 3, 4). Более подробные параметры сканеров приведены в табл. 1.

В однострочных сканерах разрешение по кадру определяется отношением скорости полета к скорости сканирования. Особенностью широкоугольных сканирующих устройств с фиксированным мгновенным полем зрения является непостоянство разрешения на местности вдоль строки, обусловленное перспективными искажениями и кривизной поверхности Земли. Так, в МСУ-М разрешение на краю строки почти в 4 раза хуже, чем в центре; в МСУ-С — в 2,5. Для выравнивания разрешения по кадру и строке целесообразно иметь в надире некоторое превышение разрешения вдоль строки, что и сделано в МСУ-М. В МСУ-Г оптимальные соотношения выполняются только для режима одновременной передачи двух каналов с коммутацией через строку.

Существенное различие скоростей привело к необходимости выбора различных принципов сканирования. В МСУ-М сканирование производится с помощью зеркала качания, приводимого в движение кулачковым механизмом, в МСУ-С — с помощью вращающейся зеркальной пирамиды, однако ввиду сходства многих элементов конструкции тифоборов, ниже дается их единое описание.

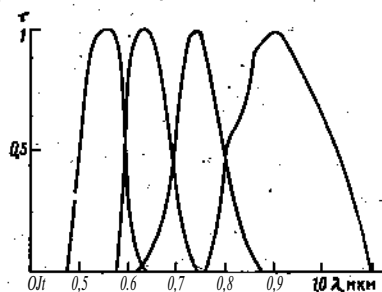


Рис. 3. Спектральные характеристики МСУ-М

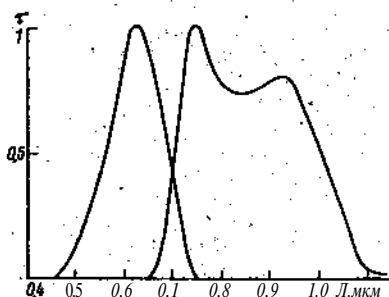


Рис. 4. Спектральные характеристики МСУ-С

Основным элементом схемы, формирующим изображение, является объектив ОКС-4-75СА с фокусным расстоянием $F=75$ мм и диаметром зрачка входа 18,75 мм. В фокальной плоскости объектива установлены диафрагмы, формирующие мгновенное поле зрения сканеров в соответствии с требуемым разрешением на местности. Оптическая схема сканеров представлена на рис. 5.

Поток излучения, отразившись от зеркала 1, (рис. 5, а) либо от одной из граней пирамиды 1' и зеркала 1'' (рис. 5,б) и пройдя через объек-

Таблица 1

Параметры сканирующих устройств

Параметры	МСУ-М	МСУ-С
Номинальная высота орбиты, км	650	650
Разрешение на местности в надире, км:		
по направлению полета	1,7	0,142
вдоль строки	106	0,24
Угол сканирования, град	106	90
Полоса захвата, км	1930	1380
Число элементов в активной части строки	1880	5700
Служебная часть строки	0,25	0,25
Скорость сканирования, строк/с	4	48
Число спектральных каналов	4	2
Масса с приводом, кг	4,5	5,5

тив 2, направляется зеркалом 3 на спектрорделительное зеркало 4. Последнее отражает поток излучения в видимом диапазоне на диафрагму 5, а излучение в инфракрасном диапазоне пропускает на диафрагму 6. Пройдя через нее, этот поток собирается линзой 7 и с помощью зеркала 8 направляется на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Видимое излучение после диафрагмы 5 и собирающей линзы 10 делится на три зоны интерференционными зеркалами 11, 12, 14, 15, 16 и направляется на ФЭУ 13, 17, 18. В приборе МСУ-С устанавливаются лишь оптические элементы для двух каналов 9, 13 и вместе с ФЭУ используются лавинные фотодиоды.

Другие параметры приборов приведены в табл. 2. Ширина спектральных каналов дана на уровне 0,5 с точностью $\pm 0,01$ мкм. Приведены измеренные величины отношения сигнал/шум, соответствующие объекту с максимальной яркостью (коэффициент отражения 1, Солнце в зените). Фотометрическая калибровка приборов; осуществляется путем перекрытия основного светового потока с помощью «гребешка» на обтюраторе 19, при этом на ФЭУ поступает световой пучок калибровочного канала через окно $\Sigma 0$, закрытое оптическим клином. Обтюратор вращается синфазно со строчной разверткой. Калибровочный канал состоит из ламп накали-

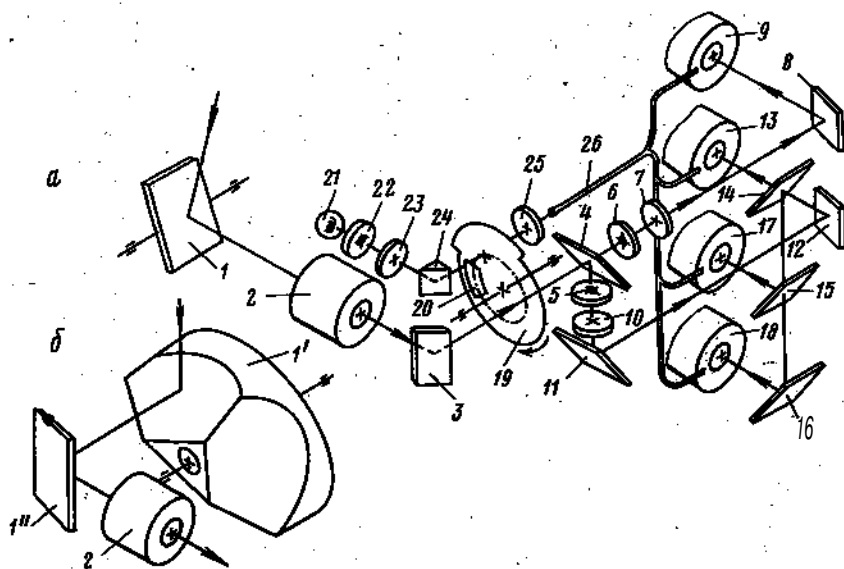


Рис. 5. Оптические схемы МСУ-М (а) и МСУ-С (б)

вания СМН-10-50 21, диафрагмы 22, линзы 23, поворотной призмы 24, Собирающей линзы 25 и световодов 26, направляющих калибровочный поток на фотоприемники. Более подробное описание сканеров приведено ранее [6]. Их внешний вид показан на рис. 6.

Прием и использование информации. Выше отмечалось, что радиотелевизионный комплекс спутников «Метеор» для исследования природных ресурсов, созданный первоначально как чисто экспериментальная систе-

Таблица 2

Спектральные диапазоны сканеров

Прибор	Спектральный диапазон, мкм	Тип фотоприемника	Отношение сигнал/шум (среднее)
МСУ-М	0,5—0,6	ФЭУ114	115
	0,6 —0,7	ФЭУ114	77
	0,7 —0,8	ФЭУ114	53
	0,8 —1,0	ФЭУ112	35
МСУ-С	0,58—0,7	Лавинный диод	24
	0,7 —1,0		41

ма для отработки методов космического земледования и накопления опыта работы в этой области в различных хозяйственных отраслях, после получения многих положительных практических результатов был принят в опытную эксплуатацию в 1978 г. В настоящее время система регулярно обеспечивает информацией более 70 крупных потребителей в различных народнохозяйственных и научных отраслях.

Система эксплуатируется службами Госкомгидромета и работает по заявкам потребителей. Основной поток информации принимается на станциях, расположенных в Москве, Новосибирске и Хабаровске. В режиме непосредственной передачи в дециметровом диапазоне волн обеспечивается получение наиболее качественной информации от сканеров среднего и малого разрешения. Указанное расположение приемных пунктов дает возможность охватить непосредственной передачей большую часть территории Советского Союза, так как зона уверенного приема каждого

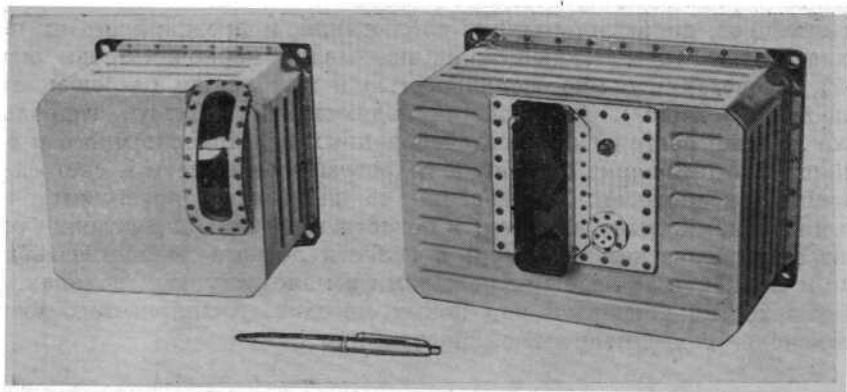


Рис. 6. Внешний вид МСУ-М и МСУ-Г

пункта имеет радиус около 2500 км. Наблюдение остальной территории Земли возможно с помощью сканера малого разрешения при записи сигнала на бортовое запоминающее устройство. Один сеанс записи (6 мин) захватывает район около 1930X2500 км.

Оказалась полезной, в том числе как дополнение к работе штатной метеорологической системы «Метеор», непосредственная передача информации на упрощенные пункты приема в метровом диапазоне волн. Возможность передачи по этой линии изображения в одном из четырех узких зон спектра по выбору позволяет во многих случаях улучшить дешифровочную способность снимков. В то же время получение этой информации доступно в любом месте, включая отдаленные районы, большие суда и т. п. Метровая и дециметровая радиолнии могут работать раздельно и совместно.

Спутники «Метеор» для исследования природных ресурсов выводятся на солнечно-синхронную орбиту с номинальной высотой 650 км и наклоном около 98°. При этом достигается постоянство условий наблюдения поверхности, т. е. прохождение спутника в одно и то же местное время. На широте Москвы периодичность наблюдения составляет 4—5 сут с приемлемым перекрытием снимков. На пунктах приема информация регистрируется на магнитную пленку и фотопленку. Магнитная запись используется для первичной консервации изображений на короткое время. Она производится на серийных видеоманитофонах «Кадр-3», работающих в режиме преддетекторной записи (пишется и считывается ЧМ-сигнал на поднесущей 4 МГц).

Фоторегистрация ведется на стандартной фототелеграфной аппаратуре, используемой для почтового обмена и децентрализованного печатания газет. Изображения, даваемые сканером малого разрешения, фиксируются на фотопленке форматом 240X300 мм раздельно для каждого спектрального канала. Для сканера среднего разрешения формат снимка 600X480 мм. Полученные негативы после дублирования рассылаются потребителям. Оригиналы поступают на архивное хранение. Средняя производительность системы составляет до 32 фотонегативов сканера малого разрешения и до 12 фотонегативов сканера среднего разрешения в сутки.

Как видно, система ориентирована главным образом на -визуальное или визуально-инструментальное дешифрирование снимков, что соответствовало реальным возможностям пользователей информацией в прошедшие годы и во многих случаях соответствует нынешнему положению, вписываясь в хорошо развитые во многих отраслях методы и технологии использования аэрофотосъемки.

Круг задач космического землеведения, достаточно эффективно решаемых с помощью системы «Метеор», предопределяется характери-

нами приборов, используемых для наблюдений, и прежде всего их широкозахватностью (и вытекающей из нее малой периодичностью наблюдений) в сочетании с многозональностью и выбранным разрешением на местности (до 240 м). Эти задачи следующие: в области гидрологии: оценка ледовой обстановки с выдачей данных для транспортного и рыбо-ловческого флотов, оценка состояния гидрографической сети и снегозапаса; в области океанологии: наблюдение за вихревыми явлениями, внутренними волнами, выносами рек; в области геологии: определение региональных геологических структур; в области лесного хозяйства: обнаружение и слежение за лесными пожарами в малодоступных районах.

В разработке находится ряд новых методик, расширяющих возможности использования получаемой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я.* Космические методы землеведения. Л.: Гидрометеиздат, 1971, с. 8-27.
2. ERTS. Data Users Handbook. Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland, 1972, p. 23-26, X.
3. *Варрет Э. К.* Погода из космоса. Л.: Гидрометеиздат, 1970, с. 108-121.
4. *Александров Л. А.* Погодный дозор планеты.— Известия, 1977, 28 сентября.
5. *Ветлов И. П.* Космическая система «Метеор» на службе гидрометеорологии.— Иссл. Земли из космоса, 1980, № 2, с. 11-27.
6. *Селиванов А* С., Чемоданов В. П., Суворов Б. А. и др.* Оптико-механические сканеры для наблюдения Земли.— Техника кино и телевидения, 1978, № 6, с. 16—21.

Поступила в редакцию
22.V.1981

REPIO-TV COMPLEX OF «METEOR» SATELLITES FOR NATURAL RESOURCES INVESTIGATION

SELIVANOV A. S., TUCFIN Yu. M.

Description is given of the «Meteor» satellite radio-TV complex in test operation. The complex includes wide-angle multispectral scanning devices of two types, type-recorders and other instruments. Data are transmitted in the band settled for meteorological satellites. Information obtained in the form of multispectral images is distributed according to users orders.

УДК 551.507,362

Л

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ

СЕЛИВАНОВ А. С., ТУЧИН Ю. Л., НАЙРАЕВА М. Ш.
НОСОВЫЙ И.

Совершенствование многозональных средств наблюдения Земли, используемых для исследования природных ресурсов (ИПР), идет по пути повышения измерительных свойств, разрешающей способности аппаратуры, а также внедрения новых способов передачи и обработки информации.

На основании опыта, накопленного в процессе эксплуатации радиотелевизионного комплекса (РТВК) спутника «Метеор» [1] для исследований природных ресурсов Земли был сделан следующий шаг в развитии средств дистанционного зондирования в виде экспериментального бортового информационного комплекса (БИК-Э), обладающего качественно новыми параметрами и соответственно более широкими возможностями практического использования. Целью этой разработки была проверка аппаратных решений и методов наблюдения для перспективных систем ИПР.

Опыт работы подтвердил целесообразность использования широкоугольных средств наблюдения в системе ИПР. В БИК-Э также применено широкоугольное сканирующее устройство среднего разрешения, имеющее более узкую (до 600 км) по сравнению с ранними конструкциями полосу обзора и в то же время в 1,5 раза более высокое пространственное разрешение; увеличено до четырех число спектральных каналов, и обеспечена высокая точность измерения световых потоков.

Для решения задач, требующих разрешения на сравнительно небольших наблюдаемых участках, разработано трехканальное сканирующее устройство.

Аппаратура БИК-Э была установлена дополнительно к штатной аппаратуре РТВК спутника «Метеор», запущенного 18.VI.1980 г. [2].

Бортовая аппаратура. В состав БИК-Э (рис. 1) входят два устройства

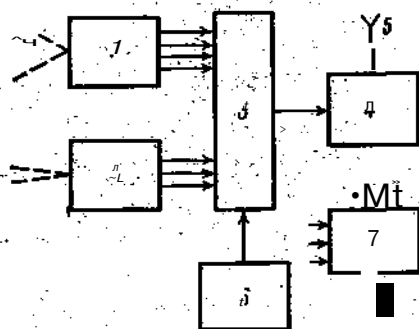


Рис. 1. Функциональная блок-схема бортового информационного комплекса

передачи спектрозональных изображений: оптико-механический сканер среднего разрешения с конической разверткой МСУ-СК (1) и оптико-электронный сканер высокого разрешения с плоскостной разверткой МСУ-Э (2), параметры которых приведены в таблице. Сигналы от этих устройств последовательно, поступают на блок восьмиразрядных аналого-цифровых преобразователей и формирования цифрового потока (5), радиопередатчик (4) и антенну (5) спутника. Синхронизация устройств комплекса осуществляется от высокостабильного опорного генератора

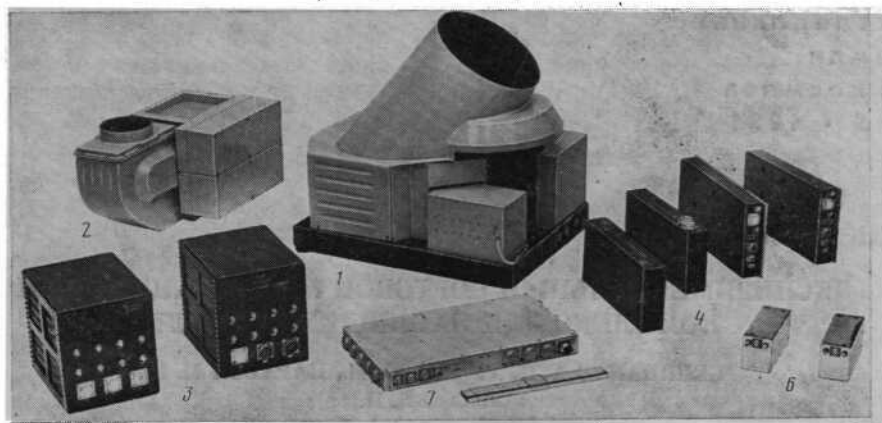


Рис. 2. Внешний вид приборов БИК-Э

(б). Управление комплексом, сбор телеметрических параметров от приборов производится блоком автоматики (7). Блоки 5, 4, 6 имеют холодный ^резерв. Все приборы комплекса работают вне герметичного отсека спутника. (Внешний вид приборов БИК-Э представлен на рис. 2, где сохранены те же обозначения.

Сканирующие устройства работают одновременно, их включение производится по командам с Земли. Параметры системы подобраны так, что при работе каждого из этих устройств информативность цифрового

Параметры сканирующих устройств

Параметры	МСУ-СК	МСУ-Э
Полоса обзора (км) для высоты полета 650 км	600	28
Размеры проекции полевой диафрагмы (элементы структуры) на земную поверхность в надире, м:		
по строке	175	28
по кадру	243	28
Угол сканирования, град	66,5	2,5
Угол наклона линии визирования, град	38,9	0
Скорость сканирования, строк/с	48	218
Эффективность развертки	0,74	0,91
Число элементов в активной части строки	3614	1000
Число спектральных каналов	4	3
Диаметр входного зрачка объектива, мм	200	87,5
Масса, кг	47	17

потока составляет 7,68 Мбит/с. Передача осуществляется на несущей частоте 466,5 МГц методом двойной относительной фазовой манипуляции (ДОФМ). Указанная частота выбрана из соображений максимального использования приемной аппаратуры существующих в системе Госкомгидромета наземных пунктов для космической метеорологической системы «Метеор», позволяющих вести наблюдение практически всей территории СССР в режиме непосредственной передачи. Обзор поверхности Земли сканирующими устройствами производится по схеме рис. 3.-

Повышение точности измерения световых потоков требует повышения отношения сигнал / шум на выходе сканирующего устройства, что достигается применением более совершенных фотоприемников и необходимым увеличением эффективного диаметра выходного отверстия оптической системы, которое в случае МСУ-СК составляет 200 мм. При таком диаметре широкоугольное сканирование уже не может быть осуществлено

Рис. 3. Схема обзора поверхности Земли сканирующими устройствами: А - прибор МСУ-СК, Б - прибор МСУ-Э

Рис. 4. Схема построения МСУ-СК

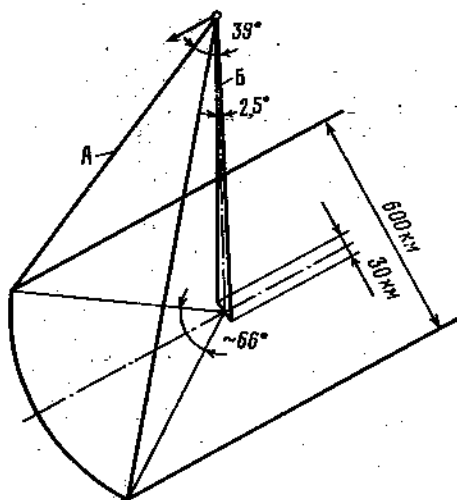


Рис. 3

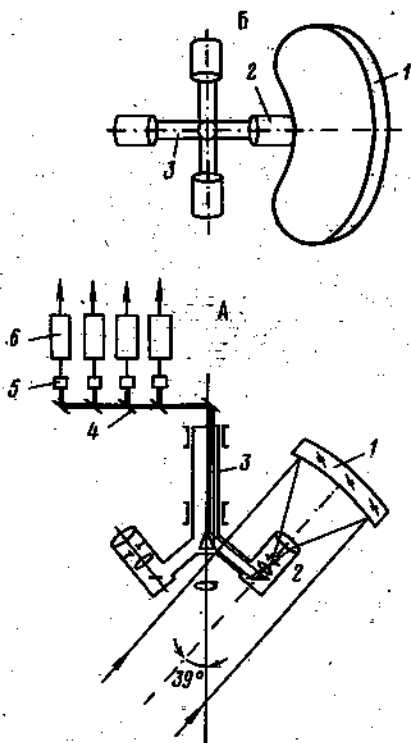


Рис. 4

традиционными способами [3]. Сравнительная оценка совокупности факторов при создании сканера среднего разрешения МСУ-СК привела к использованию в нем принципа конического сканирования, несмотря на известные трудности приема изображений, передаваемых такими устройствами. Немаловажным аргументом в пользу конического сканирования служат свойственные ему постоянство геометрических и фотометрических условий наблюдения, постоянство разрешения по строке.

МСУ-СК, согласно упрощенной схеме (рис. 4), работает следующим образом: излучение от подстилающей поверхности под углом 39° к вертикали собирается сферическим зеркалом (1) и направляется на одну из четырех оптических ветвей (2), расположенных на вращающемся вокруг вертикальной оси сканирующем колесе (5). В оптической ветви, поток излучения с помощью ряда оптических узлов фокусируется, из него выделяется поток, соответствующий одному телевизионному элементу, и направляется к оси вращения сканирующего колеса, преломляется и далее расщепляется в спектроделительной системе (4). Фотоприемники (5) преобразуют его в видеосигнал, который после формирования в усилителях (6) поступает на выход прибора.

За один оборот сканирующего колеса «прочерчиваются» четыре строки изображения, причем ось визирования описывает в пространстве коническую поверхность, а след ее на поверхности Земли (строка) представляет дугу окружности с центральным углом $\sim 66^\circ$.

Калибровка каналов производится как по внутреннему эталону, так и по Солнцу. Спектральные характеристики МСУ-СК приведены на рис. 5.

Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения (МСУ-Э) построено по наиболее перспективному для таких устройств принципу использования линейных приемников излучения на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) с 1024 элементами в строке. На рис. 6 показан основной принцип построения МСУ-Э. Изображение по-

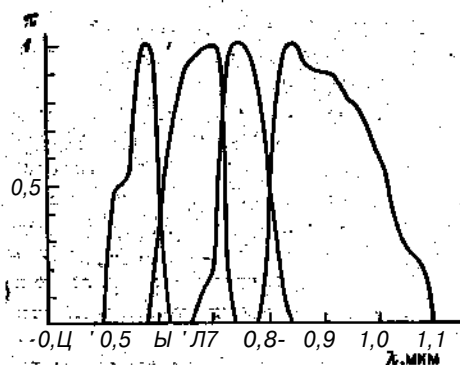


Рис. 5

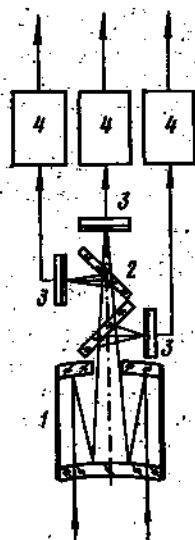


Рис. 6

Рис. 5. Спектральные характеристики МСУ-СК

Рис. 6. Схема построения МСУ-Э

Рис. 7. Спектральные характеристики МСУ-Э

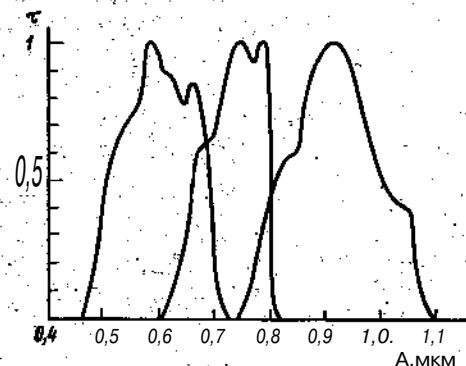


Рис. 7

верхности Земли с помощью объектива (1) через спектроделительную систему (2) проектируется на три линейки ПЗС (5), каждая из которых работает в своем спектральном диапазоне (рис. 7) «После линейных фотоприемников видеосигнал поступает на каналные блоки усиления и формирования сигналов» (4). Все линейки располагаются перпендикулярно направлению полета. Развертка по строке осуществляется электронным способом, по кадру — за счет движения спутника. Необходимым элементом устройства является радиационный холодильник, обеспечивающий температуру в области ПЗС $T^* = -30 \text{ — } -50^\circ \text{C}$, что позволяет значительно снизить структурный шум приемников на ПЗС. В данном экземпляре МСУ-Э калибровка в полете не предусматривалась.

Прием информации от БИК-Э осуществляется на экспериментальной системе выделения и приема информации (СВПИ-Э) с использованием штатной антенны системы «Метеор», которая дооснащается малошумящим приемником. Принятый сигнал в цифровой форме (в виде четырехрядного четырехуровневого кода) ретранслируется по радиорелейной линии на пункте приема в главный центр приема и обработки данных (ГЦПОД).

Регистрация получаемой информации осуществляется на двух типах аппаратуры. Информация от прибора МСУ-СК регистрируется на аппаратуре для приема изображения газет с форматом негатива 600X480jot. Изображения от МСУ-Э воспроизводятся на фототелеграфных устройствах «Волга» с форматом негатива 240X300 мм. Так как регистратор «Волга» работает со скоростью развертки не более 8 строк/с^ то сопряжение скоростей производится через магнитное запоминающее устройство, работающее в режиме понижения скорости воспроизведения в 8 раз.

Испытания БИК-Э в полете показали устойчивую работу радиотехнической части комплекса и перспективность выбранного канала передачи для территориальных пунктов приема информации.

Качество изображения МСУ-СК было высоким, и специальные измерения подтвердили, что рассчитанные точности измерений практически реализуются. Наклонное зондирование поверхности, свойственное методу конического сканирования, способствовало получению интересной информации и о водных поверхностях. Работа прибора на Т13СХМС(У-Э) подтвердила эффективность этого средства наблюдения для природных и народнохозяйственных объектов, требующих повышенного разрешения, например, сельскохозяйственных угодий. Ограниченные возможности этого устройства, вызванные малой полосой захвата на местности (~ 30 км), в дальнейшем могут быть преодолены увеличением числа элементов в линейке ПЗС, введением дистанционного управления положением линии визирования и разработкой методик, позволяющих распространить результаты дешифрирования и интерпретации участков, захватываемых МСУ-Э, на большие площади, обзор которых обеспечивает МСУ-СК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. Радиотелевизионный комплекс спутников «Метеор» для исследований природных ресурсов Земли.—В этом номере журнала.
2. Новый эксперимент по исследованию Земли из космоса.—Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 5-6.
3. Селиванов А. С., Чемоданов В. П., Суворов Б. А. и др. Оптико-механические сканеры для наблюдения Земли.—Техника кино и телевидения, 1978, №6, с. 18-22.

Поступила в редакцию
22.V.1981

EXPERIMENTAL SATELLITE SYSTEM FOR THE EARTH MONITORING

SELIVANOV A. S., TUCHIN Yu. M., NARABVA M. K.,
NOSOV B. I.

Experimental satellite information system is described designated for proving devices and methods for the Earth study. The system includes mean resolution optical mechanical device with cone scanning and high resolution optical electronic CCD — radiometer with flat scanning. Data are transmitted by digital communication channel at carrier frequency 466,5 MHz with the rate 7,68 Mb/s.

УДК 629,78:528.7

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ
КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ
СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ФРАГМЕНТ»**

АВАНЕСОВ Г. А.

В Институте космических исследований АН СССР в девятой и десятой пятилетках проводились исследования и эксперименты, имевшие целью разработку и создание методов и специализированных космических средств ИПРЗ в оптическом диапазоне электромагнитных излучений (ЭМИ) с целью их последующего внедрения в практику регулярных исследований Земли из космоса.

Наиболее важной и сложной задачей в указанных исследованиях являлась разработка метода и комплекса технических средств, обеспечивающих оперативное получение и обработку отличающейся высокой радиометрической точностью многозональной видеоинформации, отображающей с хорошим пространственным разрешением быстро протекающие изменения объектов земной поверхности.

Важность решения такой задачи обусловлена тем, что только оперативно получаемая видеоинформация обеспечивает реализацию тех основных преимуществ, которые представляют космические средства при поиске, оценке состояния и контроля использования природных ресурсов Земли. При этом наибольшая экономическая эффективность достигается в решении таких задач, как оценка состояния и прогнозирование урожаев сельскохозяйственных культур и биологической продуктивности водных масс.

Сложность решения указанной задачи обусловлена рядом факторов, в первую очередь научно-технического характера, вытекающих из необходимости создания и отладки сложного бортового и наземного комплекса взаимосвязанных технических средств.

Этот комплекс помимо собственно бортовой аппаратуры съемки земной поверхности должен включать аппаратуру передачи по радиолинии большого потока получаемой видеоинформации на Землю, аппаратуру приема и регистрации этой информации, а также аппаратуру ее экспресс-обработки. Необходимо было разработать все указанные элементы и объединить их в единую систему. Первоначальным и основным звеном этого комплекса являлась многозональная сканирующая система «Фрагмент», разработанная в ИКИ АН СССР.

Указанный экспериментальный информационно-измерительный комплекс (ЭИИК) успешно функционирует в режиме опытной эксплуатации более года. Объем полученной с его помощью информации измеряется тысячами километров магнитной ленты и миллионами квадратных километров обследованных площадей на земной поверхности. Получен значительный опыт практической работы с комплексом, обеспечивающим оперативный сбор и обработку информации в интересах исследования природных ресурсов.

Обобщенная схема ЭИИК показана на рисунке. В состав комплекса входят следующие системы: 1) многозональная система оптического сцинтилляции «Фрагмент»; 2) система цифровой передачи многозональной видеоинформации; 3) система приема и магнитной регистрации многозональной видеоинформации; 4) система цифровой обработки многозональной видеоинформации.

Система «Фрагмент» и система цифровой передачи информации установлены на ИСЗ «Метеор», выведенном в космос 18.VI.1980 г. на близкую к круговой солнечно-синхронную орбиту с высотой 650 км. Орбита позволяет наблюдать одни и те же участки земной поверхности с периодичностью 15 сут [1].

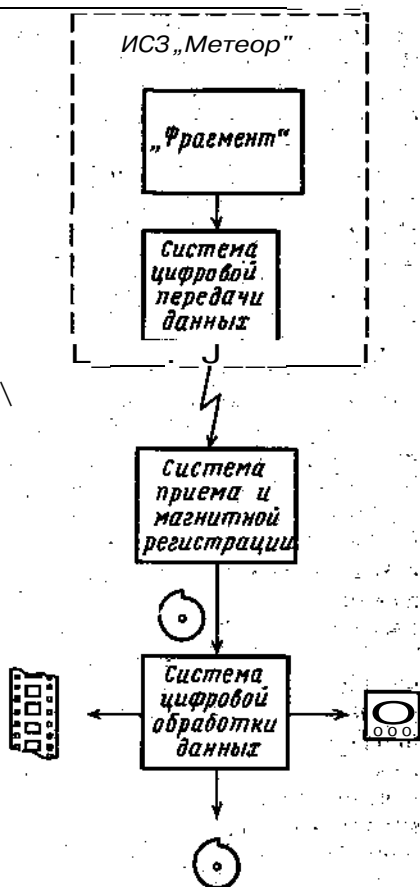
Система приема и магнитной регистрации многозональной видеоинформации установлена на приемном пункте ОКБ МЭИ (Московская область). Система цифровой обработки многозональной видеоинформации развернута в ИКИ АН СССР и ГосНИЦИПР.

Система «Фрагмент» обеспечивает развертку изображения земной поверхности поперек трассы полета в полосе ~85 км одновременно в восьми зонах видимой и ближней ИК-области спектра [1, 2], преобразование принятого излучения в электрический сигнал, сравнение электрического сигнала с образцовой мерой и преобразование его в цифровую форму, сопровождение основного сигнала служебной информацией о состоянии подсистем, режимах их работы, введение сигналов синхронизации и формирование телеметрического кадра. Управление режимами съемки осуществляется по командной радиолинии.

Система цифровой передачи видеоинформации производит формирование синхропосылок и передачу данных методом фазовой манипуляции в дециметровом диапазоне электромагнитных волн. Пропускная способность радиолинии ~4 Мбит/с [3].

В системе приема и магнитной регистрации осуществляется выделение синхропосылок, первичное декодирование сигналов, заключающееся в разделении сигналов по каналам, и запись информации на высокоскоростном магнитофоне. После каждого сеанса связи производится перезапись информации в параллельно-последовательном коде на цифровые телеметрические магнитофоны типа 17С06-07. Получаемые при этом магнитные записи передаются на обработку в ИКИ АН СССР и ГосНИЦИПР.

Система цифровой обработки видеоинформации, действующая в ИКИ АН СССР, обеспечивает: быстрый просмотр цифровых видеозаписей на цветном полутоновом дисплее; перезапись информации на магнитную ленту в структуре ЕС ЭВМ; радиометрическую коррекцию цифровой видеоинформации; воспроизведение цифровых видеозаписей на черно-белом фотоносителе в масштабе 1:1 600000; обработку данных по программам



Обобщенная схема информационно-измерительного комплекса на ИСЗ «Метеор» МСС «Фрагмент»

статистического анализа и интерпретации; обработку данных по программам геометрических преобразований.

Далее путем фотографической обработки изготавливаются черно-белые негативы масштаба 1: 500 000 и с помощью многокамерного синтезирующего проектора МСП-4 изготавливаются цветные изображения масштаба 1:320000. Черно-белые негативы масштаба 1: 500000 и контрольные отпечатки с них высылаются в ГосНИЦИПР для тиражирования и распространения.

При создании перечисленных систем разработчикам комплекса пришлось решить ряд сложных научно-технических проблем. В части разработки многозональной системы оптического сканирования основные проблемы были сосредоточены вокруг прецизионного узла сканирования, высококачественной входной оптической системы, устройства поканального разделения светового потока, устройств бортовой поверочной калибровки оптико-электронного тракта, фотоприемных устройств, быстродействующих аналого-цифровых преобразователей, электропитания и конструкции в целом с учетом требований условий эксплуатации и надежного функционирования в открытом космосе [2, 4, 5].

Проблемы передачи, приема и регистрации данных сосредоточились вокруг высокоинформативной радиолинии и средств магнитной регистрации, причём последние должны были обеспечить трансформацию скорости в режиме воспроизведения до пределов, определяемых темпом ввода информации в ЭВМ [3].

В области цифровой обработки информации проблемы касались создания специализированных средств обработки и проблемно-ориентированного математического обеспечения [6].

Наконец, проблемы метрологического обеспечения эксперимента требовали создания методики энергетического расчета систем оптического сканирования, специализированных измерительных средств, а также надежной методики относительной и абсолютной градуировки измерительных каналов бортовой системы [7—8].

Задачи эксперимента с ЭИИК на основе многозональной системы оптического сканирования «Фрагмент», сформулированные и уточненные на разных этапах разработки, предполагали возможность преодоления перечисленных трудностей и сводились к следующему: 1) отработка НОУ технических средств получения многозональной видеоинформации в видимой и ближней ИК-области спектра; 2) отработка и оптимизация метода оперативного изучения земной поверхности на основе многозональной видеоинформации; 3) отработка систем и методов цифровой передачи видеоинформации; 4) исследование и оптимизация методов машинной и визуально-инструментальной обработки многозональной видеоинформации; 5), - опытно-производственное использование аэрокосмической видеоинформации при решении практических задач изучения Земли из космоса; 6) выработка рекомендаций по построению бортовых и наземных технических средств, организации съемочных работ, технологии сбора и обработки данных в перспективной системе оперативного изучения Земли из космоса.

-у - В настоящее время обработка данных, полученных в ходе эксперимента, далека от завершения. Соответственно подведение итогов эксперимента может носить лишь предварительный характер, хотя некоторые результаты уже очевидны.

Длительная и безотказная работа бортовых систем, функционирующих в условиях открытого космоса, показывает на правильный выбор конструкторско-технологических решений, принятых в ходе их разработки. По полученным снимкам можно судить о том, что фактическая разрешающая способность съемочной системы близка к расчетной. Получил подтверждение энергетический расчет; системы и обеспечена сохранность надежной радиометрической градуировки, что следует из анализа видео-

информации и сведений о встроенном опорном излучателе. Соответственно косвенным образом подтверждена правильность методических и технических решений, принятых при создании надежной контрольно-измерительной аппаратуры и всех процедур наземной обработки и испытаний. Вышеперечисленное позволяет считать, что в ходе эксперимента успешно решены первая и третья задачи, связанные с отработкой бортовых технических средств.

В ходе эксперимента уточнена методика планирования съемочных работ и организация приема, регистрации и первичной обработки информации на основе оперативного прогноза обличности, составляемого по данным метеорологических наблюдений, выполняемых спутниками серии «Метеор». Отработаны также процедуры отбора данных для вторичных видов обработки, что имеет большое практическое значение для решения производственных задач. Работы этого направления проводились с целью минимизаций технологического цикла обработки информации. Полученные при этом результаты в значительной мере соответствуют задачам отработки метода оперативного изучения земной поверхности на основе многозональной видеоинформации.

Важной задачей эксперимента является практическая отработка и исследование методов машинной и визуально-инструментальной обработки многозональной информации. Здесь можно отметить, что все служебные виды обработки, которые были подготовлены к моменту начала эксперимента, оказались достаточно эффективными и потребовали минимальной доработки. Визуально-инструментальные виды обработки, которые были применены к материалам съемок, показали, что они пригодны для практического использования во многих отраслях народного хозяйства. Что касается алгоритмов и программ машинной обработки, включая автоматическую классификацию по заданным и вырабатываемым признакам, то выводы об их практическом использовании на данном этапе делать преждевременно, поскольку объем обработанных материалов невелик.

К материалам съемки, получаемым ЭИИК на основе многозональной сканирующей системы «Фрагмент», через ИКИ АН СССР и ГИСНИЦПР обеспечен достаточно широкий доступ, что должно способствовать использованию нового вида космической информации при решении практических задач наук о Земле.

Длительное функционирование ЭИИК и большой объем полученных материалов позволяют надеяться на то, что этот большой и сложный эксперимент окажет положительное влияние на развитие в стране оперативных методов изучения Земли из космоса в интересах народного хозяйства и науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новый эксперимент в космосе.— Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 5—6.
2. Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Игнатенко С. А. и др. Многозональная сканирующая съемочная система «Фрагмент».—В этом номере журнала.
3. Богомолов А. Ф., Попов С. М., Смоляников Ю. Д., Степин А. В. Проблемы цифровой передачи и регистрации многозональной видеоинформации и их решение в эксперименте «Фрагмент».—В этом номере журнала.
4. Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Тарнопольский В. И. Разработка специализированной оптико-электронной системы оперативного сбора многоспектральной видеоинформации о поверхности Земли с борта ИСЗ.—В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 57-76.
5. Тарнопольский В. И. Некоторые вопросы проектирования спутниковых многоспектральных систем оптического сканирования.—В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 76-87.
6. Красиков В. А., Шамис В. А. Обработка многозональной видеоинформации на специализированных вычислительных комплексах.—В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 244-248.
7. Сычев А. Г., Тарнопольский В. И. О спектрометрических характеристиках многоспектральных съемочных систем.—В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 87-93.

8. *Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Сычев А. Г., Тарнопольский В. И.* Метрологическое обеспечение измерений яркости земной поверхности многозональной сканирующей системой «Фрагмент». — В этом номере журнала.

Институт космических исследований
АН СССР Москва

Поступила в редакцию
12.VI.1981

EXPERIMENTAL TELEMETRICAL COMPLEX ON THE BASE OF «FRAGMENT» MULTISPECTRAL SCANNING SYSTEM

AVANESOV G. A. I

Structure and functions of experimental telemetrical complex main systems are considered on the base of the «Fragment» multispectral scanning system. Preliminary estimation is given for results of the experiment on operational aquisition and mashine processing of multispectral video information.

УДК 528.7:621.397.331.2:629.78

МНОГОЗОНАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА «ФРАГМЕНТ»

АВАНЕСОВ Г. А., ГЛАЗКОЕВ Д., ЗИМАН Я. И.,
ИГНАТЕНКО С. А., КИМАНЛИЕВ Т. И., МУРАВЬЕВ В. И.,
РОЖАВСКИЙ Э. И., ТАРНОПОЛЬСКИЙ В. И., ФУКС В. И.,

... Е. П. Е. А. К. R & - ^ ...

Одним из основных современных оперативных средств* получения космической видеоинформации о двумерном распределении интенсивностей отраженного и собственного излучения объектов земной поверхности ж подстилающего слоя являются многозональные сканирующие системы (МСС), использующие в качестве приемников излучения точечные (несканирующие) детекторы в сочетании с оптико-механическими развертывающими устройствами [1]. Системы этого типа теоретически могут быть реализованы для любого спектрального диапазона электромагнитных волн, совпадающего с окнами прозрачности земной атмосферы. Применяя в МСС разнотипные детекторы, можно охватить широкий спектральный диапазон измеряемых излучений, что радикальным образом отличает их от прочих видеоинформационных систем. Простота информационно-измерительного тракта, использующего точечный приемник с минимальным количеством ступеней преобразования измеряемого излучения, возможность его периодической калибровки по эталонному источнику, а также использование одной оптической системы и единой системы развертки изображения позволяют достичь высоких показателей в точности измерений радиационных потоков. Кроме того, в процессе обработки результатов анализа многозональной информации от МСС относительно просто решаются вопросы поточечного пространственного совмещения изображений, полученных в разных каналах.

Исходя из этих предпосылок, а также теоретических и экспериментальных исследований, отдельные результаты которых изложены в работах [1—7], была выполнена разработка МСС «Фрагмент» и успешно осуществлен натурный эксперимент на ИСЗ «Метеор».

Полнее приводится краткое обоснование технических решений, реализованных в МСС «Фрагмент». Его функциональная схема и общий вид показаны на рис. 1, 2.

Съемочные параметры системы «Фрагмент». К основным съемочным параметрам описываемой системы относятся (при заданной высоте орбиты $H = 630$ км и скорости $U_{\text{ж}} \approx 7$ км/с перемещения по Земле подспутниковой точки): число спектральных интервалов чувствительности n и их расположение в спектре; эффективная спектральная ширина $\Delta\lambda$ интервалов чувствительности; максимальные значения спектральной плотности энергетической яркости B_{λ} -тах, измеряемые системой в каждом спектральном интервале чувствительности; относительная среднеквадратическая погрешность измерений σ^* ; ширина полосы обзора B_{λ} темп съемки $L/\tau = L \cdot U_{\text{ж}}$; размеры мгновенных полей зрения $\delta_{\lambda} - \delta_{\text{у}} = A \cdot \tau$ в каждом спектральном интервале чувствительности.

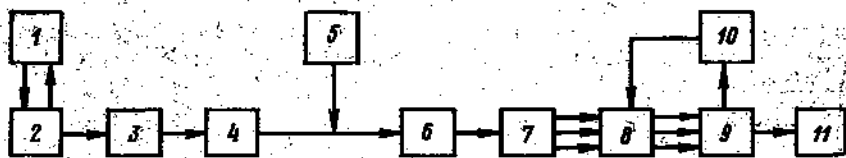


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной оптико-электронной системы оперативного сбора многоспектральной видеоинформации о поверхности Земли с борта ИСЗ:

1 — привод; 2 — сканирующее зеркало; 3 — объектив приемной оптической системы; 4 — оптико-механический коммутатор; 5 — опорный излучатель с рабочей и эталонной группами источников света; 6 — волоконно-оптический разветвитель; 7 — полосовые спектральные фильтры; 8 — фотопреобразующие звенья; 9 — устройство копирования; 10 — цепь автокоррекции; 11 — система передачи данных

В соответствии с содержанием задач исследования, для решения которых была разработана система «Фрагмент», в ней реализовано восемь спектральных интервалов измерений: ОД—Q>7; 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1; 1,2—1,3; 1,5—1,8; 2,1—2,2 мкм. Эффективная спектральная ширина интервалов чувствительности $\Delta\lambda_1 < 3 \cdot 10^{-1}$ мкм; $\Delta\lambda^* \dots, \Delta\lambda^{\text{IO}^{\text{II}}}$ мкм; $\Delta\lambda^{\text{S-IOT}^{\text{I}}}$ мкм; $\Delta\lambda^{\text{e-Ip}^{\text{I}}}$ мкм; $\Delta\lambda^{\text{т}^{\text{--}}}$ мкм; $\Delta\lambda^{\text{3-K}^{\text{--}}}$ мкм.

Основой выбора указанных интервалов измерения служили существующие материалы по оптике земных ландшафтов и атмосферы для области отраженных солнечных ($X < 3,5$ мкм) излучений, практически свободной от наложения теплового излучения земной поверхности, в которой в свою очередь селективный характер переноса излучения в земной атмосфере однозначно сужает зоны возможного расположения рабочих спектральных интервалов до «окон прозрачности» (рис.3).

При определении величин $I^*/\max$, необходимых для привязки энергетических шкал измерительных каналов системы «Фрагмент» как на этапе проектирования, так и при градуировке, а также для составления программы съемки и управления работой системы в полете, был выполнен ориентировочный радиационный прогноз, определяющий сезонные вариации верхней границы диапазона измеряемых яркостей [7]. Полученные значения $\#j \text{ та}^*$ ввиду существенной важности их правильного определения для успешной реализации программы эксперимента были подтверждены результатами соответствующих измерений с борта самолета-лаборатории [3, 7], в том числе и с помощью специально разработанного макета системы «Фрагмент», измерявшего величины спектральной плотности энергетической яркости в спектральных интервалах, телесных углах $\Omega^{\text{т}}$ и $\Omega^{\text{от}}$ и в диапазоне углов визирования, соответствующих тем же параметрам проектируемой системы.

—Определение остальных съемочных параметров системы проводилось при основном условии — необходимости обеспечить достаточную точность и представительность измерений, не нарушая одновременно ограничения на величину потока информации /, выдаваемого системой в линию связи:

$$I = L_y V_x \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{\delta_x \delta_y} + l \leq 4 \cdot 10^6 \text{ бит/с}, \quad (1)$$

где q_j — число уровней квантования радиационного потока при преобразовании его в выходной код b_j , а величина I характеризует объем дополнительных вспомогательных данных.

Поскольку величина GBJ может быть представлена в виде

$$\sigma_{Bj} = (\sigma_{fj}^2 + \sigma_{kj}^2)^{1/2}, \quad (2)$$

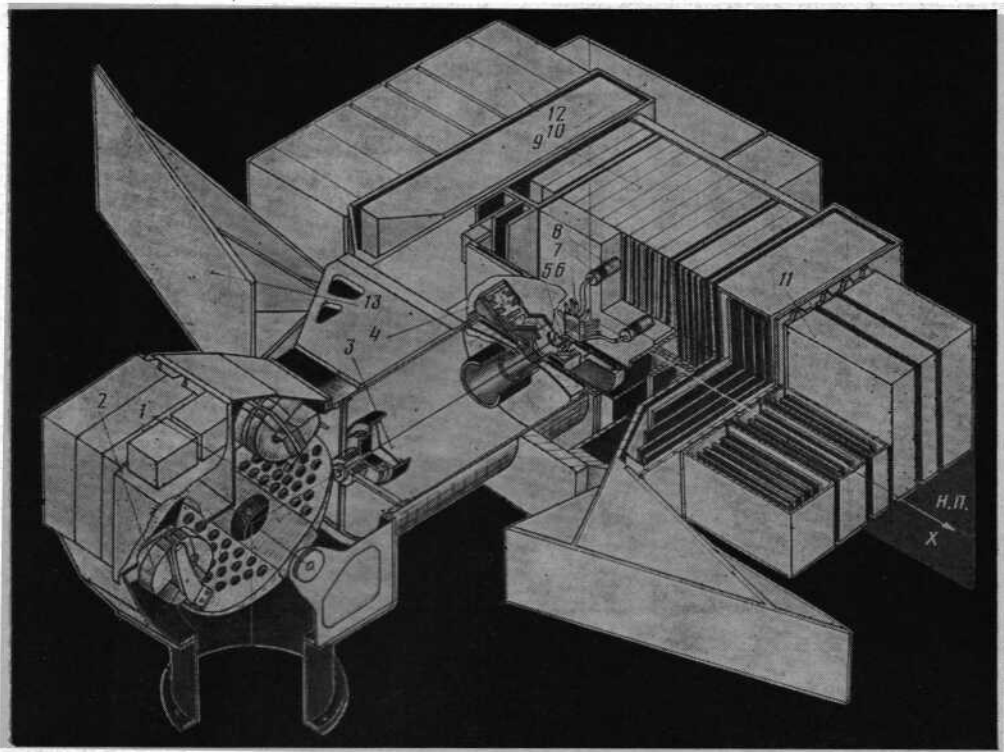


Рис 2. Общий вид многоспектральной сканирующей системы «Фрагмент»: 1 — сканирующее зеркало; 2 — привод зеркала; 3 — объектив; 4 — опорные источники света; 5 — оптико-механический коммутатор; 6 — волоконно-оптический разветвитель; 7 — полосовые спектральные фильтры; 8 — фотоприемники; 9 — блоки усилителей постоянного тока и высоковольтных источников питания фотоприемников; 10 — блок аналого-цифрового преобразования; Ц — блоки системы управления, сбора, обработки информации; 12 — блоки системы электропитания; 13 — радиаторы охлаждения фотоприемников

где обладающие нормальными распределениями, плотности вероятностей значений составляющие обусловлены флуктуациями измеряемого потока, шумами тракта a_{pj} и шумами квантования $a_{кк}$, то из условия

$$\sigma_{kj} = \left(\frac{q^2}{12} \right)^{1/2} \ll \sigma_{pj} \quad (3)$$

при приемлемой для выполнения задач эксперимента точности измерений в интервалах $j=1, \dots, 5$ ав. — 2—3%, величина д. — была 70 П. релелена равной 7 для всех измерительных каналов.

При определении величины B_y в соответствии с задачей эксперимента не ставилось требования глобального обзора Земли и в то же время учитывалось ограничение на соотношение высоты орбиты и ширины полосы обзора, определяющее угол обзора P ; это требование связано с тем, что индикатрисы измеряемой яркости в области отраженных излучений могут считаться ортотропными лишь в пределах весьма небольших интервалов угла визирования, расширение которых при съемке грозит существенным искажением картины распределения яркости по исследуемому участку земной поверхности. С другой стороны, чрезмерно малая величина L_y затрудняет корректную географическую привязку получаемых данных, поэтому было принято удовлетворяющее оба условия значение $L^*=85$ км.

Выбор линейных размеров (6# и 8#) мгновенных полей зрения являлся одним из наиболее сложных вопросов при определении съемочных

параметров системы, поскольку отсутствует его строгое физико-географическое обоснование. При разработке МСС «Фрагмент», учитывая экспертные оценки и сопоставление с проводившимися ранее экспериментами, было придано исходное условие

$$\delta_{x_j} = \delta_{y_j} = \delta_j < 10^{-4} \text{ км} \quad V^*$$

для измерений в основных спектральных интервалах ($j=1, \dots, 5$).

При оговоренных выше ограничениях на i и L_j для выполнения условия (4) оказалось необходимым обеспечить такое соотношение членов сумм в выражении (1), чтобы соотношение $1-Z/J$, а следовательно, и соотношение $\tau_{\text{ск}}$ времени обзора полосы шириной L_j за один скал и полного времени скана не было меньше 0,65, т.е.

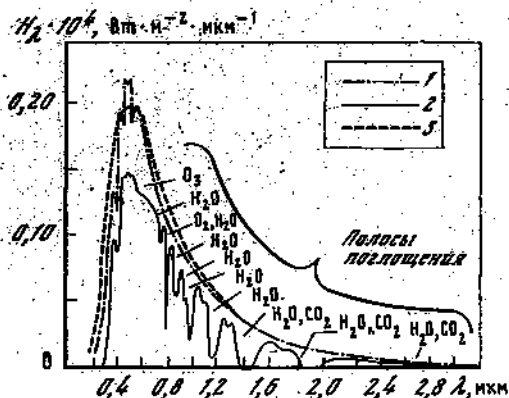
$$\frac{I-l}{I} \approx \eta_{\text{ск}} > 0,65. \quad (5)$$

Помимо этого было принято условие

$$\begin{aligned} 61=62=63=64=65=66/3- \\ =6_7/3=6_8/6, \end{aligned} \quad (6)$$

что позволило сократить составляющие потока λ дая²=6, 7, 8 и одновременно произвести некоторое выравнивание величин сигналов в измерительных каналах системы. В результате

Рис. 3. Спектральное распределение плотности потока Яя прямого солнечного излучения за верхней границей земной атмосферы (1) и на уровне моря (2) в сравнении с излучением абсолютно черного тела (АЧТ) с температурой 6000K (3)



принятия условий (5) и (6) оказалось возможным обеспечить базовую величину $b_j = i, \dots, 5 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ км}$.

Схема сканирования и сканирующее устройство. В МСС выбор схемы сканирования определяется принимаемой траекторией сканирования исследуемого поля яркости, складывающейся из движения ИСЗ и пространственного перемещения визирного луча, производимого сканирующим устройством системы.

Руководствуясь начальным условием — построчный вариант анализа яркостного поля — в системе «Фрагмент» из двух возможных траекторий сканирования (прямострочная и коническая), которые, как показал анализ [2], приблизительно равноценны, окончательный выбор был сделан в пользу прямострочной траектории. На принятие окончательного решения повлияли некоторые особенности компоновки системы «Фрагмент» на ИСЗ «Метеор» и тип регистраторов, используемых при наземных операциях с получаемыми данными.

Прямострочная траектория сканирования характеризуется в общем случае условием постоянства линейной скорости перемещения мгновенного поля зрения, а также постоянным азимутальным углом плоскости сканирования. Перспективные искажения линейного мгновенного поля зрения переменны вдоль строки, но диапазон их изменений при $9^\circ \sim 15^\circ$ (β — текущее значение угла визирования) невелик, составляя $\sim 3,5\%$ для β и $< 6,5\%$ для β_* . Изменение оптического пути в атмосфере при визировании центра и краев полосы обзора пропорционально $\cos^3 Q$ и для ($i=30^\circ$ составит менее $3,5\%$).

Реализация выбранной траектории возможна, вообще говоря, в множестве самых различных схем оптико-механического сканирования, исполь-

зующих либо вращение или колебания отдельных оптических элементов,, либо предусматривающих необходимые перемещения приемной оптической системы. Однако по причинам конструктивного порядка рассматривались лишь схемы сканирования, основанные на применении зеркальной оптики, без вовлечения в процессе сканирования всей системы.

С точки зрения расположения сканирующего элемента (СЭ) в схеме были рассмотрены два варианта: размещения афокального СЭ в сходящихся пучках за приемной оптической системой или использование в качестве СЭ одного из ее компонентов, в том числе и имеющего оптическую силу; размещение афокального СЭ в параллельных пучках перед приемной оптической системой.

Первый вариант априори выглядит достаточно компактно, однако при его реализации существенно возрастает кружок рассеяния. Это увеличение в первую очередь обусловлено влиянием полевых aberrаций, так как поле зрения приемной оптической системы в этом случае должно полностью перекрывать полосу обзора шириной L_y , а также дефокусировкой при перемещениях СЭ.

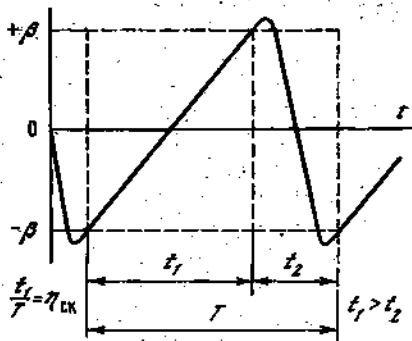


Рис. 4 Диаграмма углового перемещения визирного луча системы

Во втором варианте построения схемы сканирования увеличение размера кружка рассеяния возможно только за счет искажении формы СЭ и при достаточно жестких требованиях к качеству его отражающей поверхности может быть минимизировано. В этом варианте возможно в принципе использование нескольких основных типов афокальных СЭ. Сравнение таких схем между собой, использующее в качестве основного критерия величину $\tau_{\text{ск}}$ и размеры СЭ, было проведено в [2] в пользу одногранного-осциллирующего зеркала, привод которого реализует квазипилообразный (ilcK^OjS) периодический закон движения.

Такое сканирующее устройство для описываемой системы было реализовано в виде металлостеклянного зеркала и магнитоэлектрической колебательной системы, состоящей из связанной со сканирующим зеркалом рамки, помещенной в постоянное магнитное поле статора, и регулятора величины электрического тока в рамке и обеспечивающей при перемещении зеркала по выбранной траектории величину $T_{\text{ск}} \sim 0,65$ (рис. 4).

Измерительный видеотракт. В процессе получения космической видеoinформации с помощью MCG исходная ее форма претерпевает неоднократные преобразования (излучение — ток — напряжение и т. д.), что постепенно-снижает точность описания из-за наличия и накопления погрешностей в отдельных преобразующих звеньях измерительной системы. Это обычно происходит до тех пор, пока не осуществляется собственно процесс измерения, т. е. сравнение электрического промежуточного сигнала с мерой и получение именованного числа (кодированного сигнала). Кодированный сигнал, являясь более помехоустойчивым, чем аналоговое представление видеoinформации, позволяет при определенных условиях неоднократно регенерировать исходную форму сигналов, устраняя тем самым влияние погрешностей последующих звеньев. На результаты измерений. Следовательно, организовав процесс измерения на борту, можно свести к минимуму количество преобразующих звеньев измерительного видеотракта, увеличивая тем самым точность измерения исходной информации и улучшая условия ее передачи на Землю.

Таким образом, основной задачей видеотракта МСС является преобразование измеряемых величин яркостей в эквивалентные числовые значе-

ния. Этот процесс в системе «Фрагмент» реализуется с помощью последовательных операций в следующих преобразователях: оптическом линейном масштабном преобразователе (приведенная оптическая система — НОС); пространственно-временном оптическом преобразователе (сканирующий элемент и анализирующая диафрагма); оптическом селекторе (волоконно-оптический разветвитель и полосовые спектральные фильтры); фотоэлектрическом линейном масштабном преобразователе (приемник излучения и усилитель постоянного тока — ФПУ); аналого-цифровом преобразователе (АЦП).

$$r_0/\delta' \leq 0,125, \quad (7)$$

где m_* — условный радиус кружка рассеяния, при котором плотность энергии, аппроксимируемая гауссоидой, падает в e раз относительно значения, соответствующего центру кружка.

В соответствии с изложенным ДОС системы «Фрагмент» реализована Народным предприятием «Карл Цейсе Йена» (ГДР) в виде объектива Кассегрена с кольцевым входным зрачком диаметром $D_x = 0,24$ м и фокусным расстоянием $f = 1$ м, обладающим на $A = 0,5$ мкм кружком рассеяния $4_g \cdot 30 \sim 10^{-6}$ МКМ $\leq 6 \cdot 10^{-6}$, 2, 3, 4 $\sim 10^{-6}$ мкм, т. е. Удовлетворяющим условию (7) * Для остальных спектральных интервалов условие (7) также выполняется, поскольку возрастание размера кружка с длиной волны определяется оговоренным выше возрастанием мгновенных полей зрения системы. Отражающие поверхности ПОС алюминированы. В ПОС введено также устройство термокомпенсации, устраняющее расфокусировку ПОС в диапазоне температур $-40 \cdot +20^\circ \text{C}$.

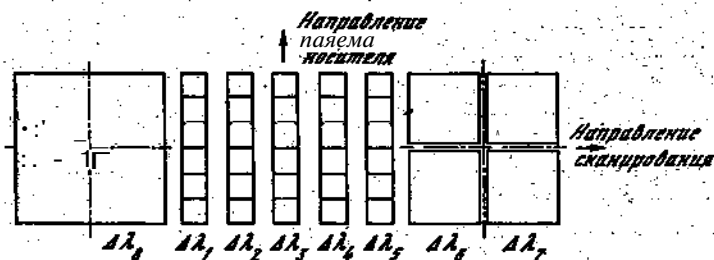


Рис. 5. Форма мгновенного поля зрения системы

Мгновенное поле зрения МСС в общем случае может быть образовано расположенными в направлении x — направлении полета носителя ттг — анализирующими диафрагмами. Эта мера позволяет в m раз снизить линейную скорость поперечного перемещения поля зрения при сканировании Y , а следовательно, и частоту сканирования F_c но ведет к увеличению числа приемников излучения в ттг раз.

В описываемой системе мгновенное поле зрения представлено матрицей квадратных анализирующих диафрагм (рис. 5), состоящей из m столбцов (по числу спектральных интервалов чувствительности МСС), каждый из которых содержит n анализирующих диафрагм. При этом количество $m \cdot n$ и размеры b анализирующих диафрагм в различных спектральных каналах не равны, но подчиняются закономерности

$$\delta / \gamma_i = \dots = \delta_j' m_j = \dots = 0 n^{-1} \gamma_i n_i, \quad (8)$$

а именно $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = \gamma_5 = 6$; $m_0 = m_1 = 2$; $\gamma_1 = 1$. Исходная для выполнения условия (8) величина $n = 6$ для $i = 1, \dots, 5$ была выбрана по методике, описанной в [6].

Для такого матричного мгновенного поля зрения видеосигнал каждого спектрального интервала, соответствующий одной и той же точке исследуемой поверхности, сдвинут во времени относительно видеосигнала в первом спектральном интервале на величину

$$\Delta t_j = \Delta \delta_j / V_n, \quad (9)$$

где $\Delta \delta_j$ — расстояние по оси g между центрами анализирующих диафрагм первого и j -го спектральных интервалов чувствительности.

Оптический селектор. Основной функцией этого звена является выделение из сформированного приемным оптическим трактом потока $\Phi(X, 1)$ излучения требуемых спектральных интервалов и перенос его к приемникам излучения соответствующих измерительных каналов. В системе «Фрагмент» оптический селектор выполнен по схеме с отдельной спектральной и пространственной селекцией, для чего использован волоконно-оптический разветвитель, входные торцы световодов которого образуют матрицу анализирующих диафрагм и необходимое качество полосовых спектральных фильтров. Разветвитель представляет собой жесткую пространственную конструкцию, организованную таким образом, что при общей минимизации длин световодов с целью сокращения светопотерь, длины световодов, стыкуемых с определенными спектральными полосовыми фильтрами и приемниками излучения, распределены в порядке, соответствующем порядку распределения величин яркости диска Солнца ($T_c \approx 6000K$) в спектральных интервалах чувствительности системы. Такая конструктивная мера позволяет улучшить энергетическое выравнивание сигналов в измерительных каналах.

Фотоэлектрический линейный масштабный преобразователь (ФПУ) выполняет функции преобразования поступаю-

шего с входа селектора потока $\Phi/(A, I)$ в электрический сигнал, ограничения полосы частот и электрического масштабного преобразования для согласования с кодирующим звеном (АЦП). Характер преобразований описывается абсолютной спектральной чувствительностью приемника лучистой энергии (ПЛЭ) $\xi_{плэ}(A)$, определяемой как отношение, реакции $I_{плэ}(X)$ приемника на воспринимаемый им монохроматический поток к величине $\Phi(Y)$ этого потока

$$g_{плэ}(\lambda) = u_{плэ}(\lambda) / \Phi(\lambda)$$

и совместной временной передаточной функцией $k(\omega)$.

Таким образом, общие принципы подбора приемников излучения для описываемой системы не отличались от общепринятых. Для работы в интервалах $\lambda = 1, \dots, 4$ использованы фотоэлектронные умножители ФЭУ-114, для $\lambda = 5$ - ФЭУ-112, для $\lambda = 6, 7$ - фотодиоды ФД-8, для $\lambda = 8$ - фоторезистор ФС-2АН.

Измерительное устройство. Процесс преобразования электрического сигнала ФПУ в соответствующее ему условное числовое значение в системе «Фрагмент» осуществляется с помощью АЦП. Условность результата устраняется путем градуировки прибора.

Известно, что связь между измеряемой яркостью B и ее числовым представлением на выходе идеального измерительного устройства может быть осажена следующей зависимостью:

$$N_{ix}kB, \quad (10)$$

где N — выходной код; k — коэффициент преобразования.

На практике числовые значения, получаемые в результате рассмотренных преобразований, отличаются от истинного значения на величину погрешности системы. Погрешность включает в себя две составляющие: случайную, зависящую от шумов, помех и т. д., и систематическую, зависящую от изменений масштаба и нелинейности преобразования видеотракта, а также дрейфа его нулевого уровня [4].

Достижение допустимой величины случайной погрешности измерений, являющейся одним из заданных съемочных параметров системы «Фрагмент», осуществляется реализацией метрологических характеристик ее звеньев, обеспечивающих необходимое соотношение сигнала и шумов в измерительном видеотракте.

Реальным методом уменьшения систематических погрешностей измерительного видеотракта является использование информации, которая может быть получена при преобразовании эталонного, заранее известного входного сигнала. Действительно, если ввести в общем случае два опорных излучателя с известными яркостями $B_1^{on}(K)$ и $B_2^{on}(K)$, то по соответствующим им реакциям N_1^{on} и N_2^{on} можно в предположении линейности характеристики преобразования определить параметры k_j и N_{oj} характеристики преобразования решением простейшей системы уравнений вида

$$N_{1j}^{on} = \bar{B}_{1j}^{on} k_j' + N_{oj}; \quad N_{2j}^{on} = \bar{B}_{2j}^{on} k_j' + N_{oj}, \quad (11)$$

где $J_{ij}^{on} = B_j^{on}(K)$ и N_j — код фактического нулевого уровня. При этом

Ax_j для области $\lambda < 3,5$ мкм за счет простого перекрытия коммутатором потоков, поступающих на ФПУ, легко реализуется $L_2^{on} = 6$.

В результате возможны два пути решения задачи [4]: 1) введение поправок по результатам преобразования эталонного сигнала, т. е. осуществление коррекции систематических погрешностей;

2) введение системы самонастройки (автокоррекции) в видеотракт, при которой за счет обратной связи, охватывающей либо отдельные звенья, либо весь измерительный тракт, систематические погрешности минимизируются.

Процесс коррекции систематических погрешностей обычно сводится к трем операциям: получению информации о характеристиках видеотракта по результатам преобразования эталонного входного сигнала; нахождению погрешности видеотракта; введению поправок в результаты измерений исследуемого излучения.

Получение информации о состоянии видеотракта в МСС возможно только периодически, во время пассивных участков сканов. На это время с помощью коммутатора исследуемое излучение заменяется излучением эталонного источника. Основным недостатком такого метода является потеря информации о характеристиках видеотракта на время активной части скана, что может иногда приводить к появлению погрешности на этом временном интервале. Однако при относительно высоких частотах сканирования и определенной временной стабильности параметров измерительного видеотракта этими погрешностями можно пренебречь.

Общими недостатками методов коррекции систематических погрешностей являются либо большие временные затраты, либо весьма сложные аппаратные решения. Поэтому эти методы обычно реализуются на Земле и целесообразны в том случае, если в состав системы сбора и обработки аэрокосмической видеоинформации входит ЭВМ.

Использование методов самонастройки измерительного видеотракта требует введения в его состав дополнительных регулируемых элементов, обеспечивающих такое воздействие на передаточные функции отдельных узлов тракта, при котором происходит уменьшение систематических погрешностей при любом виде возмущающего воздействия в любом значении измеряемого излучения. В отличие от методов коррекции систематических ошибок, которые основаны на информационной избыточности измерительного тракта, методы автокоррекции свободны от этого недостатка. Позволяя повысить точность измерений, методы автокоррекции в то же время допускают значительно более низкие требования к входящим в состав видеотракта основным элементам, к точности их регулирования и настройки. Выигрыш достигается за счет увеличения состава оборудования, т. е. аппаратной избыточности видеотракта. Но, в конечном счете, использование методов автокоррекции часто приводит к улучшению габаритно-весовых показателей и надежности работы измерительного тракта в связи с исключением из схем нетиповых прецизионных элементов. Особое значение эти методы имеют при построении измерительных систем в микроминиатюрном исполнении, широкого использования в них интегральных схем, а также для построения преобразующих систем на неточных, но надежных элементах.

Практическая реализация автокоррекции возможна как с помощью аналоговых, так и цифро-аналоговых устройств. Вполне очевидно также, что для реализации периодической автокоррекции необходимо иметь запоминающие устройства для хранения сигнала ошибки на время, проходящее между циклами автокоррекции.

На рис. 6 приведена структурная схема цифро-аналоговой автокоррекции систематических погрешностей, обусловленных дрейфом нулевого уровня и изменением масштабных коэффициентов преобразования видеотракта. Основная особенность этой схемы заключается в охвате видеотракта в целом, что создает определенные преимущества. Кроме того, цифро-аналоговые устройства автокоррекции позволяют реализовать более высокие точностные характеристики при использовании стандартных элементов.

В соответствии с изложенными взглядами в измерительный видеотракт системы «Фрагмент» введены (рис. 1) оптико-механический коммутатор; опорный излучатель с рабочей и эталонной группами источников света, относительная спектральная характеристика излучения которых приближенно имеет цветовую температуру $T_c = 6000$ К; цепь компенсации, охватывающая блок кодирования и фотопреобразующие звенья и

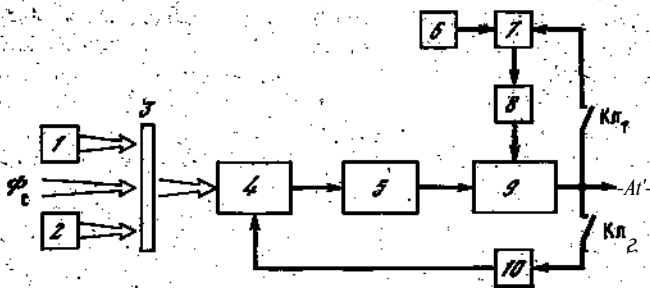


Рис. 6. Структурная схема измерительного видеотракта с автоматической цифро-аналоговой коррекцией систематических погрешностей:

1, 2 — образцовые источники излучения; 3 — оптический коммутатор; 4 — фотоприемные устройства; 5 — устройство обработки сигналов; 6 — цифровой эквивалент образцового излучения; 7 — корректор масштаба преобразования; 8 — источник опорного напряжения; 9 — аналого-цифровой преобразователь; 10 — цифро-аналоговый корректор нулевого уровня; $\text{Ю}^{\wedge}$ и КЛ_2 — электронные ключи

осуществляющая за счет компенсации дрейфа нулевого уровня и изменения крутизны преобразования автокоррекцию вносимых аппаратных: мультипликативных и аддитивных погрешностей, причем корректирующие сигналы управления есть функция величины отклонения темнового сигнала и сигнала опорного излучателя от нулевого и опорного уровней соответственно. Поскольку скорость дрейфа параметров kS и IV_j за счет ФПУ значительно выше, чем за счет изменения оптических свойств СЭ и ПОС, опорный излучатель и коммутатор оказалось возможным разместить после указанных оптических элементов.

Таким образом, измерительный видеотракт системы «Фрагмент» работает следующим образом. Восходящее от земной поверхности излучение поступает на сканирующее зеркало (рис. 1), собирается объективом и фокусируется на являющихся анализирующими (полевыми) диафрагмами входных торцах световодов волоконно-оптического разветвителя. Световодами излучение передается на полосовые спектральные фильтры. Отфильтрованное излучение преобразуется, фотопреобразующими звеньями в электрические сигналы, пропорциональные яркости визируемого участка земной поверхности в выделенном спектральном интервале, к которым трансформируются в устройстве кодирования и поступают в систему передачи данных. Изменением положения сканирующего зеркала, движимого приводом, мгновенные поля зрения устройства, определяемые конфигурацией и размерами анализирующих диафрагм (рис. 5), перемещаются поперек направления полета носителя таким образом, что собранных о яркости земной поверхности происходит только при движении в одном (рабочем) направлении за время $\wedge$ (см. рис. 4). Реверсирование движения зеркала и его возврат в исходное положение происходят в отрезок времени $\wedge$ составляющий меньшую часть полного времени скана T . В этот же отрезок времени t оптико-механический коммутатор 4 вначале перекрывает поток излучения, подающий на входные торцы световодов волоконно-оптического разветвителя, а затем заполняет их излучением опорного излучателя, спектральная плотность энергетической яркости которого подобна спектральной плотности энергетической яркости Солнца*. Выработанные фотопреобразующими звеньями электрические сигналы, соответствующие $\wedge$ периодам затемнения и измерения интенсивности опорного излучения, трансформируются в устройстве кодирования и сравниваются соответственно с нулевым и фиксированным опорным уровнем сигналов. Величины рассогласования сравниваемых сигналов с указанными уровнями используются для управляющих сигналов в цепи обратной связи, воздействующих на положение нуля и крутизну преоб-

разования фотопреобразующих звеньев таким образом, чтобы рассогласование было исключено, и тем самым осуществляющих автокоррекцию аппаратурных мультипликативных и аддитивных погрешностей видеотракта.

Рассмотренные выше технические решения, нашедшие воплощение в МСГ «Фрагмент», в целом позволили реализовать сочетание основных ее параметров, приведенных ниже.

Ширина полосы обзора, км	85
Темп съемки, км ³ /с	590
Полная информативность, бит/с	5,6-10»
Общее число каналов, шт	35
Площадь входного зрачка, см ²	358
Масса, кг	280
Энергопотребление, Вт	220
Габаритные размеры, мм	1660x1440x730

Съемочные характеристики системы «Фрагмент» для выбранных спектральных штервалов приведены в таблице.

Результаты натурного эксперимента на ИСЗ «Метеор» в целом подтвердили рациональность принятых технических решений, реализованных

Характеристики многоспектральной сканирующей системы «Фрагмент»

Характеристики	Рабочие спектральные интервалы, мкм.							
	0,4-0,7	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,1	1,2-1,3	1,5-1,8	2,1-2,4
Верхний предел измеряемой яркости, Вт·см ⁻² ·ср ⁻¹ ·мкм ⁻¹	320	320	270	210	133	70	33	13,3
Относительная среднеквадратичная погрешность измерений, %	1,5	1,9	1,8	2,5	3,3	5	7	
Мгновенные ноля зрения, рад·ДО ^{мб}	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,39	0,39	0,78
(Линейный размер мгновенного поля зрения в х надире, м (H — 630 км)	80	80	80	80	80	240	240	480
Информативность общая, бит/с·10 ⁸	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,32	0,32	0,16
Информативность видео, бит/с·10 ⁸	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,21	0,21	0,10

в МСГ «Фрагмент». Поставленная научно-техническая задача — разработка измерительной МСС, предназначенной для решения различных долговременных и оперативных, поисковых и предупредительных, хозяйственных и научных задач — выполнена. На наземных приемных пунктах, не оборудованных специальной вычислительной аппаратурой для коррекции видеоинформации, удалось осуществить оперативный визуально-инструментальный анализ поступающих данных. Реализованная точность позволяет автоматизировать процессы обработки космической видеоинформации, используя средства вычислительной техники, выпускаемые промышленностью [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аванесов Г. А. Оперативные средства получения космической видеоинформации оптического диапазона.—В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1975, с. 24-34.
2. Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Тарнопольский В. И. Разработка специализированной оптико-электронной системы оперативного сбора многоспектральной видеоинформации о поверхности Земли.—В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 58-76.

3. *Аванесов Г. А., Баранов И. В., Глазков В. Д. и др.* Моделирование космического эксперимента с помощью самолетной лаборатории.—В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1975, с. 280-290.
4. *Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Ходарев Ю. К.* Принципы построения измерительного видеотракта.—В кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1975, с. 56-80.
5. *Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Ходарев Ю. К.* Техника тематической автоматизированной обработки видеоинформации — В' кн.: Космические исследования земных ресурсов. М.: Наука, 1975, с. 179-188.
6. *Тарнопольский В. Я.* Некоторые вопросы проектирования спутниковых многоспектральных систем оптического сканирования - В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 76—87.
7. *Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Сычев А. Г., Тарнопольский В. И.* Метрологическое* обеспечение измерений яркости земной поверхности многозональной сканирующей системой «Фрагмент»,— В этом номере журнала.

Институт космических
исследований АН СССР,
Москва

Поступила в редакцию-
12.VI.1981

THE «FRAGMENT» MULTISPECTRAL SCANNING SYSTEM

AVANESOV G. A., GLAZKOV V. D., ZIMAN Ya. L., IGNATENKO S. A.;
KURMANALIEV T. I., MURAV'EV V. M., ROZHAVSKIY E. I.,
TARNOPOL'SKIY V. I., PUX V. I., SHCHERBAKOV V. V.

Brief basing of engineering solutions implemented in the «Fragment» multispectral scanning system is given. Its main parameters are presented. On the base of the «Meteor» onboard experiment conclusion is made on adequate meeting scientific and engineering goals.

ОДК 528.727

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ И РЕГИСТРАЦИИ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ И ИХ РЕШЕНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ФРАГМЕНТ»

БОГОМОЛОВ А. Ф., ПОПОВ С. М., СМОЛЯННИКОВ Ю. Д.,
СТЕПИН А. В.

Продолжается значительное возрастание потоков информации в аэрокосмических системах исследования природных ресурсов Земли. Это происходит в связи с повышением разрешающей способности оптических, радиолокационных и радиометрических систем, с повышением детальности и увеличением площади обзора, с применением нескольких спектральных или поляризационных каналов и комплексированием аппаратуры для одновременного получения возможно более полной информации о Земле:

В ближайшем будущем планируется создание исследовательских комплексов с суммарными информационными полосами (по видеочастоте) до 10—40 МГц. Передача данных дистанционного зондирования со спутника на наземные пункты приема может быть осуществлена по радиоканалу, использующему аналоговый или цифровой метод. По сравнению с аналоговыми цифровые системы требуют расширения полосы занимаемых в эфире частот и повышения быстродействия передающих, приёмных и регистрирующих устройств.

Однако цифровая передача имеет ряд важных преимуществ как общего плана (большая технологичность и надежность аппаратуры, простота сопряжения с цифровыми вычислительными машинами), так и специфических (информационных). К достоинствам цифровой передачи относятся: малая чувствительность к эффекту накопления помех и искажений в трактах усиления, передачи, приема, запоминания и ретрансляции сигналов; информационная гибкость, заключающаяся в простоте объединения различных независимых источников данных (в том числе несинхронных), возможности обмена точности на скорость передачи и т. д.

Основным показателем эффективности радиолинии является ее экономичность по мощности и по полосе занимаемых в эфире частот, затрачиваемых на единицу информации, при заданной достоверности передачи. «Сопоставление аналоговых и цифровых методов по этим критериям проводилось неоднократно и наиболее наглядно может быть представлено на так называемой диаграмме Сандерса (рис. 1) [1]. Как видно, цифровой канал с фазовой манипуляцией несущей частоты обеспечивает высокую экономичность бортового передатчика, а по занимаемой в эфире полосе частот лишь незначительно проигрывает оптимальному по этому критерию аналоговому каналу с амплитудной модуляцией.

Расчеты показывают, что применительно к объекту типа «Метеор» канал связи с пропускной способностью порядка 100 Мбит/с должен иметь передающее устройство на борту объекта мощностью несколько десятков Вт при использовании наземных антенн с эффективной площадью порядка 25—100 м². Наличие дешевых и надежных антенн типа «Юрбита» с эффективной площадью порядка 50 м², бортовой и наземной

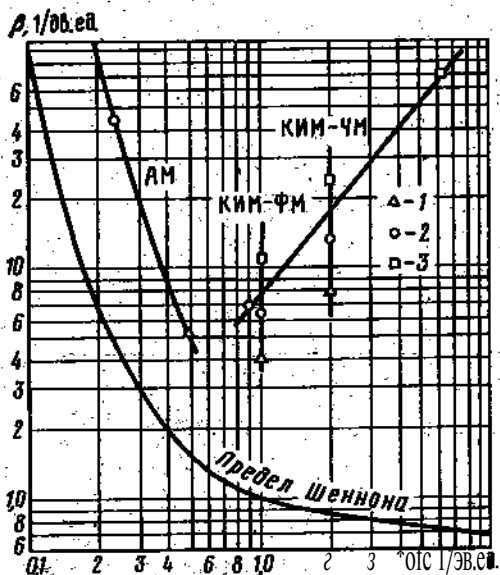


Рис. 1. Зависимость удельного расхода энергии сигналов ($\wedge$) от удельной полосы частот a . (на двоичную единицу информации) для заданного качества передачи: ЛМ — амплитудная модуляция; ЧМ — частотная модуляция; КИМ-ФМ, КИМ-ЧМ — цифровая (кодо-импульсная) модуляция* с фазовой и частотной манипуляцией несущей частоты. *1 — средняя квадратическая погрешность 10^{-3} ; 2 — средняя квадратическая погрешность 10^{-2} ; 3 — средняя квадратическая погрешность 10^{-1} .

аппаратуры цифровой передачи, разработанных в ОКБ Московского энергетического института Минвуза СССР, позволяет уже в настоящее время обеспечить реализацию радиолиний с требуемым для задач дистанционного зондирования быстродействием.

Модельная проверка основных аппаратурных решений, предусматриваемых в перспективных комплексах передачи научной информации, была осуществлена при проведении эксперимента «Фрагмент» в аппаратуре «Фрагмент-РЛ». В ней использовалось временное уплотнение информации, обеспечившее передачу 4–6 спектральных диапазонов в едином цифровом потоке. Скорость передачи данных была около 4 Мбит/С; Применение наиболее помехоустойчивого вида модуляции (фазовая манипуляция несущей частоты на $\pm 90^\circ$), направленной бортовой и высокоэффективной наземной антенн обеспечило высокий энергетический потенциал канала связи. На рис. 2 представлена структурная схема, а на рис. 3 — общий вид аппаратуры в пункте приема информации. Прием радиосигнала производится антенной с эффективной площадью порядка 50 м^2 в дециметровом диапазоне волн. Антенна наводится на объект с помощью программного устройства по целеуказаниям, получаемым от ГосНИЦИЛР.

После антенного усилителя с шумовой температурой порядка 300 К сигнал переносится на промежуточную частоту, на которой осуществляется основное усиление; селекция и синхронное детектирование сигнала. Восстановление опорного напряжения для синхронного детектирования осуществляется схемой с удвоением несущей и применением системы фазовой автоподстройки для улучшения фильтрации входного сигнала в условиях воздействия шумов. Параметры схемы восстановления опорного напряжения выбраны таким образом, чтобы обеспечить безнастроечное входение в связь при всех возможных нестабильностях несущей частоты передающего устройства и гетеродинов приемных устройств и не ухудшать при этом помехоустойчивость приема ФМ-сигнала при наличии флюктуационных помех.

С выхода синхронного детектора видеосигнал поступает на вход устройства синхронизации и обработки сигнала* где происходит выделение частоты следования символов и оптимальная последетекторная обработка видеопульсов кода путем: цифрового интегрирования сигнала за время, равное длительности символа. Устройство синхронизации произ-

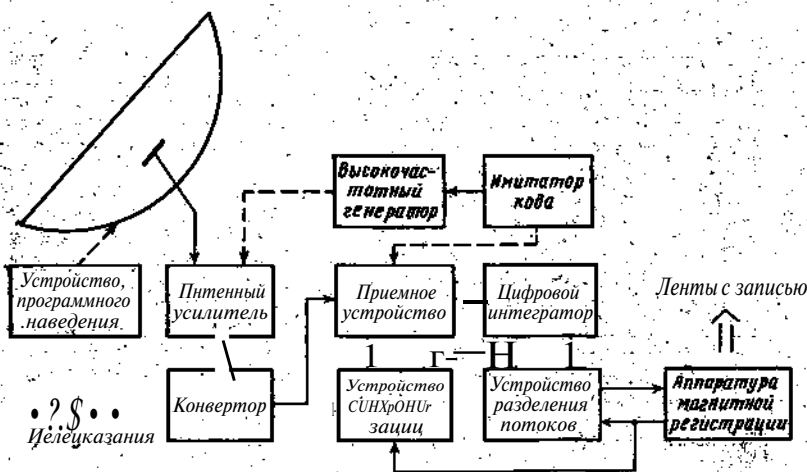


Рис. 2. Структурная схема аппаратуры «Фрагмент-РЛ»

Вводит выделение специальных маркерных посылок системы «Фрагмент» и с их помощью обеспечивает распределение информации на четыре отдельных потока по 960 кбит/с в каждом для организации записи на аппаратуре магнитной регистрации. Сигналы, маркерных посылок служат также для устранения «неоднозначности», присущей каналам связи с фазоманипулированными сигналами.

В состав приема-преобразующей аппаратуры входит контрольно-испытательное оборудование, дающее возможность проверить работоспособность всего наземного комплекса, (включая антенну) перед сеансом связи, а во время сеанса оценить качество принимаемого сигнала.

Ниже приводятся основные технические данные цифровой радиолинии «Фрагмент-РЛ»:

Скорость передачи информации	3,840 кбит/с
Вид модуляции в радиоканале	ФМ
Мощность бортового передающего, устройства	5 Вт
Эффективная площадь приемной антенны	не менее 50 м ²
Коэффициент направленности передающей антенны	около 2
Реализованная дальность приема	3000 км
Энергетический запас над пороговым уровнем на дальности 2000 км	не менее 10 дБ

Дальнейшее повышение пропускной способности радиолинии может быть достигнуто переходом на двукратное фазовое уплотнение канала. На базе созданных средств с частичной заменой блоков возможно построение цифрового канала связи с быстродействием до 80—100 Мбит/с.

При проведении эксперимента «Фрагмент» решались также задачи отработки методов записи цифровой многозональной видеоинформации и выработки рекомендаций по построению наземных технических средств магнитной регистрации в перспективной системе оперативного изучения Земли из космоса [2]. Выше были отмечены преимущества цифровой передачи видеоинформации с космических объектов. Как и в радиоканале, применение цифровых методов в аппаратуре магнитной регистрации позволяет достичь высоких качественных показателей и стабильности характеристик тракта, отсутствия увеличения помех при многократных перезаписях и хранении, дает возможность компенсировать временные искажения, возникающие вследствие неравномерности скорости движения ленты.

Однако при цифровых методах требуется в 10—30 раз более широкая полоса канала записи-воспроизведения, чем при регистрации в аналоге-

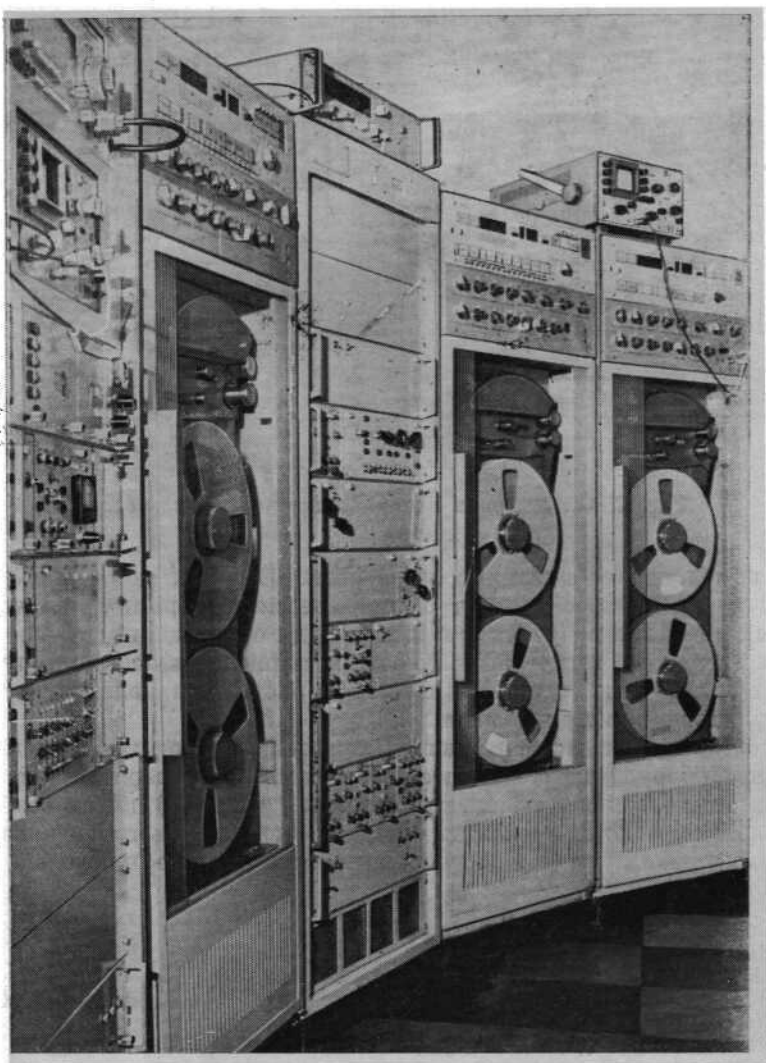


Рис. 3. Аппаратура приема и регистрации «Фрагмент-РЛ»

вой форме. Это приводит к тому, что, например, для записи одного сеанса связи системы «Фрагмент» при использовании методов цифровой записи, применяемых в ЭЦВМ, потребовалось бы 14 км ленты при скорости транспортирования 15 м/с. Если учесть, что уже в недалеком будущем можно ожидать дальнейшего увеличения информационных цифровых потоков, то становится ясно, что широко применяющимися сегодня методами записи цифровой информации нельзя решить задачу регистрации в темпе приема.

Создание устройств магнитной регистрации, использующих цифровые методы записи с высокой эффективностью использования ленты и имеющих информационную полосу до 100 Мбит/с и более, представляет собой сложную научно-техническую задачу. На начальном этапе эксперимента «Фрагмент» был системно рассмотрен весь комплекс вопросов этой задачи с учетом реальных достижений и перспектив развития теории, технологии, техники и материаловедения. Были сформулированы и взаимно согласованы требования к системе магнитной регистрации в целом и к ее* Составным частям.

Особенностью разработки системы магнитной регистрации в рамках эксперимента «Фрагмент» явилась также необходимость информационного сопряжения вновь разрабатываемых устройств с устройствами, находящимися у потребителей информации, имеющими различное быстродействие/структуру входных сигналов и размещение информации на магнитной ленте.

На рис. 4 приведена функциональная схема системы магнитной регистрации «Фрагмент-Р Л». В состав системы входят: 1) магнитное запоминающее устройство высокого быстродействия МЗУ-В (Н2СЗ-Ф) с информационной полосой от 16 до 1,6 Мбит/с; 2) магнитное запоминающее устройство среднего быстродействия МЗУ-С (Н2G1) с информационной полосой при записи от 5,1 Мбит/с до 176 кбит/с; 3) магнитное запоминающее устройство малого быстродействия МЗУ-М с информационной полосой от 900 до 56 кбит/с; 4) устройство формирования и коммутации сигналов (УФК).

Информация в цифровой форме после приема и выделения синхросигналов поступает на УФК. В режиме приема со спутника информация <с УФК транслируется одновременно на два магнитных регистратора (МЗУ-В), обеспечивающих непрерывную запись в последовательном режиме включения. После приема и регистрации потока данных осуществляется перезапись с МЗУ-В на магнитный регистратор МЗУ-С. Пере^ запись необходима для согласования информационных каналов системы ч<Фрагмент-РЛ» и устройств ввода в ЭВМ, имеющих различную пропускную способность. Сигналы с МЗУ-С передаются на вычислительные центры потребителей для обработки информации.

В случае использования при оперативном контроле фоторегистратора механической разверткой, имеющего, малое быстродействие, применяется еще одна перезапись информации на МЗУ-М, с которого так же, как и с МЗУ-С, через интерфейсные устройства информация может вводиться в ЭВМ. Основные информационные сечения приведены на функциональной схеме рис. 4.

Для обеспечения информационных характеристик МЗУ-В типа Н2СЗ-Ф и МЗУ-С типа Н2G1 был разработан унифицированный лентопротяжный механизм с системами автоматического регулирования и бесконтактным приводом в диапазоне скоростей от 0,25 до 8 м/с. Предложенная схема транспортирования обеспечивает при совместной работе с прибором цифровой компенсации временных искажений устранение влияния неустойчивости движения магнитной ленты на параметры выходного сигнала и может работать без промежуточных буферных устройств с фоторегистраторами, имеющими электронную или механическую развертку строки с высоким быстродействием.

Для магнитного запоминающего устройства среднего быстродействия Н2G1 был применен широко распространенный метод записи без возвращения к нулю — БВН-М, позволивший получить хорошую информационную гибкость.

Основные технические характеристики, перечень функциональных систем и сервисного оборудования магнитного запоминающего устройства среднего быстродействия Н2G1 приведены ниже:

Скорости транспортирования магнитной ленты, м/с	0,25; 0,38; 0,5; 0,76;
Количество каналов записи	1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 8
Плотность записи, бит/мм	24
Ширина магнитной ленты, мм	32
Тип применяемой магнитной ленты	25,4
Емкость катушек для магнитной ленты, м	И4406—25
Максимальная скорость регистрации, Мбит/с	2200
Габариты, мм	5,1
	1672x565x648

Имеются встроенные системы автоконтроля, осциллографического контроля, командно-программное устройство, компенсатор ошибок измерительной информации, компенсатор ошибок тактовой синхронизации, канал записи речевого сопровождения. Предусмотрена возможность дистанционного управления режимами работы стойки и дистанционного получения сигналов исполнения команд.

Разработано следующее сервисное оборудование: стационарный пульт управления, обеспечивающий взаимодействие двух или трех стоек Н2С1 в режиме непрерывной последовательной регистрации и перезаписи; переносной пульт дистанционного управления; прибор для настройки и контроля функционирования стойки; прибор размагничивания магнитных лент на катушках; прибор для подготовки магнитных лент к работе, хранению и их очистки; прибор компенсации временных искажений, возникающих из-за неравномерности движения ленты при воспроизведении информации.

Для решения различных задач на базе стоек Н2С1 может быть организована автономная система магнитной регистрации, имеющая достаточно высокие информационные и эксплуатационные характеристики.

При разработке магнитного запоминающего устройства высокого быстродействия МЗУ^А-В типа Н2СЗ-Ф основная научно-техническая проблема заключалась в создании канала записи — воспроизведения цифровой информации, обеспечивающего регистрацию 1000—2000 бит/мм² при достоверности не хуже 10⁻⁷ и быстродействии до 5—10 Мбит/с. Были рассмотрены различные варианты применения аналоговых систем записи. В работе [3] приведен анализ точностных характеристик аналоговых методов записи и показано, что метод ЧМ-записи имеет достаточно хорошие характеристики. При реализации этого метода в рамках эксперимента «Фрагмент» с регистрацией по отдельной дорожке информации каждого спектрального диапазона скорость транспортирования ленты составляла бы 1,5 м/с. Однако присущие ЧМ-методу записи недостатки заставили от него отказаться. Они в основном заключаются в следующем:

- возникновение временных отклонений в сигнале вследствие колебаний скорости движения ленты при записи и воспроизведении приводит к геометрическим искажениям изображения;

- возникновение временных рассогласований между информацией спектральных диапазонов, записываемых по различным дорожкам, из-за динамических перекосов ленты, возникающих при транспортировании, приводит к понижению разрешающей способности детального спектрального анализа;

- малый динамический диапазон воспроизводимого сигнала.

Другой метод записи, позволяющий уменьшить быстродействие системы магнитной регистрации^А предложен в работе [4] и основан на одном из способов сокращения избыточности исходной информации. Примерно двукратное уменьшение скорости записи достигается применением дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ДИКМ) с предсказанием по предыдущему элементу, когда передается только разность между текущим и предыдущим значением яркости изображения. Однако применение ДИКМ приводит к тому, что одиночная ошибка ведет к искажению последующей группы элементов, т.е. происходит размножение ошибок до конца строки. Этот эффект приводит к нежелательным искажениям видеоинформации. Для устранения влияния ошибок при ДИКМ необходимо повышать достоверность в канале передачи данных на два-три порядка дальнейшим повышением мощности бортового передатчика или введением избыточного кодирования.

Учитывая вышеизложенное, на этапе проведения эксперимента «Фрагмент» для магнитного запоминающего устройства высокого быстродействия Н2СЗ-Ф был выбран метод многоканальной цифровой записи и

реализованы следующие технические характеристики:

Количество каналов записи — воспроизведения	16
Плотность записи	120—160 бит/мм
Частота записи по дорожке	До 1 МГц
Коэффициент трансформации полосы частот при воспроизведении	$\gamma_{\text{с}}/\gamma_{\text{в}}$
Тип ленты	И4406—25

Непрерывная регистрация информации обеспечивается последовательной работой стоек Н2СЗ-Ф и коммутацией каналов записи. Выполнение «следующих этапов работ по МЗУ-В предусматривает увеличение каналов записи — воспроизведения до 40 и разработку новых магнитных головок, а также применение новых перспективных магнитных лент, что обеспечит соотношение сигнал/помеха 25—30 дБ в диапазоне частот до 5—10 МГц.

В качестве МЗУ-М использовался цифровой магнитный регистратор, выпускаемый отечественной промышленностью, со следующими характеристиками:

Скорости транспортирования магнитной ленты, м/с	> 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2
Количество каналов записи	20
Плотность записи, бит/мм	25
Ширина магнитной ленты, мм	25,4
Емкость катушек, м	1000

Опыт проведения эксперимента «Фрагмент» позволяет сделать следующие выводы о работе радиолинии и аппаратуры регистрации.

1. Выбранные принципы построения системы цифровой передачи и магнитной регистрации обеспечили решение научно-технической задачи, поставленной перед экспериментом «Фрагмент».

2. В целом подтвердилась рациональность принятых технических решений и намечены: реальные пути дальнейшего совершенствования аппаратуры цифровой передачи, приема и регистрации данных для перспективных систем изучения Земли из космоса с быстроем действием до 100 Мбит/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сандерс Р. Сравнение эффективности некоторых систем связи. — Зарубежная радиоэлектроника, 1960, № 12, с. 52—76.
- *2. Новый эксперимент по исследованию Земли из космоса. — Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 5-6.
3. Гитлиц М. В. Магнитная запись в системах, передачи информации. М.: Связь, 1978, с. 212-215.
4. Асмус В. В., Мишкина А. А., Ривкин Л. Ю., Тищенко А. П., Шаповалов С. В. Ввод/вывод многозональной видеоинформации с устранением информационной избыточности. — Исслед. Земли из космоса, 1981, № 2, с. 82-86.

Поступила в редакцию
20.V.1981

PROBLEMS OF MULTISPECTRAL DATA DIGITAL TRANSMISSION AND RECORDING AND THEIR SOLVING IN THE «FRAGMENT» EXPERIMENT

BOGOMOLOV A. P., POPOV S. M., SMOLYANNIKOV Yu. D.,
STEPINA V.

Advantages of data transmission digital methods are considered. The «Fragment» receiving and recording devices are characterized and their parameters are described briefly;

УДК 528.7:629.78

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЯРКОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ «ФРАГМЕНТ»

АВАНЕСОВ Г. А., ЗИМАН Я. Л., СЫЧЕВ А. Г.,
ТАРНОПОЛЬСКИЙ В. И.

Современные дистанционные методы исследования Земли в значительной степени опираются на использование количественных методов обработки данных, получаемых с помощью различных съемочных систем (ГС). Таким образом, достоверность результатов исследований оказывается в непосредственной зависимости от измерительных свойств СС [1], определяющих возможность объективного сопоставления результатов измерений, получаемых в различных ситуациях разными СС. Очевидно, что необходимым условием такого сопоставления является соответствующее метрологическое обеспечение.

В понятие метрологического обеспечения измерений мы включаем выбор физической единицы представления результатов измерений, передачу выбранной единицы от воспроизводящего ее эталона к измерительной шкале СС, обеспечение необходимой минимизации суммарной погрешности проводимых измерений по отношению к единице выбранной физической величины.

Рассмотрим реализацию подобного метрологического обеспечения СС оптического диапазона на примере проектирования и радиометрической градуировки многозональной сканирующей системы (МГС) «Фрагмент» [2].

Система «Фрагмент» по принципу действия является радиометром-яркомером, так как ее мгновенные поля зрения при измерениях полностью перекрываются исследуемой поверхностью. Если принять во внимание ничтожный размер телесного угла, под которым входные зрачки СС радиометров-яркомеров, используемых при дистанционных исследованиях Земли, видны с ее поверхности, то очевидно, что в качестве радиометрической величины, количественно определяющей исследуемое с помощью таких СС излучение, нужно взять плотность лучистого потока на поверхности, отнесенную к величине спектрального интервала и телесного угла, т.е. спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ). И хотя на практике величины разрешения по поверхности, телесному углу и по спектру конечны, существо вопроса от этого не меняется: СС измеряет среднее значение СПЭЯ, при этом чем выше разрешение, тем меньше погрешность, связанная с конечностью перечисленных величин*.

* Подобный подход справедлив не только для радиометров с узким углом мгновенного поля зрения, но и для кадровых съемочных систем (например, телевизионных и фотографических), которые в этом случае можно рассматривать как совокупность большого числа радиометрических каналов с малым полем зрения, величина которого определяется элементом пространственной дискретизации, осуществляемой при обработке информации.

Учитывая существенную важность вопроса о выборе физической Единицы: представления результатов измерений, рассмотрим этот вопрос детально.

Действительно, связь между измеряемой величиной и выходным сигналом любого (/го) измерительного канала СГ определяется соотношением

$$S_j \sim \frac{g_j}{B} \sim \frac{\int_0^\infty B(\lambda) S_j(\lambda) d\lambda}{B}, \quad (1)$$

где S_j — величина, характеризующая чувствительность /-го измерительного канала; $\hat{S}_j$ — абсолютная спектральная чувствительность у-го канала; g_j — выходная реакция j -го канала; $B(K)$ — спектральная яркость исследуемой поверхности; B — измеряемая величина яркости.

Величина B в принципе может характеризоваться различными способами. Обычно при градуировке радиометров-яркометров в качестве величины B используется полная интегральная яркость некоторого эталонного источника излучения, интегральная яркость этого источника в пределах интервала ($\Delta\lambda$) спектральной чувствительности градуируемого канала СС либо эффективная для данного канала яркость [3]. Тогда выражение (1) может быть переписано:

$$S_{\Sigma} = \frac{\int_0^\infty b_{\Sigma}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty b_{\Sigma}(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

$$S_{\Delta\lambda} = \frac{\int_0^{\Delta\lambda} b_{\Sigma}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} b_{\Sigma}(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

$$S_m = \frac{\int_0^\infty B_{\Sigma}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty B_{\Sigma}(\lambda) s(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

где S_{Σ} , $S_{\Delta\lambda}$ и S_m — соответственно интегральная, абсолютная и эффективная чувствительность /-го канала радиометра; $B_{\Sigma}(\lambda)$, $b_{\Sigma}(\lambda)$ — соответственно абсолютная и относительная спектральная характеристика излучателя, по которому градуируется радиометр; $S(\lambda)$, $s(\lambda)$ — абсолютная и относительная спектральная чувствительность радиометра.

Оценим эффективность использования выражений (2) — (4) при градуировке СГ. Отметим, что при дистанционном исследовании земной поверхности для выявления особенностей исследуемых объектов необходимо, как правило, иметь возможность судить о спектральном составе входящей над ними радиации. Однако так как выходной сигнал j -го канала радиометра пропорционален интегралу произведения двух функций

$$g_j \sim \int_0^\infty B(\lambda) s(\lambda) d\lambda,$$

по его величине невозможно однозначно судить о спектральном составе регистрируемого излучения. Отсюда следует, что использование интегральной чувствительности при определении яркости исследуемого объекта возможно только в случае, если исследуемый объект и используемый при градуировке излучатель обладают одинаковым распределением энергии по спектру.

В случае же исследования земной поверхности спектральный состав регистрируемого излучения, как правило, неизвестен, поэтому интегральная чувствительность S_{λ} не может быть использована при градуировке аппаратуры, поскольку она в значительной степени определяется спектром излучателя, используемого при градуировке.

Так как ГС для исследования земной поверхности имеют сравнительно узкие спектральные каналы, более оправданной следует считать градуировку аппаратуры по ее абсолютной чувствительности, что позволяет в какой-то степени нормировать результаты измерений. Однако в этом «случае остается погрешность нормирования, связанная с невозможностью точного определения эффективной ширины спектральных каналов, а также погрешность, вызванная несовпадением спектральных характеристик излучателя, используемого при градуировке, и измеряемого источника в пределах спектральной зоны чувствительности градуируемого канала.

Градуировка аппаратуры по эффективной чувствительности была бы целесообразной при условии сохранения формы характеристик относительной спектральной чувствительности, одинаковой для всех спектральных каналов градуируемой ГС. Так как это условие обычно не выполняется, в случае использования эффективной чувствительности необходимо вводить для каждого спектрального канала некоторый нормирующий коэффициент.

В связи с отмеченными особенностями различных определений чувствительности предлагается при градуировке СС определять ее чувствительность к спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) в соответствии с выражением

$$S_{\text{СПЭЯ}} = \frac{S}{B_{\text{эт}}(\lambda_x)} = \frac{\int_0^{\infty} B_{\text{эт}}(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{B_{\text{эт}}(\lambda_x)} \quad (5)$$

где $S_{\text{СПЭЯ}}$ — определяемая чувствительность; $B_{\text{эт}}(K)$ — СПЭЯ на длине волны λ_x источника, используемого при градуировке; λ_x — некоторая длина волны в пределах области спектральной чувствительности градуируемого прибора. При таком подходе нормирование результатов измерения происходит автоматически в процессе градуировки. Градуировка приборов по их чувствительности к СПЭЯ позволяет по полученным с их помощью результатам непосредственно определить СПЭЯ исследуемого «объекта в соответствии с выражением

$$B(\lambda_x) = \frac{S}{S_{\text{СПЭЯ}}}$$

где $B(\lambda_x)$ — СПЭЯ излучения исследуемого объекта на длине волны λ_x .

Однако и в этом случае остается погрешность нормирования, возникающая из-за различий в спектральных составах эталонного и измеряемого излучения.

Отметим, что величина этой погрешности существенно зависит от выбора длины волны λ^* , на которой проводится градуировка. Очевидно, что в качестве λ^* следует выбрать такую длину волны, на которой отношение СПЭЯ эталонного и измеряемого источника равно отношению эффективных яркостей этих же источников. В случае, если это равенство выполняется, ошибка нормирования будет сведена к нулю. Соответствующая этому условию длина волны обычно называется эффективной [4] и за-

дается соотношением

$$\frac{B_{\text{эт}}(\lambda_e)}{B(\lambda_e)} = \frac{\int_0^{\infty} B_{\text{эт}}(\lambda) s(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} B(\lambda) s(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

Заметим, что в общем случае, когда отсутствует какая-либо априорная информация о спектральном составе регистрируемого излучения, определить λ_e из соотношения (6) не представляется возможным. Более того, λ_e будет различной для каждой конкретной спектральной характеристики Γ^* .

Предположим, однако, что спектральные характеристики $B_{\text{эт}}(K)$ и $B(K)$ аппроксимируются прямыми в пределах зоны спектральной чувствительности градуируемого измерительного канала. Такое предположение правомерно в большинстве случаев, так как излучение объектов земной поверхности обычно имеет довольно плавные спектральные характеристики, а спектральные каналы измерительной аппаратуры сравнительно узки. В этом случае можно считать, что

$$\begin{aligned} B_{\text{эт}}(\lambda) &= B_{\text{эт}}^0 + B_{\text{эт}}^1 \lambda, \\ B(\lambda) &= B^0 + B^1 \lambda, \end{aligned} \quad (7)$$

где $B_{\text{эт}}^0, B_{\text{эт}}^1, B^0, B^1$ — некоторые постоянные коэффициенты.

Соотношение (6) в этом случае переписывается в виде

$$\frac{B_{\text{эт}}^0 + B_{\text{эт}}^1 \lambda_e}{B^0 + B^1 \lambda_e} = \frac{\int_0^{\infty} (B_{\text{эт}}^0 + B_{\text{эт}}^1 \lambda) s(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} (B^0 + B^1 \lambda) s(\lambda) d\lambda}.$$

Легко показать, что из этого соотношения следует

$$\lambda_e = \frac{\int_0^{\infty} \lambda s(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} s(\lambda) d\lambda}, \quad (8)$$

что совпадает с выражением для эффективного значения длины волны, введенным в [5, 6] для случая постоянной яркости. Заметим, что в выражение (8) не входят коэффициенты $B_{\text{эт}}^0, B_{\text{эт}}^1, B^0, B^1$, т. е. λ_e не зависит от наклона прямых (7) и, следовательно, не зависит от спектрального состава эталонного и измеряемого излучения. Таким образом, при определении чувствительности аппаратуры к СПЭЯ на длине волны λ_e ошибка нормирования будет равна нулю для измеряемого излучения с любым спектральным составом. Подчеркнем еще раз, что это справедливо только в том случае, если спектральные характеристики эталонного и измеряемого излучателей можно аппроксимировать прямыми в пределах области чувствительности градуируемого спектрального канала.

Итак, следует признать действительно целесообразной градуировку энергетических шкал бортовой радиометрической аппаратуры в единицах СПЭЯ с отнесением результатов измерений к эффективной для каждого спектрального канала длине волны λ_e , определяемой из соотношения (8).

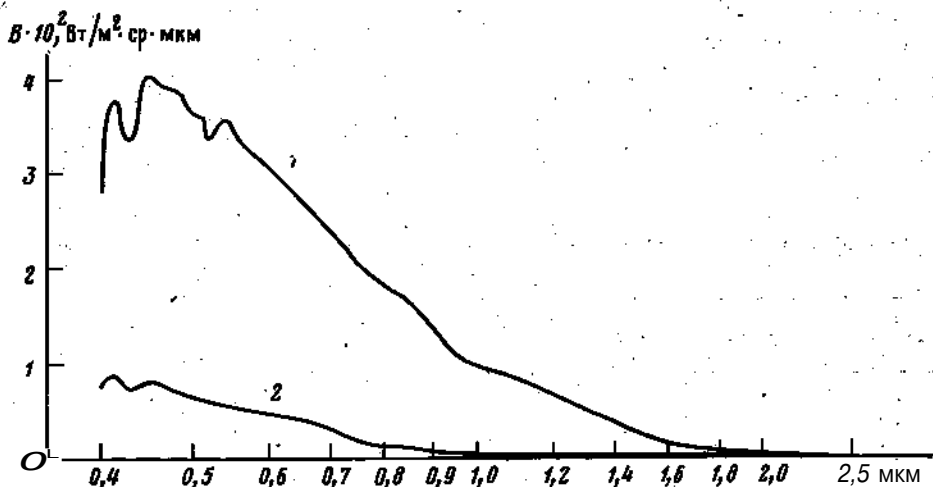


Рис. 1. К оценке диапазона яркостей, измеряемых при исследовании земной поверхности с аэрокосмических носителей на высотах более 30 км, зенитном расстоянии Солнца 20° и визировании в нади́р: 1 — заснеженные поверхности; 2 — водные поверхности

Выбор для системы «Фрагмент» единицы СПЭЯ в качестве физической единицы представления результатов измерений предопределил схему градуировки, включившую в себя определение относительных спектральных и абсолютных чувствительностей каналов как условие передачи выбранной физической единицы энергетической шкале системы. Исходным требованием к построению такой схемы градуировки являлась реализация излучателя, обладающего известной СПЭЯ в пределах спектрального и динамического диапазонов работы системы «Фрагмент» (рис. 1) и удовлетворяющего условию.

$$A_{\text{изл}} \geq D_{\text{к}} + i\Delta\beta_{\text{max}},$$

где $A_{\text{изл}}$ — размер излучателя; $D_{\text{к}}$ и $D_{\text{рзх}}$ — соответственно диаметр входного зрачка и максимальный размер поля зрения системы «Фрагмент», l — расстояние между излучателем и градуируемой СГ, что позволяет реализовать метод градуировки СС по протяженному источнику [7].

Для определения динамического диапазона величин СПЭЯ, измерение которых должна была обеспечить МСС «Фрагмент», а воспроизведение при градуировке — излучатель, был проведен ориентировочный прогноз, определявший сезонные вариации верхней границы измеряемых яркостей. Прогноз (табл. 1) учитывал сезонное изменение высоты Солнца для территории, простирающейся от 35 до 70° с.ш. на 10.00 местного времени (LT).

Вычисления проводились по выражению

$$B_j \text{ max} = H_j \frac{\cos z_0}{\pi} r; \exp [-(T_a + T_a S_6 C z_0)]$$

где H_j — усредненная величина спектральной солнечной постоянной в j -м спектральном интервале, Вт/м^2 ; z_0 — зенитное расстояние Солнца, град.; T_a — оптическая толщина атмосферы в вертикальном направлении; r — усредненный по j -му интервалу коэффициент спектральной яркости условного светлого объекта.

Полученные расчетные значения $D_{\text{тн}}$ (табл. 2) были сопоставлены с результатами соответствующих измерений с борта самолета-лаборатории (табл. 3). Эти измерения проводились с помощью специального фо-

Геометрического макета, измерявшего величины спектральной плотности энергетической яркости в спектральных интервалах, телесных углах мгновенных полей зрения и диапазоне углов визирования, соответствующих тем же параметрам проектируемой системы «Фрагмент».

Результату последующих определений величины СПЭЯ земной поверхности по материалам МСС «Фрагмент» на борту ИСЗ «Метеор» за

Таблица 1

Сезонные вариации верхней границы расчетного диапазона измеряемых яркостей, отн. ед.

Северная широта, град.	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
70	0	0	7,9-10-2	3,2-10-1	5,0-10-1	6,5-10-1
65	0	5-10-3	1,3-10-1	4,0-10-1	6,0-10-1	7,3-10-1
60	1,7-10-*	4,7-10-2	2,3-10-1	4,8-10-1	6,8-10-1	7,8-10-1
55	4,7-10-2	1,1*10-*	2,9-10-1	5,6-10-1	7,5-10-1	8,5-10-1
50	1,1-10-1	1,9-10-1	4,0-10-1	6,4-10-1	8,1-10-1	9,1-10-1
45	1,9-10-1	2,7-10-1	4,8-10-1	7,0-10-1	8,6-10-1	9,4-10-1
40	2,7-10-1	3,7-10-1	5,6-10-1	7,7-10-1	9,1-10-1	9,8-10-1
35	3,8-10-1	4,4-10-1	6,2-10-1	8,4-10-1	9,4-10-1	1,9

Северная широта, град.	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
70	6,8-10-1	5,8-10-1	4,0-10-1	1,9-10-1	5-10-3	0
65	7,5-10-1	6,6-10-1	4,8-10-1	2,7-10-1	6,3-10-2	0
60	8,0-10-1	7,3-10-1	5,6-10-1	3,6-10-1	1,5-10-1	1,2-10-2
55	8,6-10-1	8,5-10-1	6,4-10-1	4,4-10-1	2,3-10-1	9,4-10-2
50	9,1-10-1	8,6-10-1	7,1-10-1	5,4-10-1	3,4-10-1	1,7-10-*
45	9,5-10-1	8,8-10-1	7,8-10-1	6,2-10-1	4,2-10-1	2,7-10-1
40	9,8-10-1	9,3-10-1	8,4-10-1	7,0-10-1	5,0-10-1	3,6-10-1
35	9,9-10-1	9,5-10-1	8,8-10-1	7,7-10-1	5,5-10-1	4,4-10-1

срок, охвативший достаточно представительный период с июля 1980 по май 1981 г., подтвердили (рис. 2) достаточную достоверность прогноза.

Излучатель, непосредственно применяемый при градуировке и воспроизводящий при этом некоторую величину СПЭЯ внутри выбранного динамического диапазона, в соответствии с изложенными выше соображениями следовало метрологически связать с эталоном, воспроизводящим выбранную физическую величину. Поскольку при этом конечная достоверность результатов измерений оказывалась в прямой зависимости от используемых эталонов, точности передачи величины СПЭЯ от эталона к рабочему излучателю, а также построения конкретной схемы градуировки СС, вопросам выбора средств эталонирования и градуировки было уделено особое внимание.

До недавнего времени при градуировке оптикоэлектронных систем в основном использовались средства и методы фотометрии, которые базировались на световых и температурных эталонах. Переход к энергетическим величинам осуществлялся путем сложных пересчетов. В частности, при известной цветовой температуре тела накала светоизмерительных ламп находилась его истинная температура, а затем по данным об излучательной способности вольфрама рассчитывалась спектральная яркость лампы. Необходимость такого пересчета, а также неопределенность используемых для расчета данных приводили к существенным ошибкам при градуировке. Некоторые исследователи использовали при градуировке различные модели абсолютно черного тела. Однако низкое качество этих моделей, недостаточный анализ их метрологических характеристик

и отсутствие стандартных практических методик измерения также при* водили к значительным погрешностям.

Положение существенно улучшилось с момента создания и утверждения системы Государственных специальных эталонов (ГСЭ) энергетической фотометрии, различающихся как по принципу действия, так и по спектральному диапазону [8].

Один из этих эталонов — Государственный специальный эталон спектральной плотности энергетической яркости в диапазоне 0,25—2,5 мкм

Таблица 2

Максимальные расчетные значения спектральной плотности энергетической яркости в каждом спектральном интервале чувствительности МСС «Фрагмент» [(35° с. ш., июнь, 10,00 LT)]

Спектральная плотность энергетической яркости, Вт·м ⁻² ·ср·мкм ⁻¹	Спектральный интервал, мкм							
	0,4-0,7	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,1	1,1-1,3	1,5-1,8	2,1-2,4
$B_{j,max}$	320	320	270	210	133	70	33	13,3

Таблица 3

Результаты натурных измерений спектральной плотности яркости земной поверхности (декабрь 1976г.)

Сюжет и условия съемки	Спектральный интервал, мкм	Экспериментальные данные			Экстраполяция к условиям табл. 2 $B_{j,max}$ Вт·м ⁻² ·ср·мкм ⁻¹
		^333-г'	Vx-M-fe»-	Ч	
Дельта Волги (ледовые и снежные участки да воде и суше; заросшие камышом протоки; 20°70°, видимость более 30 км)	0,4-0,7	80	3,3	4,1	315
	0,5-0,6	85	2,0	2,4	325
	0,6-0,7	13	0,9	5,9	—
	0,7-0,8	60	3,5	7,1	225
	0,8-1,1	—	—	—	—
Побережье Черного моря в районе Сухуми (кромка берега, участки водной поверхности и зеленой растительности; *0~70°, ясно)	0,4-0,5	26	2,1	7,9	110
	0,5-0,6	—	—	—	—
	0,6-0,7	13	0,9	7,1	—
	0,7-0,8	40	2,8	7,1	170
	0,8-1,1	53	3,5	6,5	73

[9] — и был использован в качестве основы при построении схем градуировки МСС «Фрагмент», работающей в пределах указанного спектрального диапазона. Использование этого эталона основывалось на утвержденной поверочной схеме для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости (рис. 3). Единица СПЭЯ в этой* схеме передается от ГСЭ рабочему эталону, который выполняется на базе серийной ленточной лампы СИ10-300У или специальной лампы типа «черного тела». От рабочего эталона СПЭЯ единица СПЭЯ передается образцовым средствам измерения на базе ламп СИ10-300У или СИ8-200У. На этапе градуировки съемочных систем должны использоваться образцовые средства измерений. На рис. 4 приведены упрощенные схемы двух этапов градуировки.

; Сосредоточимся на рассмотрении возможных источников и сравнительных величин ошибок, влияющих на конечный результат измерения. Заметим, что в первую очередь в конечный результат должны войти погрешности, связанные с передачей единицы СПЭЯ от эталонов к образцовым средствам, определенные ГОСТом 8.196-76 [9]; в зависимости от длины волны они могут достигать нескольких процентов.

К источникам ошибок градуировки можно отнести нестабильность яркости источников излучения, нелинейность и нестабильность компара-

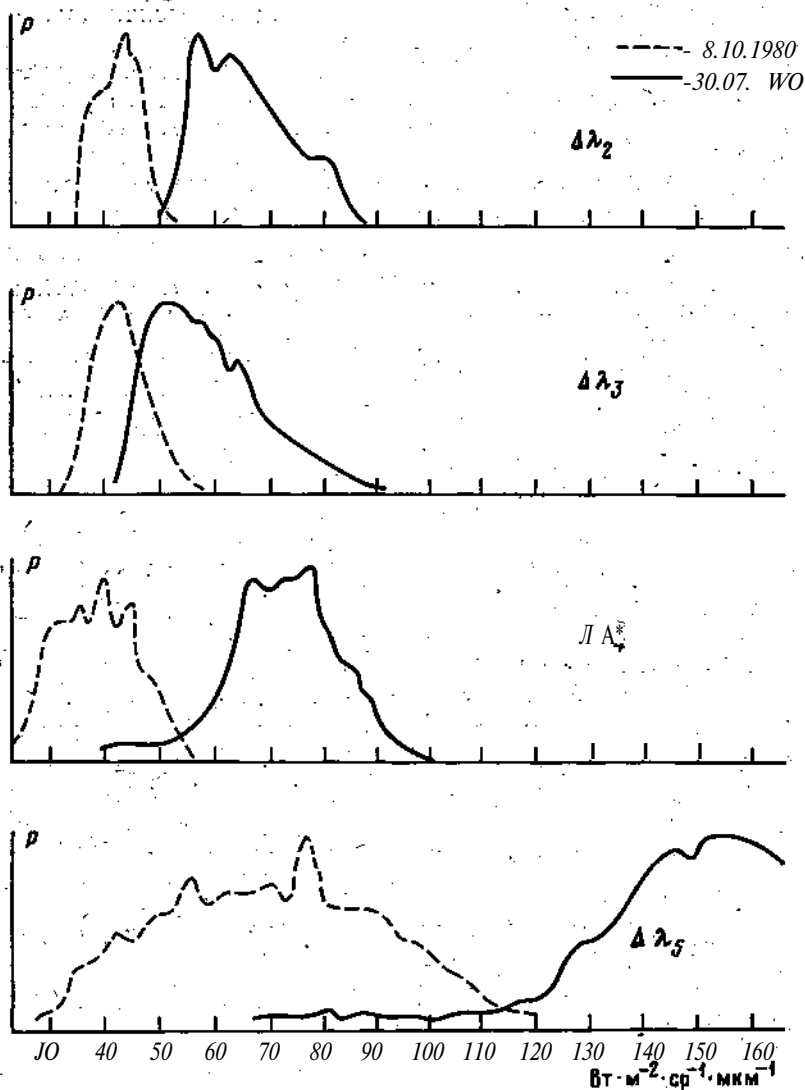


Рис. 2. Гистограммы значений СПЭЯ сельскохозяйственных угодий в междуречье Дона и Хопра по методикам съемки МСС «Фрагмент» 30.V.1980 г. и 8.X.1980 г., P — относительная частота регистрации значения СПЭЯ

тора градуировочной установки, невоспроизводимость установки длин волн монохроматоров, несогласованность монохроматоров излучателя и компаратора по длинам волн. Однако тщательное построение установки, предназначенной для градуировки, предварительный отбор используемых в компараторе фотоприемников и введение различных систем контроля стабильности режимов излучателей позволяют свести эти погрешности к величинам порядка 1%.

Таким образом, точность энергетической градуировки СГ в нашем случае определяется в основном погрешностью передачи единицы СПЭЯ от эталона к образцовым и рабочим средствам измерения, стандартизованной на уровне нескольких процентов. Это означает, что, поскольку, для дистанционных исследований Земли необходима совместная обработка данных как минимум от нескольких СГ, при построении последних

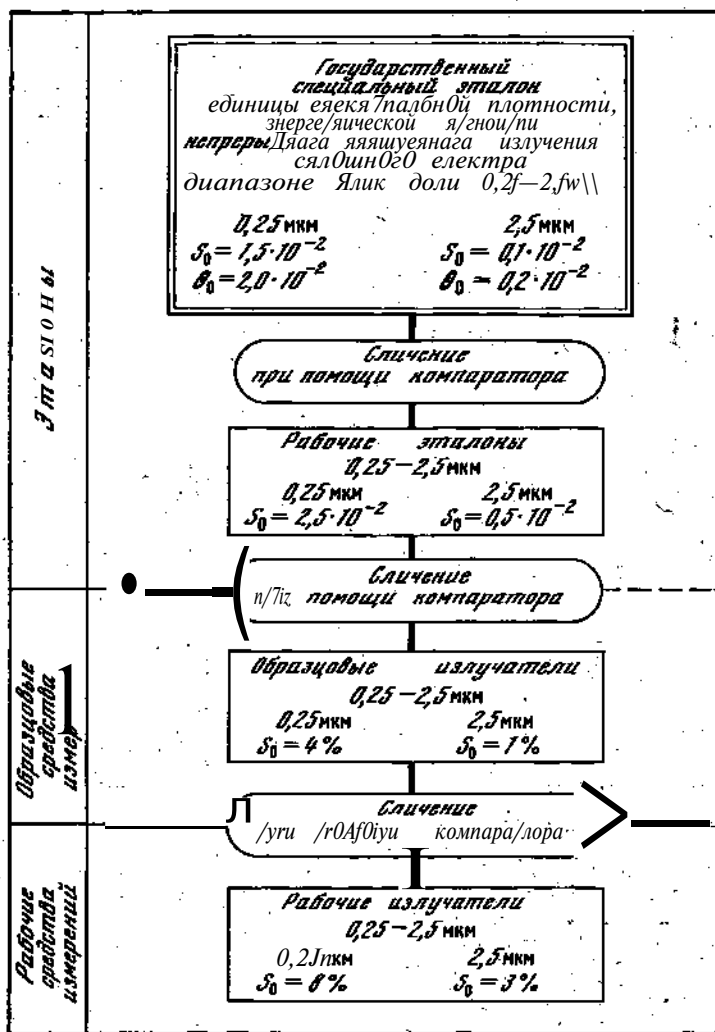


Рис. 3. Общесоюзная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости непрерывного оптического излучения сплошного спектра в диапазоне длин волн 0,25—2,5 мкм: 9 — неисключенная систематическая погрешность; 5 — среднее квадратическое отклонение

нецелесообразно требовать обеспечения аппаратурной точности каждой отдельной СС в спектральном диапазоне 0,25—2,5 мкм лучшей, чем 1—3%, что и было реализовано при создании МСС «Фрагмент» (табл. 4).

Подчеркнем, что обеспечение среднеквадратической случайной погрешности измерения на уровне нескольких процентов требует особого построения всего тракта прохождения информации. Действительно, неоднократное преобразование информации в тракте будет вестц к ее потерям до тех пор, пока не будет осуществлен собственно процесс измерения, т. е. сравнение некоторого промежуточного сигнала с мерой (единицей измерения) и получение именованного числа (кодированного сигнала). Кодированный сигнал, являясь более помехоустойчивым, чем аналоговое представление информации, позволяет практически устранить влияние последующих звеньев информационно-измерительного комплекса на результаты измерений. Следовательно, выполняя процесс измерения как можно ближе к входному звену СС, можно уменьшить потери информации; из этого естественным образом вытекает необходимость

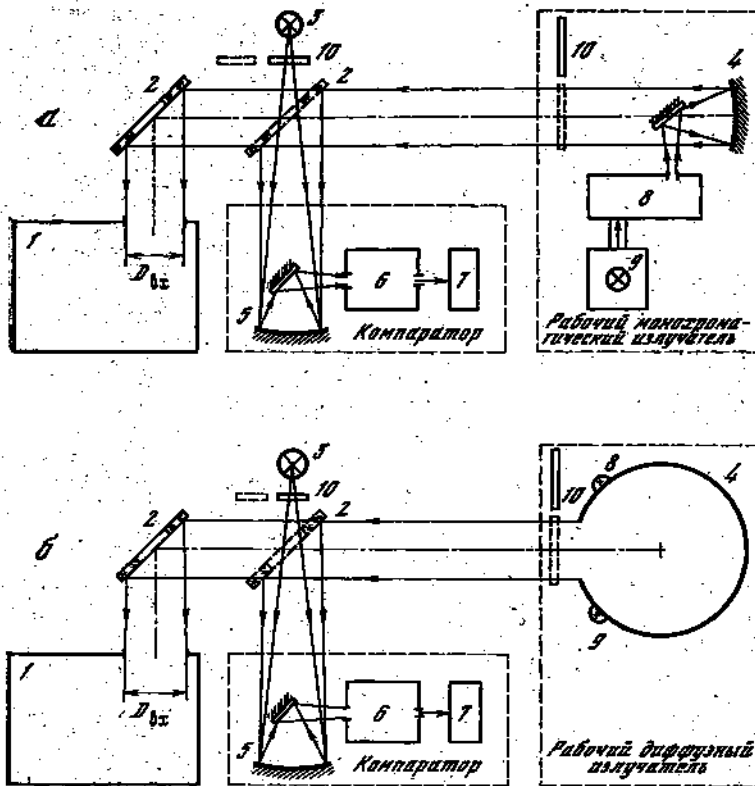


Рис. 4. Схема измерения относительной спектральной характеристики (а) и абсолютной чувствительности (б) съемочных систем:

«: 1.— съемочная система, 2— отклоняющее плоское зеркало, 3— образцовое средство измерения (лампа СИ10-300У), 4—коллиматорное зеркало, 5—оптическая система компаратора, 6, 8— двойные мнрхроматоры, 7— блок фотоприемников компаратора, 5—галогенная лампа, ^—заслонки; б: 1— съемочная система, 2— отклоняющее плоское зеркало, 3— образцовое средство измерения (лампа СИ10-300У), 4— диффузный осветитель, 5** оптическая система компаратора, 6— двойной монохроматор, 7— блок приемников, 8, Р— галогенные лампы осветителя, 10 — заслонки

включения кодирующего звена в СС (бортовую часть информационно-измерительного комплекса) и использование цифровой радиолинии [2, 10].

Однако используемые в бортовых СС оптического диапазона кодирующие звенья — аналого-цифровые преобразователи (АЦП) — преобразуют в именованное число лишь электрический сигнал. В результате нестабильности в предыдущих звеньях оптико-электронного преобразования Генерируются погрешности измерений, превосходящие, как правило, определенный нами допустимый уровень в несколько процентов. Отсюда следует необходимость введения специального контроля за стабильностью звеньев аналогового оптико-электронного преобразования в СС и той или иной процедуры коррекции результатов измерений по данным этого контроля.

Рассмотрим принципы реализации такого контроля в МСС «Фраг-энт». В этой МСС аналоговые звенья оптико-электронного преобразования включают в себя приемную оптическую систему — сканирующее зеркало и зеркальный объектив, волоконно-оптический селектор с подосовыми спектральными фильтрами фотоприемные устройства СФПУ [2].

Стабильность параметров приемной оптической системы определяется Деградацией зй счт воздействия факторов космического пространства;

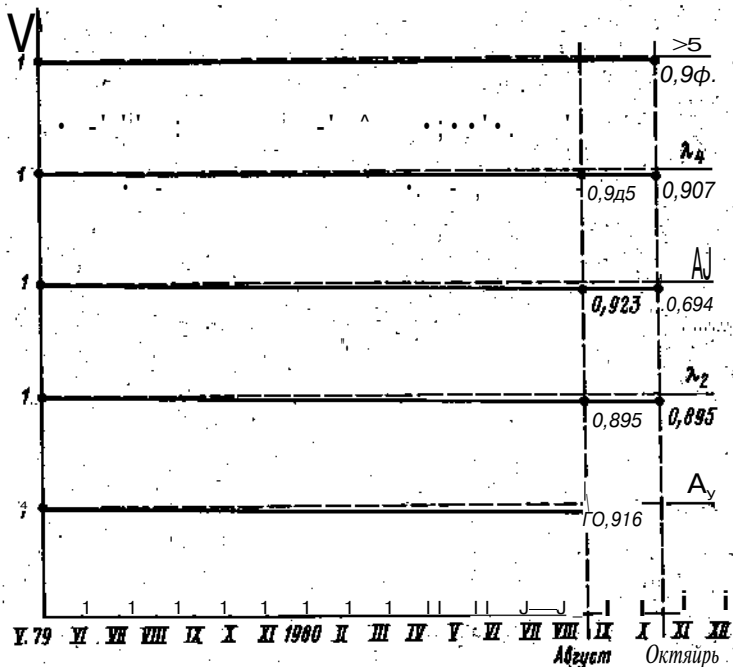


Рис. 5. Изменение коэффициента λ_0 падения интенсивности рабочего опорного излучателя по отношению к эталонному опорному излучателю для МСС «Фрагмент» за период предполетных испытаний и первые месяцы полета

в первую очередь жесткого излучения и микрометеорной бомбардировки. Применение зеркальной оптики позволило считать пренебрежимо малой деградацию за счет жесткого излучения, воздействие микрометеорной бомбардировки за расчетный срок эксплуатации — 1 год — также оказалось малоощутимым [И], поэтому функция преобразования этого звена считается практически постоянной.

Стабильность преобразования всех последующих аналоговых звеньев контролируется и автоматически корректируется по специальному опорному излучателю, вводимому в тракт преобразования с помощью ретивер механического коммутатора с периодичностью следования сканов, т.е., приблизительно через каждые 70 мс [2]. Сравнительно медленная деградация опорного излучателя, составившая за срок предполетной наработки в течение года и в первые месяцы работы на орбите около 10% (рй§/5)/-оценивается эпизодическим введением в тракт контрольного излучателя и может быть легко учтена при наземной обработке результатов измерений.

Таким образом, одна из основных целей, стоявших при создании МСС «Фрагмент», а именно получение пригодной для автоматизированной обработки, обладающей объективными измерительными свойствами видеоинформации о пространственно-спектральной структуре поля яркости земной поверхности достигнута за счет реализации последовательного метрологического обеспечения.

МСС «Фрагмент» метрологически аттестована в соответствии с предложенными принципами и методикой как измеритель спектральной плотности энергетической яркости земной поверхности в диапазоне длин волн 0,4—2,5 мкм с основными характеристиками, приведенными в табл. 4 и на рис. 6.

По цифровым кодам прозодимых МСС «Фрагмент» измерений могут быть определены с точностью до 5% значений абсолютной СПЭЯ соответ-

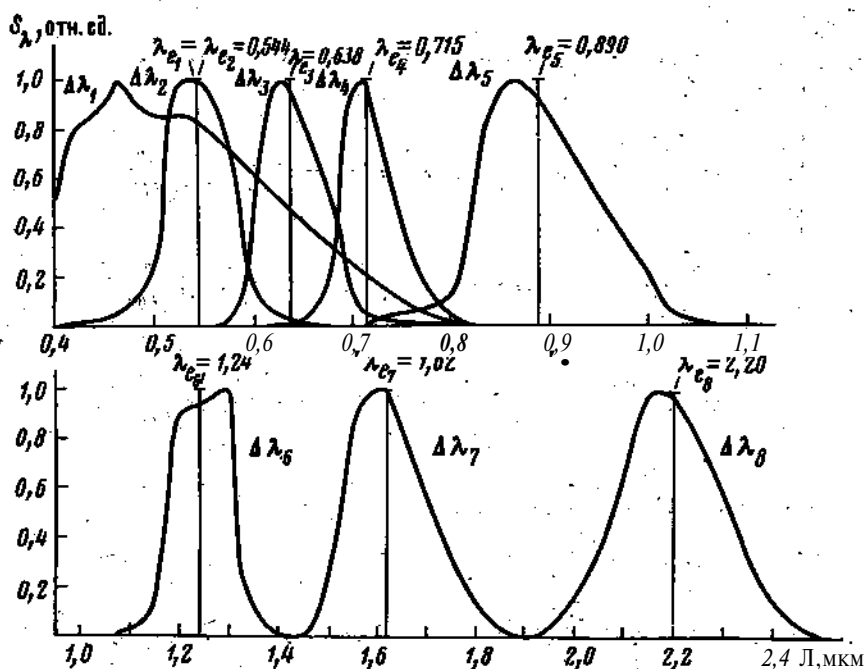


Рис. 6. Относительные спектральные характеристики чувствительности МСС «Фрагмент», осредненные для АК₁—ДА\$ по шести, а для ДЯ₆ и АЯ₇ — по трем измерительным каналам

ствующих участков наблюдаемой с ИСЗ земной поверхности на эффективных длинах волн, лежащих внутри восьми спектральных интервалов чувствительности СС [2], причем влияние спектрального распределения яркости исследуемого участка на результат измерения, минимизирован-

Таблица 4,

Осредненные аттестационные характеристики МСС «Фрагмент»

Спектральные интервалы		Случайная среднеквадратическая аппаратурная погрешность в полном динамическом диапазоне, %	Коэффициент перехода от значений выходного кода к измеренной величине СПЭЯ, - Вт-ср- • м- -мкм-			Эффективная длина волны Я ₀ , мкм
обозначение	полушарина, мкм		Режимы усиления			
			I	II	III	
AA _i	0,397-0,627	0,8	1,33-10 ⁻¹	5,04-10 ⁻¹	1,63	0,545
AW	0,508-0,586	1,0	2,49-10 ⁻¹	8,59-10 ⁻¹	2,36	0,543
AL	0,601-0,679	1,5	2,01-10 ⁻¹	6,71-10 ⁻¹	2,30	0,638
AE	0,688-0,743	1,8	1,67-10 ⁻¹	5,52-10 ⁻¹	1,65	0,715
AB ₃	0,824-0,935	2,8	1,36-10 ⁻¹	3,98-10 ⁻¹	1,19	0,890
AX ₃	1,166-1,305	2,1	—	4,90-10 ⁻¹	—	1,240
	1,516-1,698	1,9	—	3,16-10 ⁻¹	—	1,620
AX ₃	2,080-2,304	2,4	—	1,27-10 ⁻¹	—	2,200

ное за счет выбранного способа градуировки, может быть исключено за счёт использования при обработке данных специально разработанной вычислительной процедуры [12], позволяющей восстановить истинный характер спектрального распределения яркости неизвестного исследуемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев А. Г., Тарнопольский В. И. О спектрорадиометрических характеристиках многоспектральных съёмочных систем.- В кн.: Многоспектральные аэрокосмические съёмки Земли. Мл Наука, 1981, с. 87-93.

2. *Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Игнатенко С. А. и др.* Многозональная сканирующая съемочная система «Фрагмент». — В этом номере журнала.
3. *Холопов Г. К., Шуба Ю. А.* О нормировании чувствительности радиометров, — ОМП, 1977, № 10, с. 6.
4. *Холопов Г. К.* К расчету эффективной длины волны измерительной системы. — ЖПС, 1975, т. 23, № 2, с. 354
5. *Stromgren B.* Handbuch der Experimental Physik. B. 26. Leipzig: Akademische Verlags Gessellschaft M. B. H., 1937. 321 S.
6. *Код А. Д.* Распределение энергии в спектрах звезд. — В кн.: Звездные атмосферы. М., 1963, с. 73-74.
7. *Kelton G., etc.* Infrared target and background radiometric measurements. — Concepts units and techniques. — Infrared Phys., 1963, v. 3, p. 139-169.
8. *Катюк А. Ф., Панасюк В. С., Самойлов Л. Н. и др.* Единая система государственных эталонов энергетической фотометрии когерентного и некогерентного оптического излучения. — Измерительная техника, 1976, № 3, с. 17-24.
9. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости непрерывного оптического излучения сплошного спектра в диапазоне длин волн, 0,25-2,5 мкм. ГОСТ 8.196-76.
10. *Аванесов Г. А.* Экспериментальный информационно-измерительный комплекс исследований Земли из космоса. — В этом номере журнала.
11. *Караченцев И. Д.* Воздействие микрометеоритных частиц на оптические лог верхности телескопов за атмосферой Земли. — Искусственные спутники Земли, 1963, вып. 15, с. 57-65.
12. *Богданов А. А., Налимов В. Н., Сычев А. Г. и др.* О возможном повышении спектрорадиометрической точности при дистанционных исследованиях Земли с помощью многозональных съемочных систем. — Исслед. Земли из космоса, 1981, № 3, с. 77-84.

Институт космических исследований
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию
12.VI.1981

METROLOGICAL SUPPORT OF THE EARTH SURFACE BRIGHTNESS MEASUREMENTS BY MEANS OF «FRAGMENT» MULTISPECTRAL SCANNING SYSTEM

AVANESOV G. A., ZIMAN Ya. L., SYCHEV A. G.,
TAKNOPOL'SKIY V. I.

Choice of the physical unit presenting results of the Earth surface brightness measurements is considered as well as the chosen unit transmission, from reference source to radiometer measuring scale and integral measurement error minimization for the «Fragment» multispectral scanning system. The system specified metrological parameters are presented.

УДК 528.711.4:53.089.&

ПРЕДПОЛЕТНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ФРАГМЕНТ»

ЗИМАН Я. Л., ЮРОВ В. И.

Многоцелевое использование космической видеоинформации о Земле, получаемой сканирующими оптико-электронными съемочными устройствами и, в частности, многозональной сканирующей системой (МСС) «Фрагмент», предопределяет необходимость проведения фотограмметрической обработки этой информации с целью определения геометрических характеристик земных образований и их географической координатной привязки. В последние годы появилось немало публикаций по рассмотрению геометрии изображений, полученных сканирующими съемочными системами, и фотограмметрической калибровке последних. Однако все эти задачи нельзя считать решенными. В связи с этим при подготовке лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) МСС «Фрагмент» для ее фотограмметрической калибровки была разработана специальная методика и создана приборная установка, позволяющая эту методику реализовать.

При фотограмметрической калибровке МСС «Фрагмент» ставилась задача определить следующие ее элементы (большая часть элементов показана на рис. 1):

- фокусное расстояние объектива;
- геометрические характеристики матрицы волоконно-оптического разветвителя (ВОР) (размеры элементов матрицы и их взаимное доложение) [1];
- углы ориентации матрицы ВОР в системе координат прибора $OXYZ$, фиксируемой его посадочными местами;
- угол обзора ϕ между положениями сканирующего луча, соответствующими первому и последнему элементам строк получаемой видеоинформации. Проектирующие лучи, соответствующие первому и последнему элементам строки, определяют плоскость сканирования OAB ;
- углы ϕ , γ , θ , определяющие ориентацию плоскости сканирования OAB в системе $OXYZ$ (угол ϕ характеризует наклон плоскости сканирования OAB к оси OZ системы координат испытуемого прибора, γ — угол между плоскостью OMS , перпендикулярной OAB и проходящей через OZ , и осью OY , θ — угол в плоскости сканирования между OM и биссектрисой угла OAB);
- продольная и поперечная дисторсия получаемых изображений (доперечной дисторсией dy будем называть смещение элементов изображения, вызванное отклонением сканирующего луча OB от плоскости сканирования OAB , продольной дисторсией dx — смещение элементов изображения вдоль строки, вызванное отклонением реальной схемы развертки луча от проектируемого закона сканирования);
- полный период сканирования T (промежуток времени между фиксированием двух однопорядковых элементов соседних строк);
- период активного сканирования T_a (промежуток времени между фиксированием первого и последнего элемента одной строки).

входят автоколлимационный теодолит, плоское зеркало, обеспеченное двумя степенями свободы с соответствующими угломерными приспособлениями/ индикатор импульсов, поступающих от фотоприемников калибруемой аппаратуры, и измеритель времени для регистрации прихода сигналов.

Повороты автоколлимационного теодолита и плоского зеркала позволяют изменять направление построенного теодолитом светового луча, поступающего на вход МСС, при этом размеры зеркала и взаимное положение калибруемого прибора, теодолита и зеркала обеспечивают по-

Таблица 1"

Параметры многоспектральной сканирующей системы «Фрагмент»

Наименование	Значение параметра			Точность
Угол обзора	7°	35'	34*	±00' 22"
Углы ориентации т» Ф» 6 плоскости сканирования относительно системы координат МСС	—0	48	36	±00 11
	0	14	54	±00 10
	—0	22	42	±00 17
Угол Р между строкой и линией симметрии положения матрицы ВОР	—9°12'>0			±0' 5
Период сканирования	76,78 мс			±0,055 мс
Время активного сканирования	51,43 мс			±0,059 мс

Таблица 2

Дисторсия строки сканирования

Номер элемента в строке	Поперечная составляющая	Продольная составляющая	Номер элемента в строке	Поперечная составляющая	Продольная составляющая
1	0,0	0,0	614	0,5	9,5
205	3,6	9,2	819	-0,4	14,1
409	-и	10,8	1024	0,0	0,0

строение связки лучей, направленных в оптическую систему сканера, перекрывающей? все поле зрения последнего. Дискретные положения теодолита и зеркала, обеспечивающие поступление светового луча в МСС, находят при разных фиксированных положениях сканирующего зеркала путем визуального наблюдения в теодолит подсвечиваемых элементов матрицы ВОР (в так называемом статическом режиме). В работающем приборе (в динамическом режиме) моменты регистрации светового луча фотоприемниками отображаются поступающими с них импульсными сигналами. Получение сигнала, соответствующего заданному элементу строки, обеспечивается режимом поиска ориентации теодолита и зеркала. В статическом режиме определяется приближенная ориентация теодолита и зеркала, обеспечивающая быстрое нахождение заданной ориентации в динамическом режиме, когда осуществляется калибровка системы.

В динамическом режиме на индикаторе импульсов, визуализирующем развертку строки, при попадании светового луча в поле зрения сканера видны два импульса: первый —от маркера начала строки, второй —от измерительной установки. При появлении импульса на индикаторе выполняются измерения ориентации луча теодолита, плоскости зеркала и промежутка времени между моментами регистрации начального импульса и сигнала от светового луча. Помимо этих измерений выполняется координатная привязка посадочных плоскостей калибруемого прибора относительно системы координат измерительной установки (автоколлимационного теодолита $OXYZ$ или зеркала $O'X'Y'Z'$).

Проведение многократных измерений каждого из искомых параметров позволяет оценить точность выполненных определений. В [3] приведены формулы для расчета определяемых элементов и их ошибок.

На основании изложенной выше методики были проведены экспериментальные исследования фотограмметрических характеристик многозональной сканирующей системы «Фрагмент». Результаты этих исследований приведены в табл. 1. Проведенная первичная обработка видеoinформации, полученной в процессе ЛКИ МСС «Фрагмент», позволяющая осуществлять контроль за измерением последних двух параметров на* борту, показывает, что влияние космических условий съемки на характеристики аппаратуры незначительно. Так, значение периода сканирования по данным ЛКИ соответствует $76,78 \pm 0,039$ мс, а время активного сканирования — $51,24 \pm 0,064$ мс.

В табл. 2 приведены значения дисторсии для шести точек строки.

Значения дисторсии даны в долях элемента разрешения. Погрешность определения поперечной и продольной составляющих дисторсии составила $\pm 0,3$ и $\pm 0,7$ элемента разрешения. Судя по данным табл. 2, поперечной составляющей дисторсии можно пренебречь, так как она в большинстве случаев не превышает одного элемента разрешения. Продольную* составляющую дисторсии необходимо учитывать, когда ставится задача прецизионной фотограмметрической обработки получаемых снимков.

В заключение можно отметить, что результаты геометрической калибровки подтвердили хорошее качество изготовления и сборки узлов многозональной сканирующей системы «Фрагмент», влияющих на геометрические характеристики формируемого изображения. Данные, приведенные в табл. 1 и 2, могут быть использованы для коррекции получаемой видеoinформации на этапе ее геометрического трансформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Тарнопольский В. И. Разработка специализированной оптико-электронной системы оперативного сбора многоспектральной видеoinформации о поверхности Земли с борта ИСЗ.— В кн.: Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М.: Наука, 1981, с. 57-76.
2. Юров В. И. Способ фотограмметрической калибровки систем оптического сканирования. Авт. свид-во № 717 534 от 25.02.1980.— Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1980, № 7.
3. Юров В. И. Геометрическая калибровка обзорно-поисковых сканирующих систем.— Геодезия и картография, 1979, № 2, с. 26—31.

Институт космических исследований
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию—
12.VI.1981

PREFLIGHT PHOTOGRAMMETRIC CALIBRATION OF THE «FRAGMENT» MULTISPECTRAL SCANNING SYSTEM

ZIMAN Ya. L., YUROV V. I.

Calibration technique of optical multispectral scanning systems is suggested. Device is described to realize the method. Results of the «Fragment» multispectral scanning system photogrammetric calibration obtained according to the method are given.

УДК 551.46.0:629.78

- ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 0,4—1 Д МКМ

СЕЛИВАНОВ А. С., ГЕКТИН Ю. М., ПАНФИЛОВ А. С.,
ФОКИН А. Б.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению таких объектов и явлений в океане, как фронтальные зоны, меандры, вихри, внутренние волны, которые существуют практически во всем диапазоне пространственных и временных масштабов [1].

Систематические исследования фронтальных зон дистанционными методами с помощью аппаратуры, установленной на самолетах и спутниках, проводятся в основном в дальней ИК-области спектра, т. е. путем получения изображений тепловых контрастов на поверхности океана [2, 3]. Анализ этих изображений позволяет наблюдать процессы образования и развития фронтальных зон, меандров и вихрей в различных районах океана [4, 5].

Аналогичную информацию можно получать в видимой и ближней ИК-области спектра, (от 0,45 до 1,1 мкм). Такие наблюдения могут существенно дополнить тепловые изображения в части исключения влияния атмосферы [6], а также для выявления процессов фронтогенеза, не имеющих поверхностных тепловых контрастов. Кроме того, радиометры, функционирующие в видимой области спектра, как правило, имеют более высокое пространственное разрешение, что позволяет изучать тонкую структуру подобных явлений.

До последнего времени наблюдения фронтальных зон в видимой и «ближней ИК-области спектра носили эпизодический характер. Основная причина этого заключается в том, что наблюдения подобных явлений с помощью аппаратуры, предназначенной главным образом для исследования суши, возможны при выполнении определенных условий наблюдения, реализующихся весьма редко. Для их целенаправленного изучения необходима специально ориентированная на это аппаратура. Но в настоящее время отсутствуют четко сформулированные требования по условиям наблюдения фронтальных зон и вытекающие из них требования к приборам.

Одними из первых экспериментальные данные по съемке в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра были получены с борта орбитальной станции «Салют-6» ручной фотокамерой [7]. Относительно условий получения этих снимков имелись приближенные сведения, так как эти условия специально не фиксировались и не изучались с необходимой достоверностью. Поэтому был выполнен ряд работ по проведению аналогичных наблюдений со спутников-автоматов, самолетов и судов. Со спутников серии «Метеор» съемка проводилась многозональными сканирующими устройствами малого и среднего разрешения, работающими в диапазоне спектра от 0,5 до 1,1 мкм и имеющими пространственное разрешение 1 км и 240 м, при полосе обзора 2000 и 1400 км соответствен-



Рис. 1. Изображение крупного вихревого образования в районе о. Хонсю, полученное со спутника «Метеор» прибором МСУ-М 7.YL1978 г. в спектральном диапазоне 0,5—0,6 мкм. Высота солнца 54°, угол визирования ~35°

но [8, 9]. На рис. 1—3 представлены наиболее типичные изображения океанической поверхности, содержащие меандры, вихри и внутренние волны.

Анализ полученной информации позволил определить оптимальные условия наблюдения фронтальных зон, а также выдвинуть ряд вредных, ложений относительно природы наблюдаемых оптических явлений.

Прежде всего было установлено, что максимальные контрасты ($L = \frac{D_{\text{max}} - b_{\text{min}}}{A_{\text{max}}}$, где L — яркость объекта) на поверхности воды наблюдаются в области прямого солнечного блика. Все представленные на снимках изображения контрастных, образований на поверхности воды отчетливы видны не далее чем в 30—40° по азимуту от центра блика. Аналогичные результаты получаются и при съемке снимков в области солнечного блика с борта самолета (независимо от природы образования снимков). Однако следует отметить, что для больших углов наблюдения от центра блика (больше 30°) контрасты на поверхности не исчезают, а остаются постоянными для всех азимутальных углов на уровне 5—7%. На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость величины контрасту K от азимутального отклонения направления визирования от геометрического центра блика D_6 , полученная по результатам съемки с самолета и спутника «Метеор».

Зависимость величины контраста от угла визирования $\{J$, отсчитываемого от вертикали, была определена экспериментальным путем по снимкам, сделанным с самолета при различных высотах Солнца. На рис. 5 пред-



Рис. 2. Изображение Черного моря в районе устья Дуная, полученное 17.VII.1980 со спутника «Метеор» экспериментальным прибором с коническим сканированием. МСУ-СК [18] в спектральном диапазоне 0,6—0,7 мкм. Высота Солнца 59°, угол визирования 39°

«ставлены полученные результаты для наблюдений центральной части блдака и для области, расположенной в направлении 120° по азимуту относительно направления на блик. Из рис. 5 видно, что при углах $\varepsilon \ll 40^\circ$ наблюдаются максимальные значения для величины K .

Значительное влияние на контраст изображения оказывает скорость приповерхностного ветра и выбор плоскости поляризации излучения при наблюдениях. С увеличением скорости ветра контрасты постепенно уменьшаются и при скоростях 5—7 м/с начинают исчезать (рис. 6). Поворот плоскости поляризации при наблюдениях на 90° относительно плоскости с Km также приводит к значительному уменьшению контрастов.

В результате анализа полученных изображений установлена слабо выраженная спектральная селективность наблюдаемых явлений в исследуемом диапазоне длин волн. На рис. 7 представлены зависимости величины контраста поверхностных образований от длины волны, построенные по спутниковым и самолетным наблюдениям. Хотя на рис. 7 видно незначительное падение величины контрастов в ИК-области спектра, оно не выходит за пределы точности измерений.

Проведенные наблюдения в области блика, особенно йселективность контрастов вплоть до ближнего ИК-диапазона (для воды это область полного поглощения) и поляризационные эффекты, позволяют предположить, что наблюдения фронтальных зон возможны благодаря поверхностному



Рис. 3. Изображение внутренних волн в Средиземном море недалеко от о. Крит, полученное со спутника «Метеор» прибором МСУ-С 1.VII.1980 г. в спектральном диапазоне 0,7–1,1 мкм. Высота Солнца 62° , угол визирования $\sim 30^\circ$

проявлению различных динамических процессов. Вклад излучения, выходящего из-под поверхности воды, настолько мал, что в области блика им можно полностью пренебречь¹.

Рассмотрим следующую модель наблюдаемых явлений: контрасты на изображении водной поверхности формируются за счет различий в спектре волнения, которые и модулируют наблюдаемое поле яркости; различия в спектре волнения обусловлены взаимодействием поверхностного ветрового волнения с внутренними динамическими процессами.

Такое взаимодействие достаточно хорошо известно для внутренних волн и неоднородных течений [10–12], причем основную роль в этих процессах играют волны с длиной от 1–2 до 20–30 см.

В качестве примера рассчитаем величины контрастов, образующихся при взаимодействии ветрового волнения с внутренними волнами. Для этого воспользуемся функциями распределения уклонов поверхности: от скорости

¹ Необходимо отметить, что вне области блика, где контрасты не превышают 5–7%, наблюдаемые явления могут иметь не только поверхностную природу. Здесь возможны проявления таких факторов, как цветность воды, замутненность, рельеф дна и т.д.

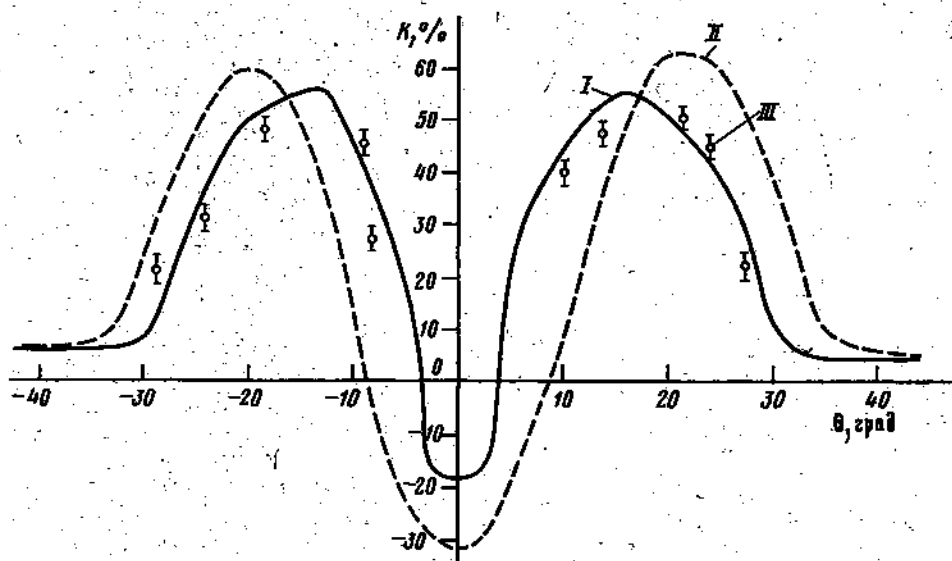


Рис. 4 Зависимость величины контраста от углового расстояния до центра блика при $Z_0=50^\circ$: I — экспериментальная кривая, полученная по самолетной съемке; II — теоретическая; III — спутниковые данные

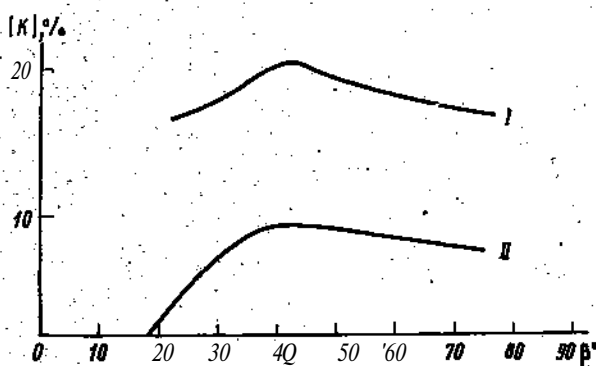


Рис. 5. Зависимости абсолютной величины контраста $|K|$ от угла визирования P : I — при наблюдениях центральной части блика; II — для азимутального угла 120° от направления на центр блика

ветра [13[^] 14], Тогда яркость поверхности в области солнечного блика можно представить следующим образом [15]:

$$L = \text{const} \left[\exp \left(\frac{\Delta \theta^2}{2\sigma_0^2} \right) L_{\text{пр}} \rho_{\text{п}}(\sigma) + L_{\text{рр}} \rho_{\text{р}}(\sigma) \right], \quad (1)$$

где $L_{\text{пр}}$, $B_{\text{р}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{р}}$ — яркость и коэффициент отражения для прямого и рассеянного небом солнечного излучения; σ_0^2 — дисперсия уклонов поверхности; $\Delta \theta$ — угловое отклонение направления визирования от геометрического центра блика^{**}; const — константа, учитывающая геометрические условия наблюдения. Связь дисперсии уклонов морской поверхности при взаимодействии с внутренними волнами σ^2 и без них σ_0^2 определяется по формуле [15]

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 \exp \left[R \frac{U}{C} \right], \quad (2)$$

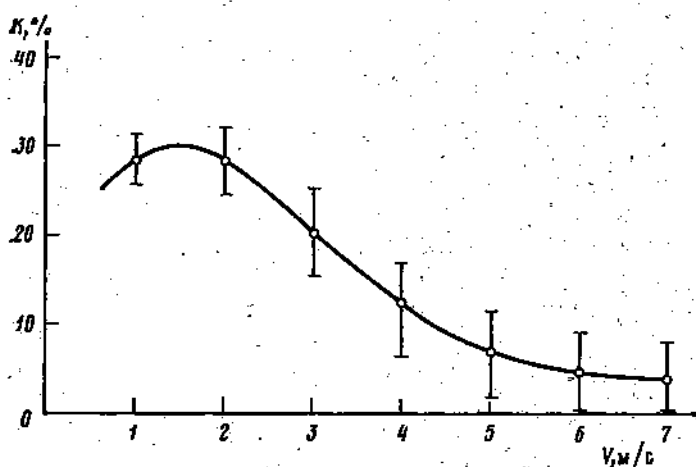


Рис. 6. Зависимость величины контраста для области блика от скорости приповерхностного ветра

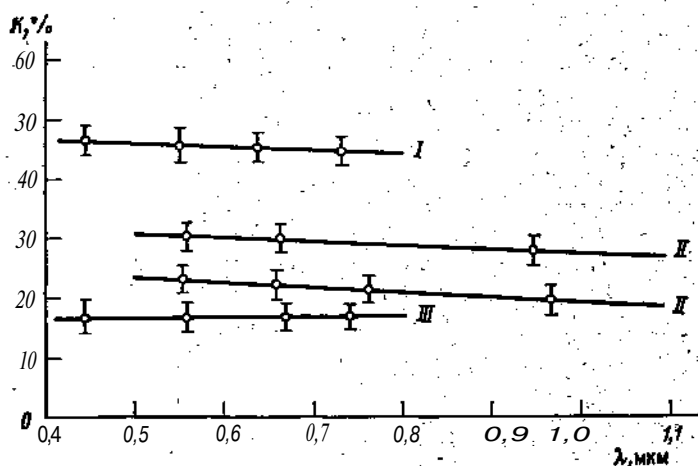


Рис. 7. Зависимость величины контраста от спектральной области наблюдения: I — самолетная съемка высоты Я=6 км, II — спутниковые наблюдения Я=650 км, III — судовая съемка H=12 м

где

$$R = -5,1 \lg \left(\frac{V}{C} \right) + 6,47;$$

У — скорость ветра; С — фазовая скорость внутренней волны; С7 — орбитальная скорость частиц.

Тогда контраст изображения $K = (L - L_0) / L_0$, где L_0 и L — яркость поверхности, «невозмущенной» и «возмущенной» внутренней волной, можно рассчитать по формуле

$$K = \frac{\exp \left(-\frac{\Delta \theta^2}{2\sigma_0^2} \right) - \frac{\sigma_0}{\sigma} \exp \left(-\frac{\Delta \theta^2}{2\sigma^2} \right) + \frac{A}{\sigma} (\sigma_0 - \sigma)}{\frac{L_p \rho_p}{L_n \rho_n} + \exp \left(-\frac{A \theta^2}{2\sigma_0^2} \right)} \sim \frac{A}{\sigma} (\sigma_0 - \sigma) \quad (3)$$

При оценке величины i_{pp}/L_{np} будем учитывать только рассеянное (индекс р) излучение неба вблизи Солнца. Это правомерно при анализе отра-

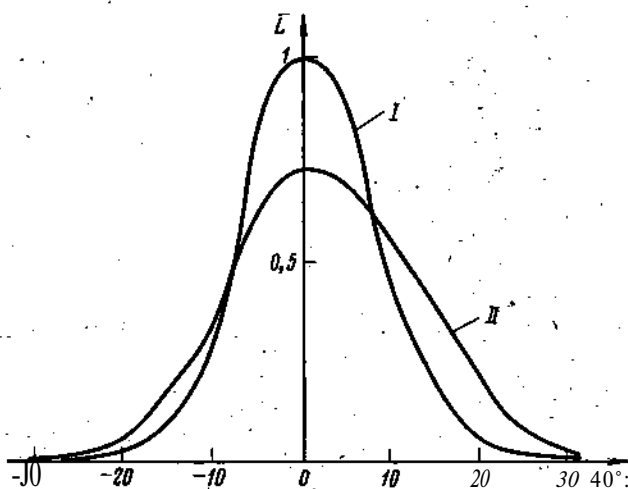


Рис. 8. Относительное распределение яркости по блику L в зависимости от углового расстояния A до его центра для двух областей поверхности: I — «возмущенной» внутренней волной, II — «невозмущенной» внутренней волной

женного излучения в области блика, так как рассеянное излучение в этой области имеет значительно большую яркость, чем в остальных частях неб» и отражается от поверхности воды в тех же направлениях, что и прямое излучение (с индексом п).

Экспериментальное значение отношения $L_p/L_n \ll 3i < r$ [16], а по результатам работы [17] pp/rp^6 (для зенитного расстояния Солнца $Z_0 \ll 50^\circ$) тогда $A > pp/inpn^{1,8i} < r^*$. Подставляя в (3) средние значения параметров внутренней волны [10, 11, 15] $\alpha = 7,5^\circ$, $R-g = -0,53$ при $F=3$ м/с рассчитываем значения контрастов. На рис. 4 представлена расчетная зависимость K от $\Delta\theta$, а также экспериментальные данные.

Незначительные различия между экспериментальными данными и теоретическими расчетами можно объяснить не полным учетом рассеянного небом излучения, а также усреднением параметров, принятых для внутренних волн. Из экспериментальных данных (рис. 4) следует, что вблизи центра блика наблюдается явление инверсии контраста (значения контраста меняют знак). На полученных изображениях оно наблюдается как изменение яркости различных областей: темные области в центре блика («невозмущенные» внутренними волнами) становятся светлыми на краю и обратная картина для «возмущенных» областей. Это явление объясняется различным распределением яркости для «возмущенных» и «невозмущенных» зон. На рис. 8 представлены эти распределения в относительных единицах, рассчитанные по формуле (1).

Точку инверсии контраста $A0_0$ можно найти, приравняв числитель выражения (3) к нулю и пренебрегая влиянием рассеянного излучения. Тогда получаем

$$\Delta\theta_0^2 = \frac{2 \ln(\sigma_0/\sigma)}{\sigma_0^2 - \sigma^2} \sigma_0^2 \sigma^2. \quad (4)$$

Для определяемых ранее параметров $A0_0 = 8,7^\circ$, что весьма близко к экспериментальному значению.

Таким образом, хорошее совпадение экспериментальной и модельной зависимостей подтверждает правильность принятой модели и справедливость утверждения, что фронтальные зоны, меандры, вихри и внутренние* волны наблюдаются в видимой и ближней ИК-области спектра благодаря поверхностным эффектам.

Изложенный в данной статье материал позволяет утверждать, что возможно эффективное наблюдение динамических процессов в океане, в видимой и ближней ИК-р области спектра, при этом:

— съемку необходимо проводить в области солнечного блика, где контрасты достигают максимальных значений;

— максимальные значения контрастов наблюдаются при зенитных расстояниях Солнца и углах визирования «40°;

— ширина спектральной области съемки не имеет существенного значения, так как наблюдаемые явления не обладают ярко выраженной спектральной селективностью;

— контрасты на поверхности исчезают при скоростях приповерхностного ветра, превышающих 5—7 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров К. Я., Кузьмина Н. П. Океанические фронты.— В кн.: Итоги науки и техники. Сер. Океанология, т. 5. М.: ВИНТИ, 1979, с. 4-44.
2. Новогрудский Б. В., Скляр В. Е., Федоров К. Н., Шифрин К. С. Изучение океана из космоса. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 56 с.
3. Stevenson R. E., Scally-Power P. Wold-wide oceanic fronts from satellites. EOS - Trans. Amer. Geophys. Union, 1977, 58, № 9, 6 p.
4. Doblar R. A., Cheney R. E. Observed Formation of a Gulf Stream Cold Core Ring.- J. Phys. Oceanogr., 1977, v. 7, № 6, p. 944-946.
5. Harris T. F., Legeckis R. Satellite infra-red images in the Agulhas Carrent System.- Deep-Sea Res., 1978, v. 25, p. 543-548.
6. Atmospheric Correction of Satellite Observation of Sea Water Colour. Comission of the European Communities. Ispa-Italy, 1979. j61 p.
7. Гречко Г. М., Гришин Г. А., Толкаченко Г. А. Наблюдение видимых проявлений динамики океана с борта орбитальной станции «Салют-6».- Исслед. Земли из космоса, 1981, № 4, с. 5-10.
- & Селиванов А. С., Чемоданов В. П., Суворов Б* А., Нараева И. К. Оптико-механические сканеры для наблюдения Земли.-Техника кино и телевидения, 1978, №6, с. 18-22.
9. Селиванов А. С., Тучин Ю. М., Оводкова С. Г., Серегин В. А. Телевизионный комплекс экспериментальных спутников.— Техника кино и телевидения, 1977, №3, с. 43-45.
10. Hughes B. A. The effect of internal waves on surface wind waves.— J. Geophys. Res., 1978, v. 83, № C1, p. 455—469.
11. Hughes B. A., Grant H. L. The effect of internal waves on surface wind waves,— J. Geophys. Res., 1978, v. 83, № C1, p. 443—454.
12. Васович А. Я., Таланов В. И. О трансформации коротких поверхностных волн на неоднородных течениях.—Изв. АН СССР. ФАО, 1977, т. 13, № 7, с. 766—773.
13. Cox C., Munk W. H. The measurement of the roughness of sea surface from photographs of the sun's glitter.—J. Opt Soc. America, 1954, v. 44, № 11, p. 838—850.
14. Cox C., Munk W. H. Statistics of the sea surface derived from sun glitter.—J. Marine Res., 1954, v. 13, № 2, p. 198—227.
15. Лучинин А. Г., Титов В. И. О возможности дистанционной оптической регистрации параметров внутренних волн по их проявлениям на океанической поверхности.— Изв. АН СССР. ФАО, 1980, т. 16, № 12, с. 1284—1290.
16. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. М.: Наука, 1972. 350 с.
17. Мулламаа Ю.-А. Р. Атлас оптических характеристик взволнованной поверхности моря. Тарту: АН ЭССР, 1964.
18. Новый эксперимент по исследованию Земли из космоса.— Исслед. Земли из космоса, 1981, № 1, с. 5—6.

Поступила в редакцию
22.V.1981

SURVEY CONDITIONS INVESTIGATION FOR OCEAN SURFACE IN THE BAND 0,4—1,1 MKM

SELIVANOV A. S., СЕКТИЦ Ю. М., PANFILOV A. S., FOKIN A. B.

Optimal survey conditions were determined for oceanic frontal zones, meanders, whirlwinds and internal waves. Study was carried out on the base of oceanic experimental observations in visible and near infrared band. A theoretical model was considered of the observed phenomenon forming stimulated by superficial effects.

УДК 551.435.126+629.78(282.243.76)

V

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

ЕФРЕМОВА О. Н., КРАВЦОВА В. И.

Дельты представляют один из наиболее динамичных типов земной поверхности, где постоянно протекают разнонаправленные процессы аккумуляции и эрозии. Космическая съемка благодаря обзорности, единовременности охвата значительных территорий и регулярной повторяемости даёт ценный материал для изучения динамики дельт.

Изучение динамики дельты Дуная ^-трансевропейской транспортной" магистрали — представляет особый интерес. Ей посвящены многие фундаментальные работы [1, 2], основанные главным образом на сравнении материалов специальных гидрографических съемок, охватывавших отдельные наиболее типичные участки рукавов Дуная и побережья. Появившиеся в последнее время космические снимки (КС) дают возможность вести такое изучение в отношении всей площади дельты, включая различные компоненты природы и хозяйства. Первый опыт такого исследования: включил сопоставление снимков со спутника «Landsat», полученных в 1972 г., с картами почти 100-летней давности, в результате чего была составлена комплексная карта динамики дельты за 100 лет [3]. Материалы, полученные с помощью аппаратуры «Фрагмент» в 1980 г., дают возможность продолжить это изучение.

Для целей изучения динамики природных объектов наиболее целесообразно использование повторных КС, полученных одной и той же съемочной системой. Однако желание охватить временной интервал в несколько лет заставило обратиться к сопоставлению снимков не абсолютно идентичных, хотя и близких по своим характеристикам. Мы использовали снимки с американского ресурсного спутника «Landsat», полученные 4.IX.1972 г., с помощью многоспектральной сканирующей системы (МСС) в четырех диапазонах видимой и ближней инфракрасной части спектра, и снимки, полученные со спутника «Метеор» с экспериментальной аппаратурой для исследования природных ресурсов, выполненные с помощью многозональной сканирующей системы «Фрагмент» 26.IX.1980 г. в тех же четырех спектральных диапазонах (рис. 1, 2). Для сравнения выбраны разновременные КС в одном и том же спектральном диапазоне 0,7—0,8 мкм, хотя при детификации КС за каждый срок съемки использовался полный набор зональных изображений, КС имеют практически одинаковое разрешение — 80 м в первом случае и 85 м во втором. Для удобства сопоставления были изготовлены отпечатки в одинаковом масштабе 1:500000. Съемка с восьмилетним интервалом выполнена в один и тот же сезон (в сентябре) с расхождением в датах съемки в 22 сут, поэтому объекты дельты находились приблизительно в одинаковом сезонном состоянии. Эти обстоятельства обусловили возможность визуального сопоставления КС, на которых изображение различных природных и хозяйственных элементов дельты легко идентифицируется.

Трудности, при работе с повторными КС были вызваны тем, что снимки, полученные с помощью аппаратуры «Фрагмент», имеют неодинаковый



Рис. 1

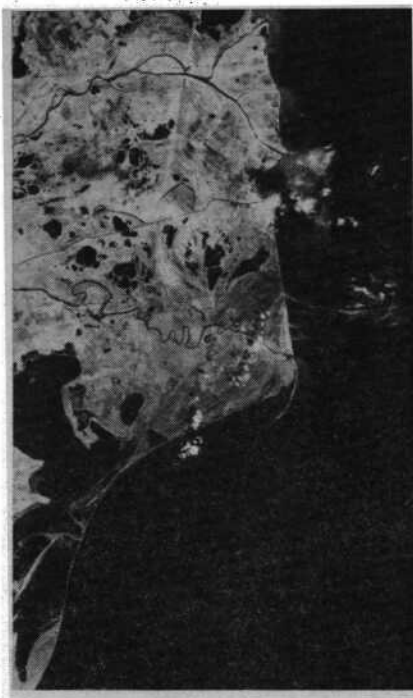


Рис. 2

Рис. 1. Снимок дельты Дуная, полученный со спутника «Метеор» 24IX.1180 г. с помощью аппаратуры «Фрагмент»

Рис. 2. Снимок дельты Дуная со спутника «Landsat», полученный 4IX.1972 г.

продольный и поперечный масштаб, в то время как изображения, полученные со спутника «Landsat», приведены в картографическую проекцию международной карты мира и характеризуются постоянством масштаба в пределах снимка. Поэтому прямое наложение КС, совмещение разновременных изображений невозможно. Нельзя использовать их и для изготовления «разностных» снимков из негатива снимка за одну дату и позитива — за другую или синтезировать по разновременным снимкам цветное изображение, хотя именно этот арсенал методических приемов при работе с разновременными КС наиболее целесообразен. Из-за указанных ограничений изменения выявлялись при визуальном сопоставлении изображения по небольшим участкам, хотя визуальное сопоставление не исключает некоторой субъективности и не позволяет дать точные количественные характеристики изменений. Визуальное сопоставление было возможно благодаря высокой контурности изображения дельты, выразительному отображению дельтовых ландшафтов на КС за обе даты, а также сезонной близости сроков съемки и выполнению съемки в одинаковых спектральных зонах в оба срока.

На КС изобразилась часть акватории Черного моря у его западного» побережья и большая часть дельты Дуная (за исключением ее верхнего» Тульчинско-Измайльского участка). Эта территория относится к Южной» Украине (Заднепровская часть Одесской области) и Румынии. Характер береговой линии подчеркивает морфологически и генетически разные части морского края дельты—на севере Килийская лопастная дельта, активно растущая за счет того, что по северному рукаву (гирлу) выносятся 70% твердого и жидкого стока Дуная, имеет сложные много лопастные очертания. Второй участок •-»- от Килийской дельты до Георгиевского гирла, находящийся под воздействием морских факторов и характеризующийся развитием абразионно-аккумулятивных процессов, имеет спрямленные очертания. И третий — южный участок лагунно-лиманного берега, где аккумулятивные формы типа кос и баров отшнуровали заливы и лиманы,, постепенно утратившие связь с морем; крупнейший среди них — лиманное* оз. Разим.

Хорошо прослеживается: по КС специфика двух морфологически разных частей дельты — более древней речной (внутренней) и более молодой* морской (внешней). Граница между ними в виде светлой полосы древних береговых валов хорошо видна на КС. Для морской части дельты характерны серии параллельных песчано-ракушечных валов, чередующихся с вытнутыми понижениями, что обуславливает полосчатую структуру изображения. Межрусловые пространства речной части дельты сильно заозерены; темные пятна крупных и мелких озер — характерная черта изображения этой части дельты. Обычного для других дельт обилия временных русел не наблюдается. Большую часть дельты занимают тростниково-камышовые заросли ^ плавни. Земли дельты осваиваются — прокладываются: мелиоративные каналы, темные тонкие линии которых видны как в северной советской части дельты, так и на юге, в районе оз. Разим в Румынии. Осушенные плавни используются под земледелие, в частности здесь много-массивов рисовых полей:

В результате сопоставления КС, сделанных в 1972 и 1980 гг., методика* которого охарактеризована выше, выявились изменения ? положении береговой линии, гидрографической сети, обводненности, сельскохозяйственной! освоенности дельты, показанные на составленной по снимкам карте динамики дельты (рис. 3). Заметные изменения: произошли в береговой линии морского края дельты. Наиболее существенны эти изменения на побережье самой активной аккумулятивной Килийской дельты, особенно в северной и южной ее частях — в районах впадения в море Очаковского и Старостамбульского рукавов, выдвижение которых за эти годы составило на разных участках от 150 до 500 м, а по северному берегу Старостамбульского рукава доходит до 1000 м. В целом нарастание Килийской дельты за 8 лет составило около 10 км². Коса Перебойная, отделяющая залив в районе с. Приморского, выросла в южном направлении на 200—300 м, появились новые косы из морских наносов к востоку от нее, обмелел и сократился по площади отчлененный ими залив. Это свидетельствует о том, что* морские наносы, приносимые вдольбереговым течением и волнением с северо-востока, постепенно заполняют залив между морским берегом и Килийской дельтой. Бары рукавов Прорвы и Потаповского быстро выдвигаются в море. Существовавший ранее между этими рукавами залив сильно обмелел, так как в последние годы особенно активизировался Очаковский рукав, по которому сосредоточена большая часть стока воды и взвешенных наносов. При сравнении разновременных КС видно, что разрозненные устьевые бары заметно увеличились по площади и соединились между собой. Под воздействием вдольберегового потока наносов; происходит рост двух параллельных кос в юго-западном направлении. Первая коса растет к бару Потаповского рукава, а вторая.— от двух обособленных устьевых баров, расположенных в северо-восточном направлении непосредственно при выходе речного потока в море.—Подводная часть

этой косы сейчас смыкается с подводной косой, отходящей от большого» о. Южный, что может привести к блокированию залива Отножный кут, который сейчас заметно заполняется.

На южном участке Килийской дельты растет надводная часть косы Восточная, сильно выдвигая в море устье Старостамбульского рукава.

Район бара Старостамбульского рукава и бухты Мосура характеризуется непрерывным ростом, бара и заилением бухты. При сравнении КС прослеживается выравнивание берегов бухты и сокращение площади ее акватории. Есть предположение, что бухта полностью будет блокирована и со временем заилится [1].

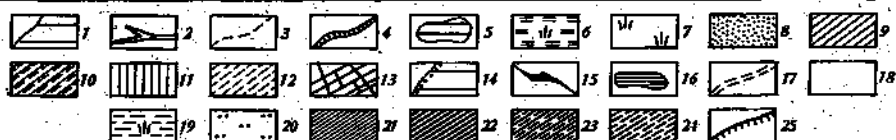
В районе взморья Дуная между устьями Сулинского и Георгиевского-гирла влияние речного стока очень мало; здесь наблюдается более сильное воздействие морских факторов на формирование берега и развитие абразионно-аккумулятивных процессов. Продукты размыва переносятся к устью Георгиевского рукава, где происходит их аккумуляция, способствующая выдвиганию берега и росту гряды Сэрэтуриле. пляж шириной более 1 км хорошо виден на снимках.

Южнее устья Георгиевского рукава происходит аккумуляция на одних и размыв на других участках берега. Об этом свидетельствует сложная система кос, валов и гряд в районе озер Разим, Синое. Главным звеном связи этих озер с морем в середине 60-х годов было гирло Портицы. На КС 1973 г. видно, что это гирло почти занесено наносами, а судя по КС 1980 г. гирло Портицы еще более закрылось. Вероятно, в будущем здесь будут производиться работы по очистке этого гирла, так как оно имеет важное значение для связи внутренних районов дельты с морем.

Гидрографическая сеть внутри территории дельты Дуная за последние 8 лет, судя по КС, практически осталась без изменения благодаря тому, что почти все берега основных русел Дуная еще в середине прошлого века для предотвращения наводнений были обвалованы, построены системы дамб и другие гидротехнические сооружения. Даже при сравнении с картами 100-летней давности [3] отмечалась стабильность основных русел. Она подтверждается и материалами космической съемки.

Произошли существенные изменения в системе озер плавневой части дельты. Эти озера представляют по существу открытые водные пространства среди обводненных тростниково-камышовых плавней и в связи с этим: отличаются непостоянством очертаний береговой линии. Для большинства озер характерно некоторое увеличение площади водной поверхности, что может быть связано и с различной гидрометеорологической обстановкой в 1972 и 1980 гг. Очень большие и разнонаправленные изменения озерной сети произошли в верхней части дельты между Килийским и Сулинским гирлами, в депрессиях Пардина и Шонтя-Фуртуна. Эти изменения, очевидно, связаны с мелиоративными работами в этом районе дельты, проводимыми в связи с сельскохозяйственным освоением земель депрессии: Пардина.

Депрессия Пардина прежде была самым озерным участком в верхней части дельты. Здесь между каналами Чамурлия — Готка и Пардина располагалась группа озер под общим названием Татанир. К 1980 г. в результате мелиоративных работ большая часть депрессии Пардина начала обсыхать. Площадь такого крупного озера, как Татанир, уменьшилась почти в 2 раза. Некоторые озера осушились полностью. На цветном синтезированном снимке, полученном в результате синтеза цветного изображения по трем зональным КС 1980 г., голубоватым тоном выделились лишние растительности заиленные участки вокруг этих озер, обнажившиеся при падении уровня водоемов. Этот КС свидетельствует также, что озера группы Татанир обмелели или имеют мутную воду, на что указывает светло-голубой цвет их изображения в отличие от темно-синего, почти черного* цвета изображения остальных более глубоких озер.



В отличие от депрессии Пардина депрессия ВДонтя-Фуртуна, наоборот, очень сильно обводнялась, в ней появились многочисленные небольшие озера сложной конфигурации. Возможно, это вызвано тем, что при осушении соседней депрессии Пардина дренажные воды сбрасывались в плавни депрессии Шонтя-Фуртуна, что привело к увеличению ее озерности.

Аналогичные изменения произошли и в обводненности плавней этих депрессий. В депрессии Пардина и в 1972 г. отмечалось развитие плавней, главным образом умеренного обводнения, а в 1980 г. их обводненность уменьшилась еще более и на цветных синтезированных снимках эта территория изобразилась наиболее светлым из всех плавней розовым цветом. В депрессии Шонтя-Фуртуна помимо образования многочисленных озер отмечается и общее увеличение обводненности территории, появление сильно обводненных плавней на месте плавней умеренного обводнения; на цветном синтезированном снимке они изобразились темно-красным цветом.

Природно-экономические условия дельты Дуная благоприятствуют развитию на ее территории сельского хозяйства. Увеличение земельных площадей, пригодных для сельскохозяйственного использования, представляет задачу большой важности. Оно возможно прежде всего за счет земельных ресурсов плавней, которые занимают огромные площади, но используются в хозяйстве в их естественном состоянии слабо, недостаточно эффективно. На территории СССР хозяйственное освоение плавней в широких масштабах началось только после Великой Отечественной войны. В настоящее время здесь у плавней отвоено более 30% территории, т. е. около 30 тыс. га.

При сравнении КС видно, что за 8 лет произошли большие изменения в сельскохозяйственном освоении дельты. На территории советской части дельты в порядке проведения мелиоративных работ построен крупный канал длиной около 10 км, соединяющий Килийское гирло и озерный массив в районе с. Приморского. На месте осваиваемых земель возникли новые рисовые поля, занимающие площадь порядка 15 тыс. га, что существенно увеличило размеры Лисковской рисовой системы.

На территории Румынии также разбиты новые рисовые поля общей площадью около 85 тыс. га на месте, мелиоративных земель к востоку от оз. Разим и в самой большой излучине Георгиевского гирла. На террасах Дуная к северу от оз. Разим, там* где в 1972 г. начиналось освоение земель, сейчас возделывают различные сельскохозяйственные культуры на общей площади порядка 50 тыс. га.

Таким образом, проведенная работа свидетельствует о том, что многозональные сканерные КС, получаемые системой «Фрагмент», представляют хороший материал для изучения многолетней динамики дельтовых об-

Рис. 3. Схема динамики дельты Дуная за 1972—1980 гг., составленная по космическим снимкам. Неизменившиеся участки дельты: 1 — береговая линия моря; 2 — русла постоянных водотоков; 3 — отмершие участки русел, сухие; 4 — отмершие участки русел, обводненные; 5 — озера; 6 — плавни сильного обводнения; 7 — плавни, умеренного обводнения; 8 — пески; 9 — рисовые поля на землях осушенных плавней; 10 — поля под техническими и зерновыми культурами на террасах; 11 — прочие сельскохозяйственные земли; 12 — осваиваемые земли; 13 — каналы с разделительными и ограничительными дамбами. Изменившиеся участки дельты: 14 — метавшаяся береговая линия моря; 15 — участки суши, появившиеся на месте моря; 16 — озера, появившиеся на месте плавней умеренного обводнения; 17 — сухие отмершие участки русел, появившиеся на месте обводненных отмерших участков русел; 18 — плавни умеренного обводнения, появившиеся на месте озер; 19 — плавни умеренного обводнения, появившиеся на месте плавней сильного обводнения; 20 — плавни слабого обводнения, появившиеся на месте плавней умеренного обводнения; 21 — рисовые поля, появившиеся на месте плавней; 22 — рисовые поля, появившиеся на месте осваиваемых земель; 23 — поля под техническими и зерновыми культурами, появившиеся на месте осваиваемых земель; 24 — осваиваемые земли на месте плавней; 25 — каналы, появившиеся к 1980 г.

ластей. Обеспечение в будущем территории дельт сериями разновременных КС, полученных идентичными съемочными системами, должно еще более расширить эти возможности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрология устьевой области Дуная /Под ред. Никифорова Л. Д., Дьякону К. М.: Гидрометериздат, 1963. 383 с.
2. Cotet P. Geomorfologia Romaniei. Bucuresti. Editura tehnica, 1973.
3. Кравцова В. П., Ушакова Л. А., Чекалина Т. И. Изучение динамики дельты Дуная с использованием материалов космической съемки.— Геоморфология, 1979, № 1, с. 50—67.

Географический факультет МГУ
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

DANUBE DELTA DYNAMICS STUDY USING SPACE IMAGES

EFREMOVA O. N., KRAVTSOVA V. I.

Comparison of multispectral scanner images of the Danube delta received by «Fragment» system in September 1980, with ones received by «Landsat» satellite in September 1972, was carried out and delta dynamics for 8 years was established. Composed map shows that the coastal line of the delta Kilijskaya part moved towards sea, dampness increased in some delta areas and decreased in others, agricultural areas in the delta enlarged by appearance of rice, fields on drained marshes and of other crops fields on terraces.

УДК55Щ7

РАЗВИТИЕ РЕЛЬЕФА ПОБЕРЕЖИЙ РИЖСКОГО ЗАЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

САФЬЯНОВ Г. А., КРАВИЦА В. И.

Многозональные сканерные снимки Рижского залива, полученные с помощью аппаратуры «Фрагмент» со спутника «Метеор» 24.УИ 1980 г. дают материалы для изучения не только современного состояния природной среды этого района в отношении ландшафтных, растительных и геоморфологических условий, но и для изучения динамических процессов на побережье происходивших в последние тысячелетия* — в период дегляциации последнего материкового оледенения Русской равнины, в ледниковое и новейшее время. Эти процессы нашли свое отражение в современных формах строения рельефа и растительного покрова территорий, отобразившихся на имеющихся космических снимках.

Анализ возможностей изучения геоморфологических особенностей побережий по снимкам, получаемым сканирующей системой «Фрагмент», с привлечением имеющихся литературных и картографических материалов, выполнен в лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и на кафедре геоморфологии Географического факультета МГУ.

Для изучения развития рельефа побережий использованы зональные изображения в трех спектральных зонах — оранжевой (0,6–0,7 мкм), красной (0,7–0,8 мкм) и ближней инфракрасной (0,8–1,1 мкм) масштаба 1:500000, охватывающие восточную часть Рижского залива Балтийского моря, включая залив Пярну на севере, а также восточное и южное побережья Рижского залива (рис; 1). На снимке в оранжевой зоне (0,6–0,7 мкм) хорошо различаются основные типы берегов, характерные для этого участка залива. Ажурные берега подчеркиваются белой полосой песчаных пляжей, окаймляют залив с юга и востока. Для северного побережья характерны низкие заболоченные берега с широкой зоной мелководья. На снимке в оранжевой зоне видны темные и светлые участки. В заливе Пярну, а также южнее о. Кихну, который виден в верхней части снимка, серым тоном, более светлым, выделяется территория, изобразились аккумулятивные формы донного рельефа на мелководных участках моря с глубинами до 5 м. Хорошо видны подводные, тянущиеся на север от о. Кихну и расположенного еще севернее о. Мания. Среди мелководий прослеживается узкая темная полоса подводного продолжения современного русла р. Пярну, огражденного молом; восточнее видна более широкая и расплывчатая полоса старого русла, указывающая на прежнее место впадения реки в залив. Основные формы подводного рельефа — мелководные банки и разделяющие их ложбины (не считая аккумулятивных кос и подводных русел) — вытянуты в направлении с юго-запада на северо-восток. Контуры возвышенных частей мелководных банок, которые находятся непосредственно под водной поверхностью, сохраняются на снимке в красной зоне (0,7–0,8 мкм), где прослеживаются также узкие вдольбереговые подводные валы у западного и восточного побережий залива, Пярну.

На снимках в красной (0,7—0,8 мкм) и особенно в ближней инфракрасной (0,8—1,1 мкм) зоне хорошо видны реки, впадающие в залив, — Пярну на севере, Гауя, Даугава и Лиелупе — на юге, а также многочисленные озера. Руслу более мелких рек прослеживаются с трудом.

Пеструю картину создает лесная растительность. Контуры лесов перемежаются с многочисленными безлесными участками и поселениями, сельскохозяйственными землями, болотами. Это хорошо видно на снимке в оранжевой зоне, где все леса изобразились темно-серым тоном, а безлесные территории: — светло-серым. На снимках в красной, а особенно в ближней инфракрасной зоне контуры лесов имеют разный тон изображения в зависимости от их породного состава и степени заболоченности.

Сложная картина изменения плотности фототона изображения лесной растительности на зональных снимках позволяет выявить спектральные образы доминирующих пород и разделить леса по породному составу, несмотря на летние сроки съемки, не самые благоприятные для этих целей.

> Древние аккумулятивные формы берегового рельефа, распространенные на восточном побережье залива, подчеркиваются темными контурами хвойных лесов, что хорошо видно на снимке в ближней инфракрасной зоне (сосновые леса произрастают на песчаных гривах). Узкие темные контуры таких лесов позволяют проследить серию древних береговых баров и аккумулятивных террас, а также олово-прибойных валов. Иной характер имеют ареалы хвойных лесов на северном и южном побережье залива в области развития аккумулятивного ледникового рельефа. Крупные лесные массивы подчеркивают контуры заливных полей и других форм ледниковой аккумуляции.

Благодаря индицирующей роли растительного покрова, а также по прямым геоморфологическим признакам по снимкам может быть выделено несколько геоморфологических областей (рис. 2). Для коренной суши это области развития ледниково-аккумулятивного рельефа и современной аллювиальной и приустьевой аккумуляции. Среди морских равнин выделяются: абразионно-аккумулятивная равнина Балтийского ледниковой озера; область развития береговых баров, косы аккумулятивных террас литорийового и позднейшего времени; днища лагун литоринового времени с реликтовыми озерами и позднейшей озерно-аллювиальной аккумуляцией; область современной прибрежно-морской аккумуляции.

Таким образом, в процессе дешифрирования космического снимка устанавливается несколько стадий развития рельефа территории.

Древнейшая стадия соответствует развитию ледниково-аккумулятивного рельефа последнего материкового оледенения Русской равнины.

В период дегляциации и существования Балтийского подпорожного ледникового озера большая часть поверхности современной аккумулятивной равнины низовьев рек Даугавы, Лиелупе и Гауя, а также значительная часть аккумулятивной равнины, примыкающей с востока к заливу Пярну, представляли собой довольно обширные мелководные заливы, глубоко проникавшие в пределы суши. Благодаря тому, что твердый сток реки (иш больше современного (0,44 млн. т/год для р. Даугава), юго-восточная часть Рижского залива быстро заполнялась. Однако большие размеры поверхности акватории с южной стороны, несомненно, способствовали увеличению длины разгона волн, действовавших в основном с юга на север вдоль восточного берега Рижского залива, обуславливая интенсивное вдольбереговое перемещение наносов. Хотя аккумуляция происходила вдоль всей трассы движения вдольберегового потока наносов, однако наиболее ярко она была выражена в дистальной (концевой) части аккумулятивной косы, находящейся ныне на восточном побережье Рижского залива (Восточно-Рижская коса). Вероятно, поступление рыхлых осадков на поверхность пляжа было значительным и за счет поперечного перемещения наносов, поскольку донные отложения подводного берегового склона были



Рис. 2. Геоморфологическая схема побережий Рижского залива, составленная по космическим снимкам. Рельеф коренной суши: 1 — ледниково-аккумулятивные всхолмленные равнины; 2 — современные аллювиальные и приустьевые аккумулятивные равнины. Рельеф озерно-морских равнин: 3 — абразионно-аккумулятивная равнина Балтийского ледникового озера*; 4 — днища лагун литоринового времени с реликтовыми озерами и позднейшей озерно-аллювиальной аккумуляцией; 5 — область развития береговых баров, кос и аккумулятивных террас: а — литоринового времени; б — позднейшего времени; 6 — области современной прибрежно-морской аккумуляции: а — в верхней части подводного берегового склона (отмели и банки), б — в надводной части; 7 — золово-прибойные валы; 8 — направление вдольберегового перемещения наносов литоринового и позднейшего времени; Р — озера

представлены моренным суглинком и флювиогляциальными отложениями с обильным включением пещаного и гравийно-галечного материала.

Вдольбереговое перемещение наносов того же направления сохранилось и в более позднюю стадию. Однако ввиду существенного изменения геоморфологических условий на подводном склоне с юга на север у корневой части косы имела место относительно слабо выраженная аккумуляция, а у дистальной части Сформировалась целая серия форм прибрежно-морской и эолвно-дюнной аккумуляции, которые до настоящего времени хорошо сохранили свои характерные крючковидные плановые очертания.

Этой стадии развития: Восточно-Рижской косы соответствует формирование внутренних берегов лагун литоринового времени. Их генеральное направление оказывается срезанным системой аккумулятивных валов более позднего времени. При этом происходит разворот контура берега в районе Рижского взморья по часовой стрелке;

Таким образом, на Рижском взморье к югу и западу от современного устья р. Даугава происходила аккумуляция, а к северу от устья она прак-

гически отсутствовала. Можно даже считать, что на крайнем юговосточном участке побережья Рижского залива происходил размыв. По этой причине прикорневая часть Восточно-Рижской косы имеет здесь минимальную ширину и практически выклинивается. В дистальной части косы происходила возрастающая по объему аккумуляция. По-видимому, в процессе вдольберегового перемещения наносов осуществлялась их гранулометрическая дифференциация, вследствие которой к заливу Пярну поступали относительно медкозернистые пески, что способствовало развитию здесь форм эоловой аккумуляции, дальнейшему заполнению залива Пярну и, в частности, образованию в нем мелководных банок.

Важное значение для интенсификации вдольберегового перемещения наносов имело сравнительно широкое раскрытие в то время Ирбенского пролива. Впоследствии из-за интенсивной аккумуляции в районе мыса Колка-фагс, которая по современным оценкам достигает 500 тыс. м³/год, происходило прогрессивное уменьшение ширины Ирбевоского пролива, что уменьшало волновое воздействие на восточный берег Рижского залива и сопровождалось снижением интенсивности вдольберегового перемещения наносов в этом районе. Можно считать, что аккумулятивный выступ мыса Колка-фагс выдвинулся на расстояние около 10—15 км.

Сравнительно широкое раскрытие Ирбенского пролива обеспечивало интенсивное вдольбереговое перемещение наносов и на юго-западном побережье Рижского залива. Аккумуляция из потока наносов обеспечила формирование внутренних контуров лагун литориновых времен, а затем привела и к отчленению ряда лагун, в том числе крупнейшей лагуны этого района — Энгуре.

В настоящее время единого вдольберегового потока наносов на восточном побережье Рижского залива не существует и от района Кюрмагс-происходит противоположно направленное вдольбереговое перемещение наносов [1], т. е. в этом районе имеет место дивергенция вдольбереговых потоков наносов.

Однако прежнее направление вдольбереговых наносов сохраняется к северу от района Кюрмагс, и на восточном берегу залива Пярну располагается участок интенсивной аккумуляции в дистальной части косы, которая сформирована этим потоком наносов.

В осуществлении аккумуляции из вдольберегового потока наносов важное значение имела внешняя блокировка центральной части Восточно-Рижской косы островом Рухну (этот остров не попал в рамки данного космического снимка). В результате аккумуляции уклон подводного склона до 10-м изобаты снизился до 0,0014. Для дистальной части косы и примыкающей акватории залива Пярну аналогичную роль по внешней блокировке сыграл о. Кихну. На этом участке вследствие аккумуляции уклоны подводного склона до глубины 10 м снизились до 0,001. Между тем для участка Рижского взморья в том же диапазоне глубин уклоны составляют 0,005, а для устьевой области р. Гауя и участка мелкобухтового изгиба контура берега в 20 км к северу от ее устья уклон составляет уже 0,01.

Таким образом, путем дешифрирования космического снимка удается не только выделить несколько этапов развития рельефа побережья Рижского залива, но и подметить важнейшую тенденцию динамических процессов береговой зоны на протяжении последних тысячелетий — распадение единого Восточно-Рижского вдольберегового потока наносов на ряд относительно мелких систем вдольберегового перемещения, что является отражением изменившихся внешних условий перемещения наносов. Опыт дешифрирования снимков Рижского залива еще раз подтвердил, что сопоставление статистических и динамических систем (форм рельефа и процессов, отражаемых ими) дает материал для построения ретроспективных моделей развития рельефа.

Сравнение снимков с имеющимися тематическими картами позволяет внести в них ряд уточнений. Так, область развития флювиогляциального

рельефа на восточном побережье залива в трактовке Геоморфологической карты Европейской части СССР масштаба 1:2 500 000 [2] по результатам анализа снимков должна быть отнесена к области развития морских аккумулятивных форм. Сопоставление снимков с картами растительности показывает, сколь сильно нуждаются в обновлении контуры и содержание карт лесов СССР, передающих весьма приближенную картину действительности. Снимки могут быть использованы для «существенной детализации (в контурной части) карт растительности — Геоботанической карты СССР масштаба 1:4000000 [3], а также региональных карт растительности более крупных масштабов. Содержание этих карт дает более богатую* характеристику растительности по сравнению со снимками; они могут быть использованы как отправной момент для дешифрирования лесной растительности по снимкам и уточнены с их помощью.

При составлении батиметрических карт возможно частичное использование снимков при проведении изобат по известным отметкам глубин в пределах мелководных районов северной части залива.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кнапс Р. Я.* Перемещение наносов у берегов Восточной Балтики. — В кн.: Развитие морских берегов в условиях колебательных движений морской коры: Таллин: Валгус, 1966, с. 21—29.
2. Геоморфологическая карта Европейской части СССР и Кавказа. М.: 1:2 500.000. Авторы: Карандеева М. В., Леонтьев О. К., Любцау С. В. — Под общей ред. Карандеевой М. В. Минвуз СССР, МИНГЕО СССР, 1966. Изд. БАТТ, 1970.
3. Геоботаническая карта СССР, М. 1:4000000. Авторы: Городков Б. Н., Исаченко Т. И., Лавренко Б. М. Ботанический ин-т АН СССР им. В. Л. Комарова. 1954.

Географический факультет МГУ
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

DEVELOPMENT OF THE RIZHSKIJ GULF COASTAL RELIEF ACCORDING TO SPACE IMAGES ANALYSIS

SAFYANOV G. A., KRAVTSOVA V. I.

Geomorphological scheme of coastal relief was compiled and dynamics of its development was analysed on the base of relief forms interpretation for the Rzhyskij gulf coast. AUuvium drift direction in the past was recovered and dynamics processes main tendency in coastal zone during the last thousand years was determined, namely: division of deposits drift because of changing of their dislocation outer conditions.

УДК 528.946

ИЗУЧЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

ЯНВАРЕВА Л. Ф.

Изучение сельскохозяйственного использования земель занимает центральное место в экономико-географических исследованиях сельского хозяйства. По сути оно очень многоаспектно, но в конечном итоге ставит своей целью выявление взаимосвязей между природными условиями и системами ведения сельского хозяйства, определение приуроченности отдельных видов сельскохозяйственного использования территории к тем или иным природным типам земель и местным экономическим условиям; [1]; Такое изучение использования земель дает научное обоснование целесообразной территориальной организации «сельского хозяйства».

До сих пор исходными материалами для изучения использования земель служили крупно- и среднемасштабные картографические материалы землеустройства, данные полевых обследований отдельных ключевых хозяйств, статистические материалы по отдельным сельскохозяйственным предприятиям, а также комплексы карт природы. Сбор и обработка таких детальных материалов на крупные территориальные единицы весьма затруднительны.

Использование материалов космических съемок открывает в этом отношении новые перспективы. Космические снимки дают не только довольно детальное отображение земельных угодий обширных территорий, но и значительно облегчают изучение приуроченностей отдельных видов хозяйственного использования к природным типам земель, так как могут одновременно быть интерпретированы в ландшафтном, геодинамическом, почвенном, геоботаническом аспектах.

В статье рассматривается возможность использования для вышеуказанных целей космических многозональных сканерных снимков с системы «Фрагмент» в масштабе 1:500000.

Снимки охватывают район, расположенный в пределах двух сменяющих друг друга с севера на юг географических зон — лесостепной и степной. Большую часть снимка занимает южная часть Калачской возвышенности, сильно расчлененной овражно-балочной сетью. На северо-западе в пределы снимка заходит часть Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнины. На крайнем юге, по правобережью Дона тянется Донецкая гряда, также сильно расчлененная эрозийной сетью.

Практически все водораздельное пространство и склоны распаханы (рис. 1). Овражно-балочная сеть как бы врезается в единый пахотный массив, создавая эрозийный рисунок территориальной структуры земельных угодий. Из сравнения космического снимка с топографической картой следует, что еще в 1960-х годах самые высокие части Калачской возвышенности не были распаханы. Целинные злаковые степи использовались в качестве пастбищ и сенокосов. Сейчас нераспаханными остались только естественные кормовые угодья по балкам и логом. Хозяйственное значе-

йие их невелико. Значительная часть оврагов и балок в верховьях залесёна и искусственно закустарена для предотвращения развития водной эрозии. Это хорошо проявляется на снимках в оранжевой зоне ($\lambda = 0,6 - 0,7$ мкм) резким потемнением фототона рисунка оврага или балки в верховьях.

Четко выделяющиеся на снимках в любой зоне долины крупных рек Дона и Хопра (их поймы и террасы) представляют собой сложную мозаику различных видов земельных угодий — чистых и закустаренных лугов, кустарников, лесных массивов. По правому высокому коренному берегу Дона, сильно расчлененному балками и оврагами, сельскохозяйственные угодья располагаются фрагментарно, мелкими обособленными участками, разделение которых по космическому снимку провести невозможно.

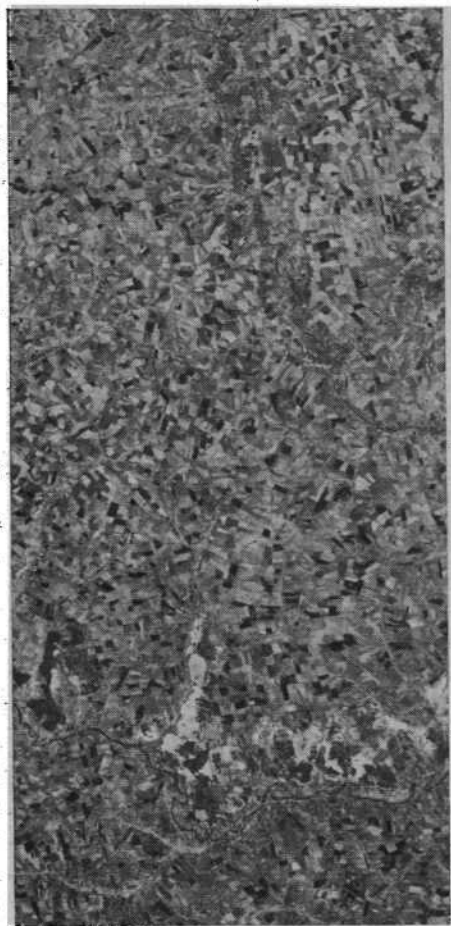


Рис. 1. Космический снимок Калачской возвышенности в красной зоне ($V = 0,7 - 0,8$ мкм)

Широкие левобережные террасы Дона и его притока Песковатки заняты также сложным комплексом угодий. Некогда злаковые степи чередовались здесь с участками песков*. Теперь большая часть террас занята сосновыми борами, в основном посаженными. Оставшиеся степные пастбища сильно сбиты.

Такая территориальная структура земельных угодий региона путем камерального дешифрирования мелко-масштабных снимков с системы «Фрагмент» позволяет составлять мелкомасштабные карты земельных угодий (рис. 2) с использованием топографических карт и карт размещения лесов.

Отграничение пашни и выделение естественных кормовых угодий по балкам и логом — первый и наиболее сложный этап в процессе дешифрирования земельных угодий.

Сравнение космического снимка с топографической картой близкого масштаба показало, что почти вся овражно-балочная сеть, показанная на карте, читается и на космическом снимке. Однако по снимкам невозможно

отделить овраги от балок и логов и, таким образом, разделить неиспользуемые в сельском хозяйстве земли и естественные кормовые угодья, приуроченные к балкам и логом.

Выделение пахотных земель может быть наиболее достоверно проведено по комплексу разновременных многозональных снимков. При дешифрировании использовались летние (июльские) и осенние (октябрьские) снимки;

Граница паши по бровкам крупных балок и логов наиболее резко выделяется на летних снимках в ближней ИК-зоне ($\lambda = 0,8 - 1,1$ мкм), где овражно-балочная сеть, имеет высветленный белесый фототон (рис. 3а). Однако мелкие балки здесь сливаются с фоном пашни. Более рельефно они отделяются на осеннем снимке этого же диапазона, где поля, распада-

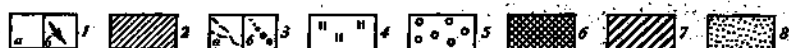
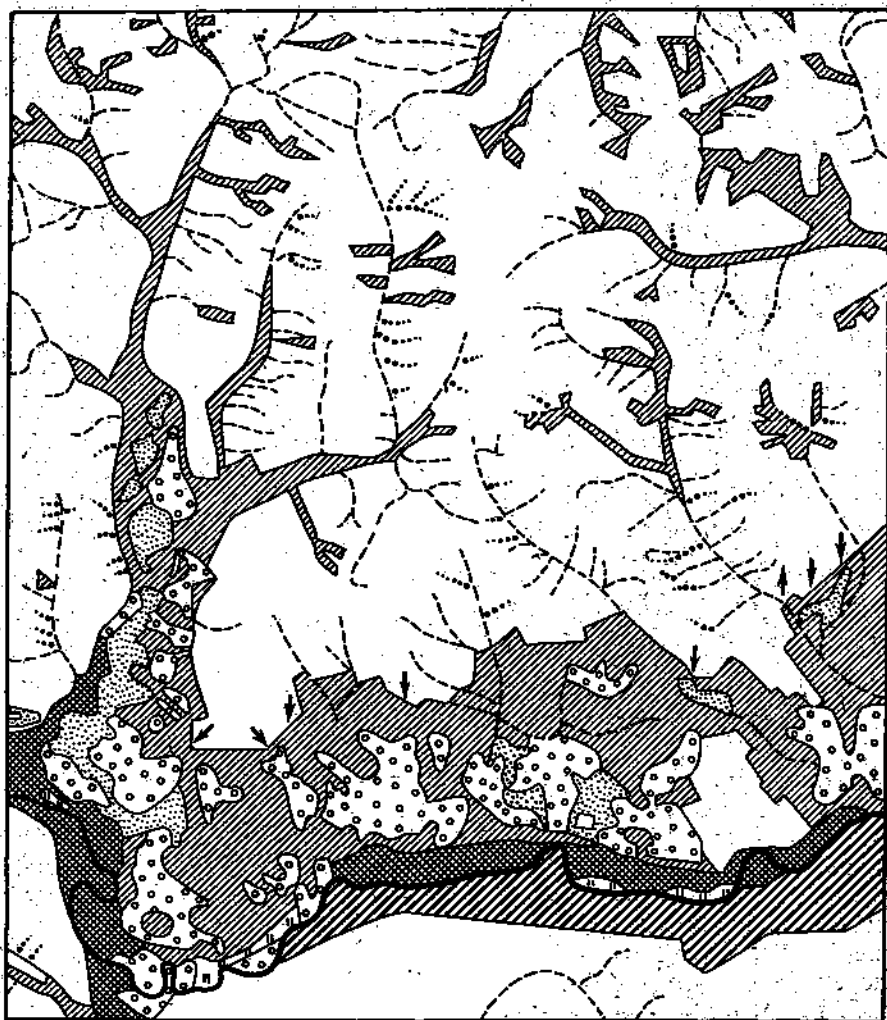


Рис. 2. Фрагмент карты земельных угодий, составленной по космическим снимкам с системы «Фрагмент». Земельные угодья: 1а — пашни, 1б — пашни эродированные; 2 — пастбища и сенокосы; 3 — пастбища и сенокосы по балкам и логам (а — чистые, б — закустаренные); 4 — сенокосы заливные; 5 — леса. Сочетания земельных угодий: 6 — леса по поймам рек в сочетании с лугами чистыми и закустаренными; 7 — пашни в сочетании с естественными кормовыми угодьями и землями, неиспользуемыми в сельском хозяйстве. Неиспользуемые земли: 8 — пески

ханные под зябь, темным, почти черным фототонем резко отличаются от серой балочной сети (рис. 3, б).

Достоверность выделения контуров пашни во многом зависит от размеров полей, четкости границ между ними и правильности их формы; Чем крупнее и правильнее по форме поля, тем легче отделять их от других видов угодий. Именно поэтому достовернее всего пашни дешифрируются в равнинных степных районах.

Размеры полей на снимке колеблются от 50—100 до 300—400 га. Шлики полей, занятые стерней зерновых и примыкающие к ним (бдсам Жилин) рассечены ими, дешифрируются плохо и провести границу пашни становится затруднительным. Наблюдаемая нечеткость границ пашни

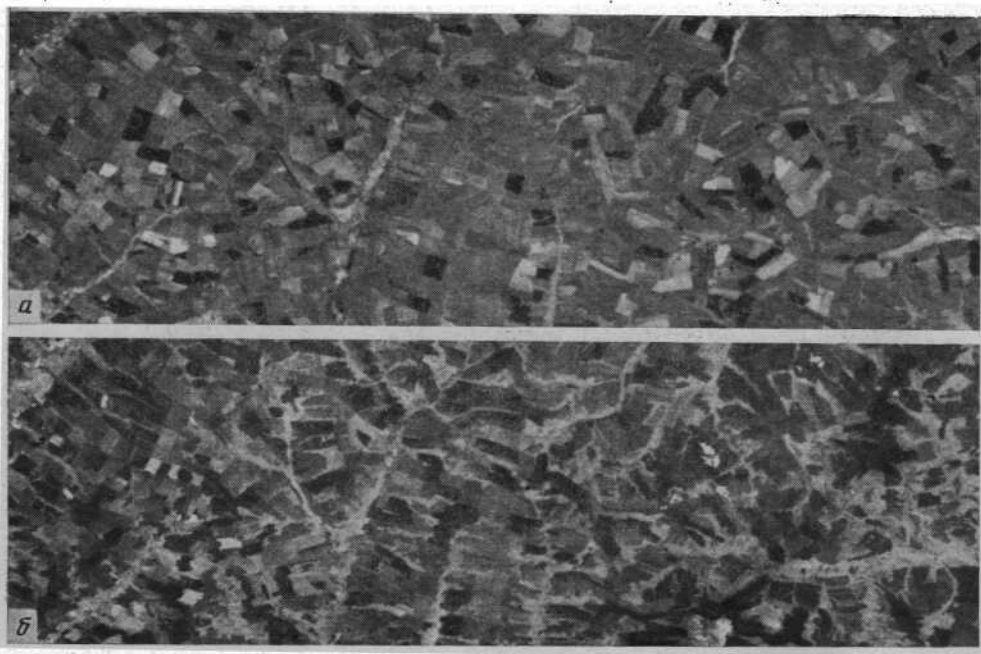


Рис. 3. Увеличенные фрагменты космических снимков в ближней ИК-зоне ($\lambda = 0,8-1,1$ мкм): *а* — летний снимок; *б* — осенний снимок

вдоль песчаных массивов террас Дона — свидетельствует об эродированности полей.

Формирование рисунка нарезки полей зависит от ряда факторов. Решающим образом на нем сказывается густота расчленения рельефа. В пределах Калачской возвышенности нарезка полей нерегулярна; различно ориентированные, они образуют сложную мозаику. Для наиболее возвышенной части Калачской возвышенности характерно размещение полей поперек склонов с образованием как бы купольных структур. Рисунок полей в пределах Хоперско-Бузулукской равнины отличается большей упорядоченностью. Прямоугольные поля вытянуты с северо-востока на юго-запад и образуют правильную структуру, подобную шахматной доске. Здесь границы пашни выделяются наиболее просто и достоверно.

Определенное влияние на формирование рисунка полей оказывает сеть административно-хозяйственных границ. На территории снимка сходятся границы трех областей (Воронежской, Ростовской и Волгоградской) и ряда административных районов. Все они хорошо прослеживаются либо по разноразнообразной нарезке полей, либо по изменению формы полей, вытянутости их вдоль границ. Столь же определенно дешифрируются границы сельскохозяйственных предприятий — колхозов и совхозов. При дешифрировании административно-хозяйственных границ используются районные или областные схемы землепользования.

На отделении пашни от других видов угодий сказывается выраженность границ между полями севооборотов. Это зависит от разнообразия культур в составе посевных площадей, соотношения в севооборотах различных групп культур и особенностей их фенологического развития. В некоторых случаях резкость границ полей может зависеть и от литолитического состава поверхностных отложений.

Как уже отмечалось, по сравнению с водораздельными пространствами долины рек отличаются большей сложностью структуры земельных угодий. Разрешение снимков с системы «Фрагмент» не позволяет проводить дифференциацию угодий в долинных комплексах. Дальнейшее увеличение

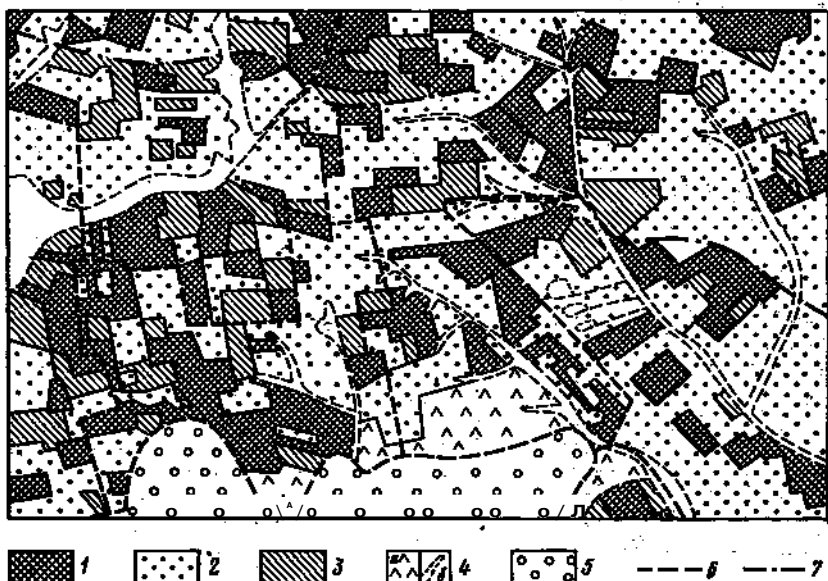


Рис. 4. Фрагмент карты использования земель. Сельскохозяйственные культуры: 1 — пропашные (подсолнечник и кукуруза); 2 — непропашные (зерновые озимые и яровые и др.); 3 — чистые пары. Естественные кормовые угодья: 4а — степные по террасам рек, 4б — по балкам и логом; 5 — земли государственного лесного фонда, 6 — границы землепользовании колхозов и совхозов; 7 — границы административных районов

масштаба снимков или использование синтезированных цветных изображений не дает положительного эффекта при дешифрировании долинных структур земельных угодий. На летнем снимке оранжевой зоны по структуре изображения удалось отделить чистые луга от кустарников и закустаренных лугов лишь в широкой пойме Дона. По более темному тону снимков уверенно выделяются леса. В долине Хопра и по правобережью Дона можно выделить только сочетания земельных угодий, хотя границы таких сочетаний проводятся очень уверенно по летним снимкам в любой зоне.

Составление схемы дешифрирования земельных угодий и выявление границ их контуров возможно только путем анализа всех зональных изображений за два срока.

Несмотря на невозможность получения детальной информации о размещении земельных угодий, особенно для долинных комплексов, космические снимки дают существенные преимущества при изучении приуроченности определенных видов сельскохозяйственного использования к природным типам земель. На снимке очень ярко проявляются особенности организации территории в зависимости от рельефа, степени его расчленения.

Дешифрирование космических снимков открывает большие возможности при изучении форм земледелия как сложившихся способов сельскохозяйственного использования земель. Территория снимка — типичный район зернового земледелия с большой долей посевов зерновых культур для производства товарного зерна. Зерновое земледелие сочетается с молочно-мясным животноводством. Незначительный удельный вес естественных кормовых ресурсов в общем объеме земельных угодий говорит о том, что кормовая база животноводства основывается на полевом кормопроизводстве. Лишь в поймах долин Дона и Хопра заливные луга имеют хозяйственное значение.

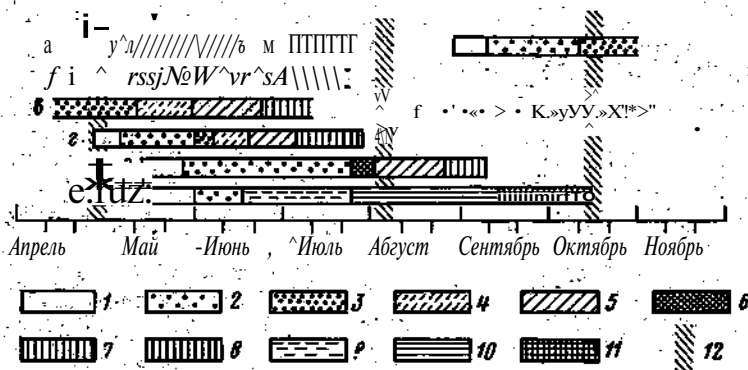


Рис. 5. Диаграммы фенологического развития сельскохозяйственных культур: а—Озимая пшеница, б—яровая пшеница, в—озимая рожь, е—яровой етмень, ~d—кукуруза, е—подсолнечник. Этапы органогенеза: *·/-?посев, 2—входы, 3—кушение, 4—выход в трубку, 5—колошение и цветение, ^—выметывание метелки, 7 г-молочная спелость, 5—восковая спелость, 9—образование соцветий подсолнечника, ^—созревание подсолнечника, 10—побуреете корзинки подсолнечника, 12—рекоменуемые сроки съемки

Основным показателем системы использования пахотных земель в пределах хозяйств является соотношение групп культур (пропашных, непропашных, многолетних и однолетних трав), играющих различную роль в севооборотах, а также чистых и заятых паров. Соотношение этих групп культур позволяет получить представление о типах севооборотов.

Анализ и дешифрирование снимков дают возможность получить такие сведения. Предварительно на снимках определяются границы сельскохозяйственных предприятий для выявления соотношений групп культур в пределах: конкретных хозяйств — колхозов и совхозов. Соотношение /раз-личных" групп культур в посевной площади хозяйства, конечно, не дает точного представления о роли культур в конкретных севооборотах, но является все же достаточно достоверным показателем, позволяющим судить о формах земледелия. Когда проводится изучение форм земледелия на больших территориях обычно пользуются обобщенными статистическими данными по административным районам и даже областям. Космический снимок позволяет получить необходимую информацию не только по хозяйственным значительных территорий, но и увидеть размещение различных групп культур по территории хозяйств, т. е., приблизиться к изучению реально применяемых севооборотов (рис. 4). С увеличенного синтетической космического снимка легко извлекается информация о сельскохозяйственных культурах; на нем сравнительно просто выделяются группы культур, разделение которых по зональным черно-белым снимкам является ложной процедурой.

На синтетизованном снимке от 30.VII выделяется три типа полей: поля, занятые непропашными зерновыми культурами — озимыми и яровыми (серо-голубого цвета) и пропашными культурами — подсолнечником и кукурузой (оранжевого цвета), и вспаханные поля (темно-синего цвета). Разделение культур на пропашные и непропашные оказалось возможным благодаря различным срокам наступления основных стадий фенологического развития культур этих двух групп. Построенные диаграммы проведения сельскохозяйственных культур различных фенофаз и этапов органогенеза (по средним многолетним данным и данным на год съемки) показали, что яровые и озимые зерновые культуры (озимая пшеница,

⁴ Для дешифрирования культур использовались данные по размещению культур в ключевых хозяйствах, собранные М. А. Шепель.

озимая рожь, яровой ячмень) в южной части района, съемки достигли полной спелости и были уже убраны (рис. 5). Пропашные культуры находились на разных стадиях вегетации: подсолнечник - на этапе цветения, тсукруз - на этапе выметывания метелки/ Распаханные йоля представляли собой чистые пары, подготовленные к посеву озимых культур. На осеннем снимке за 10.X они отличаются от полей под зяблевой вспашкой, так как посеянные на них озимые зерновые достигли уже стадии кушения.

Однако по летним и осенним снимкам нельзя подучить представление о размещении доли озимых культур в севооборотах. Для этих целей лучше всего использовать снимки, сделанные в период, когда на полях еще не появились всходы яровых культур, а озимые возобновили вегетацию на стадии кушения.

Определение необходимых сроков съемки для различных географических районов может быть проведено по диаграммам вегетационного развития сельскохозяйственных культур, построенным по средним многолетним данным с поправкой на метеорологические условия конкретного года.

Анализ разновременных снимков в койетабм результате позволяет определить соотношение культур в посевных площадях, долю паров и, таким образом, получить информацию об использовании пахотных земель и типах севооборотов*. Например, на рассматриваемой территории применяются главным образом зерно-паро-пропашные севооборота с большой долей озимых и яровых непروطашных зерновых культур.

Изучение форм земледелия предусматривает исследование применяемых приемов агротехники и мелиорации, систем мероприятий для предотвращения водной или ветровой эрозии, внесения удобрений и т. п. Обычно, используя космические снимки для выявления комплекса применяемых противодефляционных мероприятий в сухостепных районах, мы располагаем целой системой внешних признаков: наличие полевых защитных лесополос, полосное размещение сельскохозяйственных культур и чистых паров, значительная доля многолетних и однолетних трав в севооборотах, специфическая ленточная нарезка полей поперек направления господствующих ветров [2].

Изучение системы противоэрозионных мероприятий по космическим снимкам более затруднительно. На космических снимках не находят отражения агротехнические мероприятия: контурная вспашка, безотвальная обработка почвы, обвалование зяби или ее бороздование и другие виды противоэрозионной обработки полей, направленные на уменьшение плоскостного смыва. То же можно сказать о гидротехнических мероприятиях — создании валов-террас на склонах, оврагоукрепительных сооружений. На снимках с системы «Фрагмент», как уже говорилось, дешифрируются водорегулирующие прибалочные и приовражные лесонасаждения, но полевые защитные лесополосы по ним отдешифрировать не удастся.

Необходимо отметить, что в нарезке полей недоучитывается подверженность земель водной эрозии, несмотря на ее значительное развитие в данном районе.

Сплошное изучение хозяйственного использования территории по космическим снимкам должно опираться на полевые исследования ключевых типовых хозяйств, выбор которых может быть проведен на основе предварительного дешифрирования.

В конечном итоге применение космических снимков при изучении сельскохозяйственного использования земель должно способствовать «географизации» территориальных экономико-географических исследований, созданию карт, отражающих взаимосвязи природных условий и современного сельскохозяйственного использования территории.

Опыт анализа космических снимков с системы «Фрагмент» показал их пригодность для составления и обновления мелкомасштабных карт использования земель, типов организации территории, форм земледелия в степной и лесостепной зонах.

Изучение сельскохозяйственного использования земель во всех своих аспектах требует использования разновременных снимков. Поэтому космические снимки с системы «Фрагмент», несмотря на недостаточно высокое разрешение, приобретают особую ценность* для сельскохозяйственного дешифрирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ракитников А. Я.* География сельского хозяйства. М.: Мысль, 1970. 341 с/
2. Исследование природной среды космическими средствами. География. Методы космической фотосъемки. Т. 4, раздел «Сельское хозяйство». М.: ВИНТИ, 1975, с. 57-67.

Географический факультет
МГУ им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

STUDY AND MAPPING OF AGRICULTURAL LAND USE WITH SPACE IMAGES

YANVAREVA L. P.

Possibilities of the multirate and multispectral «Fragment» scanner images use for investigation of regional structures of land use and systems of agriculture were estimated (steppe zone as an example). Interpretation technique is described for lands, crops groups and by the systems of external features of agrotechnical and reclamation measures. Predominance of space images use comparatively to the ground methods is proved because of space information permanence and its larger regional differentiation.

УДК 528.946

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

КОТОВА Т. В., ИСРАВЦОВА В. И., МАКАРЕВИЧ А. К.

Возможности изучения и картографирования лесной растительности по снимкам, получаемым с помощью экспериментальной системы «Фрагмент», исследовались на примере одного из северных районов Европейской части СССР. Анализ, изображения лесной растительности выполнен в лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и проблемной лаборатории комплексного картографирования и атласов Географического факультета МГУ.

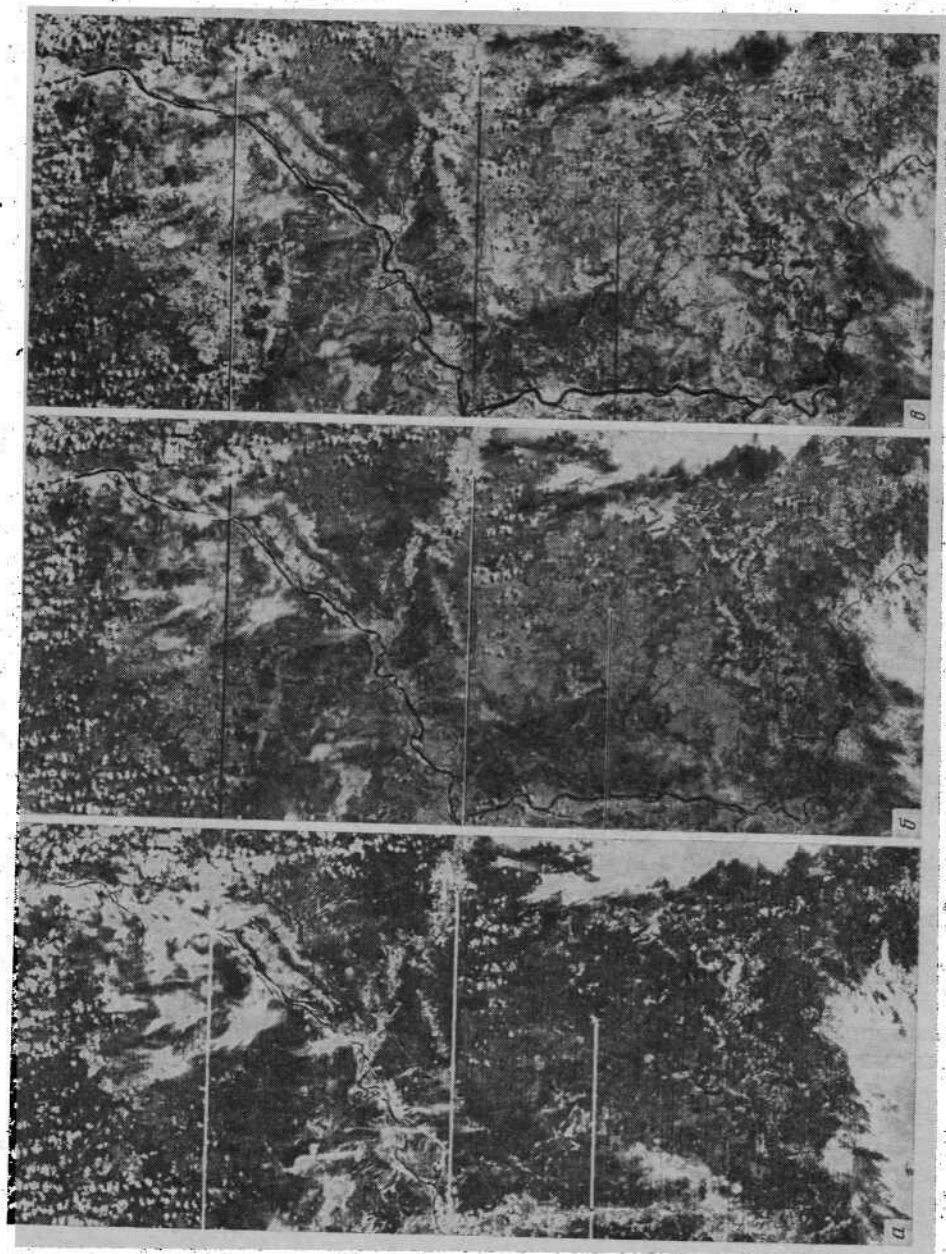
Предшествующий опыт работы с многозональными космическими снимками показал, что сканерные снимки со спутника «Landsat» в четырех спектральных диапазонах с разрешением 80 м пригодны для картографирования типов лесной растительности, разделения хвойных, лиственных и смешанных лесов, но не обеспечивают разделения лесов, различающихся по таксационным характеристикам. К такому выводу пришли канадские специалисты [1]. Существенно перспективней в отношении картографирования лесов оказались многозональные фотографические снимки, полученные камерой МКФ-6, на которых удавалось разделять леса не только по породному составу, но и по некоторым таксационным показателям [2—4]. Интересно определить место снимков, получаемых аппаратурой «Фрагмент», в системе материалов космической съемки.

Для анализа изображения лесной растительности использовались снимки, выполненные в оранжевой (0,6—0,7 мкм), красной (0,7—0,8 мкм) и ближней инфракрасной (0,8—1,1 мкм) зонах, полученные 30.VII. 1980 г.; работа велась на отпечатках масштаба 1:500.000.

Анализируемый снимок (рис. 1) охватывает верховья Северной Двины в районе слияния ее правого притока — р. Вычегды с р. Малой Северной Двиной. Этот район расположен на стыке границ трех областей — Архангельской, Вологодской и Кировской.

Район представляет слабовсхолмленную равнину, расчлененную долинами рек. На снимках в красной (0,7—0,8 мкм) и ближней инфракрасной (0,8—1,1 мкм) зонах четко выделяются черные полосы русел рек Малая Северная Двина, Вычегда, Юг, Луза, окаймленные светлыми песчаными косами и отмелями. В поймах наиболее крупных рек — Малой Северной Двины и Вычегды — видны старичные озера, пойменные луга. Характерно наличие болот и заболоченных участков на высоких террасах, гривистолужбинный рельеф которых подчеркивается растительностью определенных типов.

Большая часть территории залесена. Это хорошо видно по снимку в оранжевой зоне (0,6—0,7 мкм), где безлесные участки изобразились светло-серым, а залесенные — серым и темно-серым тоном. Район съемки относится к подзоне среднетаежных лесов и подзолистых и болотных почв. Первичные леса преимущественно хвойные (сосна, ель), имеющие темный тон изображения на снимках в красной и ближней инфракрасной зонах.



1. Снимки с аэроплана
 в части Северного
 района. Даны
 с оценой в
 альной с-е
 «Фрагмент» в
 тральных ак: а —
 (0,8—0,9 мкм);
 б — (0,7—0,8 мкм);
 в — (0,6—0,7 мкм).
 Нижней инфракрасной
 1,1 мкм.

Березовые и березово-осиновые леса, изобразившиеся в этих зонах светло-серым тоном, в этом районе являются вторичными.

Сельскохозяйственная освоенность территории сравнительно невелика. Пахотные земли сосредоточены в приречных районах; вместе с пойменными лугами, составляющими основную кормовую базу молочного животноводства, они образуют светлое тоновое «обрамление» долин на снимке в оранжевой зоне.

Ярким светлым тоном выделяются на снимках в оранжевой зоне и крупные города — Котлас у слияния Малой Северной Двины и; Вычегды, Великий Устюг на левом берегу Малой Северной Двины, Коржма на левом берегу Вычегды, Луза на правом берегу одноименной реки. Вдоль Вычегды протянулась светлая линия широкой просеки. На снимке в оранжевой зоне видны светлые прямоугольники вырубок на темном фоне лесов, свидетельствующие о промышленном использовании древесины. На этой сырьевой базе работают предприятия лесопильной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в Котласе и Великом Устюге».

На давнее интенсивное использование лесов указывает также замена хвойных пород лиственными на значительной части территории. С привлечением других источников информации по этому району удалось выявить заболоченность некоторых вырубок.

Снимки в разных спектральных диапазонах передают различные черты строения растительного покрова и должны использоваться для решения разных задач.

На снимке в оранжевой зоне хорошо видны границы безлесных территорий как по долинам рек (пойменные луга, болота, сельскохозяйственные земли, селитебные территории), так и на междуречных пространствах (вырубки, болота на месте вырубок). По этим снимкам возможно выделение безлесных участков среди лесных массивов (главным образом контуров вырубок) площадью порядка 2 км^2 на снимке масштаба 1: 500 000 (или $0,5 \text{ км}^2$ в натуре). Дифференциация тонов внутри лесных массивов на снимках этой зоны очень слабая. На снимках в красной и ближней инфракрасной зонах менее четко выделяется границы лесов — безлесные территории не имеют столь светлого тона изображения, как в оранжевой зоне, но площади лесов очень четко дифференцируются по тону изображения. Сопоставление снимков с топографическими картами и картами лесов показывает, что различия в фототоне вызваны изменениями породного состава лесов. На основе сопоставления снимка с картами лесов Архангельской (масштаб 1:2 000 000), Кировской (1:1250 000), Вологодской (1:1250 000) областей и с геоботанической картой Нечерноземной зоны РСФСР (1:1500 000) установлены дешифровочные признаки лесов разного породного состава, характерные для них изменения в плотности фототона изображения при переходе от одной съемочной зоны к другой, т. е. спектральный образ интересующих нас объектов дешифрирования. Кривые спектрального образа основных объектов представлены на рис. 2. Они получены путем визуальных измерений плотности изображения на позитивных отпечатках снимков с помощью эталонированной шкалы плотностей и характеризуют изображение этих объектов не вообще, а только на использованных нами отпечатках.

Кривые спектрального образа дают наглядную картину изменения плотности изображения основных объектов дешифрирования на зональ-



Рис. 2. Кривые спектрального образа различных типов лесной растительности на снимках, полученных многозональной сканирующей системой «Фрагмент»

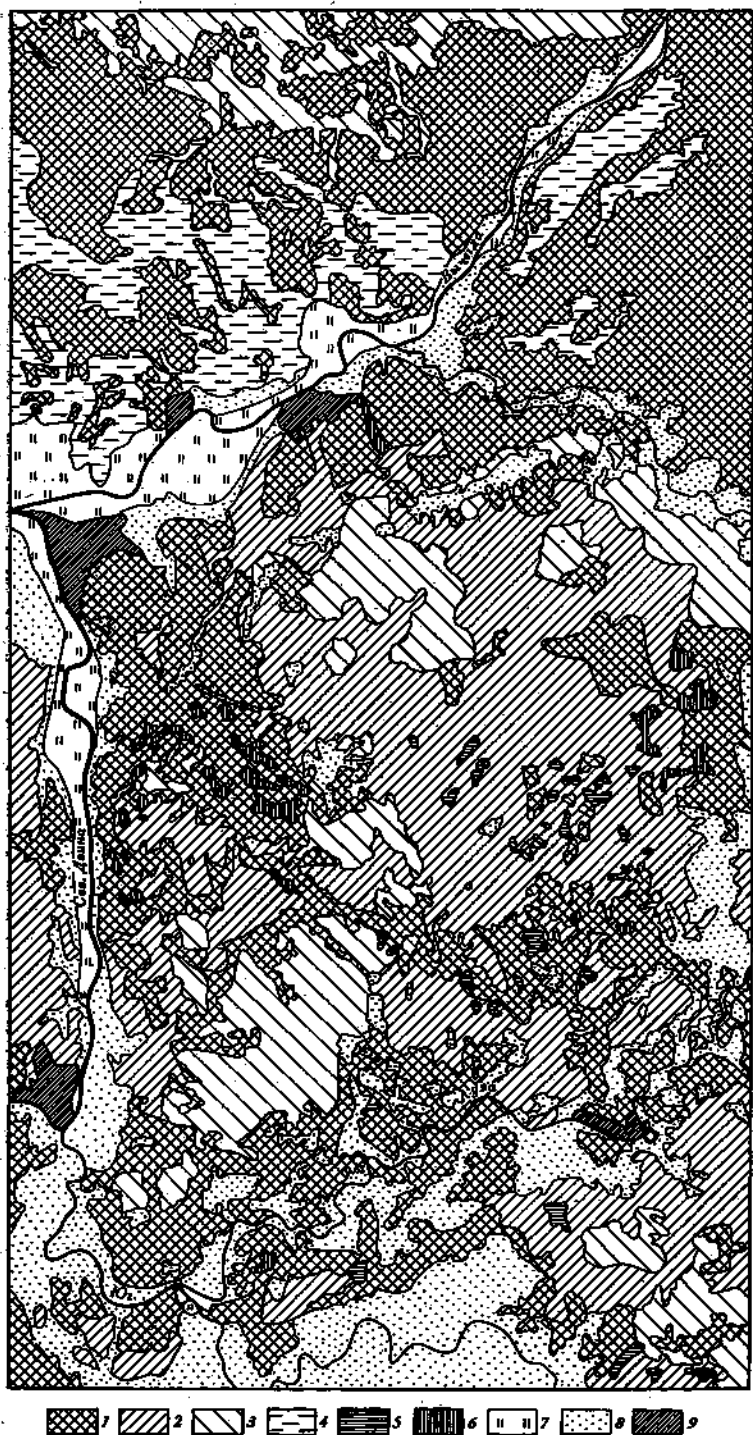


Рис. 3. Схема дешифрирования лесов района верховьев Северной Двины, составленная по космическим снимкам. Леса: 1 — хвойные (ель, сосна); 2 — смешанные (ель, сосна, береза, осина); 3 — лиственные (береза, осина). Нелесные площади: 4 — болота по долинам рек; 5 — заболоченные участки на месте вырубок; 6 — вырубки; 7 — пойменные луга; 8 — селитебные и сельскохозяйственные земли; 9 — городские территории

ных снимках. Они подтверждают, что на снимках в оранжевой зоне без-^{*}лесные территории имеют наибольшую яркость изображения (по сравнению с другими объектами). Поэтому на этих снимках лучше всего выделяются границы лесов, но разделение по ним пород невозможно, так как леса разных типов в этой зоне характеризуются близкими значениями плотности изображения. На снимках в красной зоне повышается яркость изображения лиственных лесов, что позволяет выделить контуры хвойных, смешанных и лиственных лесов, различия в плотности изображения которых составляют $\Delta E = 0,2$. На снимках в ближней инфракрасной зоне эти различия еще более усиливаются, хвойные леса изображаются темно-серым, почти черным тоном ($D = 1,0$), смешанные — серым ($J = 0,6$), а лиственные — светло-серым ($E = 0,2$); различия в плотности изображения $\Delta Z \geq 0,4$ обеспечивают надежное разделение этих типов леса. Однако при этом таким же светло-серым тоном, как и лиственные леса, изображаются безлесные территории. Совместное же использование зональных снимков позволяет отдешифрировать весь необходимый набор объектов. При этом можно рекомендовать определенную наиболее целесообразную последовательность использования зональных снимков для дешифрирования. На первом этапе по снимкам в оранжевой зоне выполняется дешифрирование границ лесов, разделение лесных и нелесных площадей. Затем по снимкам в ближней инфракрасной зоне производится разделение лесов по породному составу на хвойные, смешанные и лиственные. После такого смыслового расчленения объектов производится корректировка рисунка их контуров по снимкам в красной зоне, имеющим наилучшее разрешение.

Результаты дешифрирования лесной растительности по космическому снимку представлены на рис. 3. Показанная на нем схема лесов сопоставлялась с изданными картами лесов и геоботаническими картами близких масштабов, например «Геоботанической картой Нечерноземной зоны РСФСР» масштаба 1:1500000. По сравнению с этой картой составленная схема дешифрирования не дает обогащения содержания. Напротив, на изданной карте, например, расчленяются еловые и сосновые насаждения, чего не удастся сделать по космическим снимкам. Однако детальность выделения контуров на составленной по космическим снимкам схеме значительно выше; они точно локализованы и хорошо увязываются с рисунком других природных элементов (речных долин и т. д.). Это свидетельствует о возможности повышения детальности среднемасштабных карт лесов при использовании материалов космической многозональной сканерной съемки.

Таким образом, снимки, получаемые многозональной сканирующей системой «Фрагмент», могут найти применение при мелкомасштабном и среднемасштабном картографировании лесов. Однако, способствуя детальной и географически правильной рисовке контуров, они не обеспечивают полностью содержательной части карт и при работе с ними необходимо привлечение многих дополнительных материалов. Составление же карт лесов с подробной характеристикой породного состава и таксационными показателями по ним, к сожалению, невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manual of Remote Sensing. V. I, II. Washington, 1976. 2144 p.
2. Камышан О. Л., Кравцова В. И. Картографирование север- и среднетаежных лесов на примере Центральной Якутии. — В кн.: Космическая съемка и тематическое картографирование. Географические результаты многозональных космических экспериментов. М.: Изд-во МГУ, 1980, с. 85—96.
3. Котова Т. В., Гаранина И. Я. Изучение горнотаежных лесов и их антропогенной динамики с целью мелкомасштабного картографирования на примере Предбайкалья. — В кн.: Космическая съемка и тематическое картографирование. Географические результаты многозональных космических экспериментов. М.: Изд-во МГУ, 1980, с. 96—105.

4. Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве / Под ред. Сухих В. И., Сеницына С. Г. М.: Лесная промышленность 1979. 288 с.

Географический факультет МГУ
ли, М. Б. Ломоносова

• v Поступила в редакцию
28.IV.1981

FOREST MAPPING ON THE BASE OF SPACE IMAGES

KOTOVA T. VI, KRAVTSOVA V. I., MAKAREVICH A. K.

Forests study and mapping possibilities were analysed using the «Fragment» system images for the upper reaches of the North Dvina river. The images allow to interpret areas covered with forests and without them as well as to recognize coniferous, mixed and leaf-bearing ones. The detailed interpretation is secured of areas with forests and without them under dimensions more then 0,5 km², the species definition being made only generally.

УДК 528.946

ИЗУЧЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ПО МАТЕРИАЛАМ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНЕРНОЙ СЪЕМКИ

КРАВЦОВА В. И., НИЗКАЯ И. С.

Задачи рационального природопользования, и охраны окружающей среды требуют разработки мобильных методов контроля за антропогенным воздействием на природную среду, в числе которых первостепенное значение придается космическому мониторингу [1—3]. Главным инструментом космического мониторинга может стать многозональная сканерная съемка хорошего разрешения, обеспечивающая оперативное и долгосрочное слежение за воздействием на природу. В этой связи важно проанализировать возможности использования снимков, получаемых с помощью аппаратуры «Фрагмент», для изучения антропогенного воздействия на природную среду.

Для анализа возможности изучения антропогенного воздействия на природу были выбраны районы, находящиеся вне основной земледельческой зоны и резко различающиеся как по своим природным условиям, так и по характеру хозяйственного освоения. Это таежные районы Севера европейской части СССР и пустынные районы Средней Азии (центральная часть плато Устюрт), в которых соответственно анализировалось антропогенное воздействие на лесную растительность и пустынные ландшафты.

Для изучения антропогенного воздействия на лесную растительность был использован снимок, частично охватывающий территорию трех областей: Архангельской, Вологодской и Кировской (рис. 1). В этом районе сосредоточены богатые лесные ресурсы, промышленная переработка которых ведется на предприятиях городов Котлас, Сольвычегодск, Коржма, Великий Устюг и Луза,

Снимки этой территории интересны тем, что на них хорошо отобразились результаты хозяйственного освоения. Видны светлые пятна городов, сельскохозяйственные угодья, широкие просеки. Это элементы антропогенного воздействия, связанные с освоением территории. Антропогенное воздействие отрицательного характера сказывается здесь главным образом в уничтожении лесной растительности, нарушении или изменении ее породного состава. По косвенным признакам можно судить об изменении почвенного покрова (заболачивание на местах вырубок). Эти черты антропогенного воздействия, расшифрованные по снимку, отражены на схеме (рис. 2).

Дешифрирование проводилось по снимкам в трех зонах: оранжевой (0,6—0,7 мкм), красной (0,7—0,8 мкм) и ближней инфракрасной (0,8—1,1 мкм). Для дешифрирования различных объектов использовались различные зональные снимки. Это обусловлено неодинаковой информативностью изображений территории в трех указанных зонах. Так, для выяв-

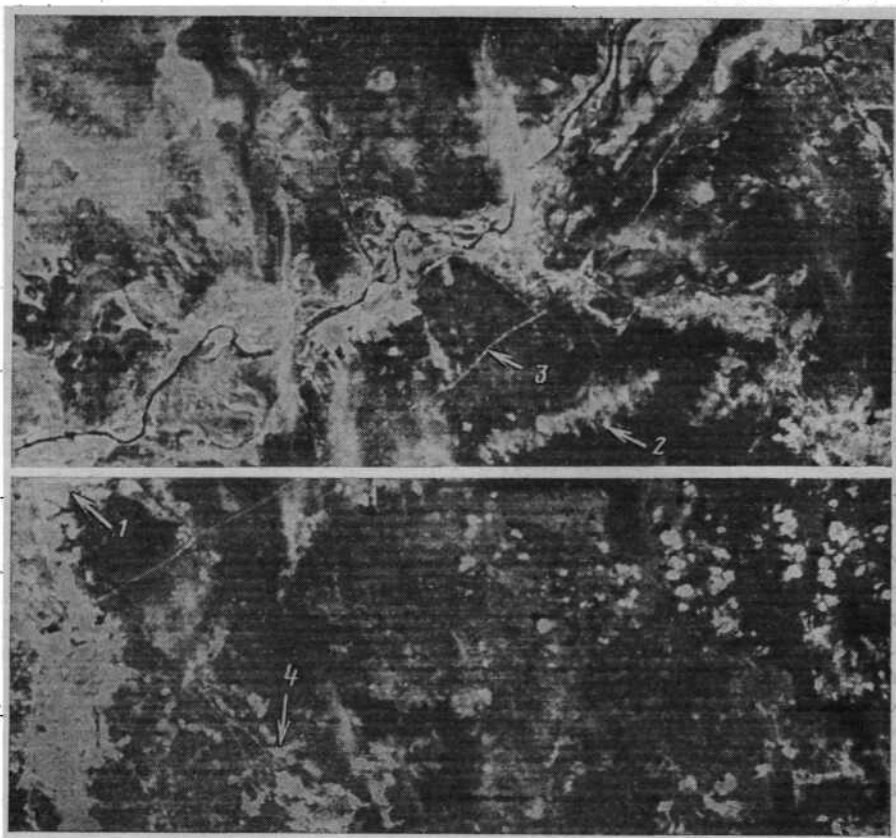


Рис. 1. Фрагмент снимка района г. Котлас, полученного с помощью многозональной сканирующей системы «Фрагмент», в зоне 0,6–0,7 мкм и изображение на нем некоторых антропогенных элементов: 1 — города; 2 — селитебные и сельскохозяйственные земли; 3 — широкая просека; 4 — вырубки

ления участков, где антропогенное воздействие отражено наиболее ярко,, оптимальным оказался снимок в оранжевой зоне. По нему довольно четко выделяются беслесные территории различного происхождения и использования, благодаря светлomu тону их изображения. Например, по снимку хорошо дешифрируются беслесные участки городских территорий, расположенных вдоль рек, изобразившиеся в виде светлых пятен неправильной формы. Также отчетливо на снимке видны селитебные и сельскохозяйственные земли (без расчленения). Их светлые контуры в виде полоа с изрезанными границами протягиваются по долинам крупных рек, а также вдоль небольших долин среди лесных массивов, изобразившихся темно-серым тоном. Довольно четко, хотя местами фрагментарно, выделяются широкие просеки.

Другой вид воздействия человека на лесную растительность и почвенный покров проявляется как результат систематического сведения хвойных лесов в промышленных целях. По снимкам в оранжевой зоне дешифрируются вырубки. Как правило, это светлые пятна небольших размеров (не более 4–5 мм² на снимке масштаба 1: 500000) с прямоугольными границами, расположенные главным образом вдоль рек, вблизи населенных пунктов.

Можно указать еще на один, не менее важный признак: вырубки находятся в основном в местах распространения хвойных пород, так как в целлюлозно-бумажной промышленности ценится прежде всего»



Рис. 2. Схема антропогенного воздействия на лесную растительность в районе г. Котлас. I. Уничтожение лесной растительности в результате антропогенного воздействия (безлесные участки): 1 — под городскими застройками; 2 — под селитебными и сельско-хозяйственными землями; 3 — вдоль широких просек; 4 — вырубki; 5 — вырубki; 6 — заболоченные вырубki; 7 — заболоченные вырубki. II. Изменение породного состава лесной растительности в результате антропогенного воздействия; # — полная замена коренных хвойных лесов лиственными лесами; 9 — частичная замена коренных хвойных лесов смешанными лесами. III. Прочие обозначения; 10 — леса; 11 — пойменные луга; 12 — болота

ель. Поэтому в качестве дополнительного материала при дешифрировании вырубok целесообразно использовать снимок в красной зоне, по которому возможно разделение лесов по породному составу. На снимке в этой зоне хвойные леса изобразились темным тоном. По снимку в оранжевой зоне можно выделить такие антропогенные образования, как заболоченные вырубki, правда, с использованием дополнительных картографических источников. Такова одна сторона воздействия человека на природу в данном районе.

Другой вид воздействия проявляется в изменении породного состава северо-европейских хвойных лесов в результате их многолетнего использования как ценного источника древесины. Эти изменения выражаются либо в частичной замене коренных хвойных лесов смешанными, либо в полной замене лиственными лесами. Указанные изменения лучше всего отразились на снимках в красной и ближней инфракрасной зонах. Смешанные леса изобразились в виде серых ареалов с характерной зерни-

стой структурой изображения с отдельными темными вкраплениями. Это обусловлено сочетанием хвойных и лиственных пород, придающим изображению своеобразный характер с чередованием темных и более светлых пятен; часто имеющих прямоугольную форму заросших вырубок. Такие образования находятся в центре снимка вблизи населенных пунктов, а также на правом берегу р. Сев. Двины. Массивы лиственных лесов изобразились светло-серым тоном и распространены, как правило, вблизи селитебных и сельскохозяйственных земель.

Результаты дешифрирования дают основание сделать вывод о необходимости проведения комплекса мероприятий с целью восстановления хвойных лесов на данной территории. Они позволяют судить об огромных масштабах воздействия на лесную растительность и ее использования. Так, в исследуемом районе приблизительно лишь на 30—40% лесных площадей сохранились коренные леса с ценными хвойными породами; 40—50% лесов испытали воздействие в виде частичной замены хвойных пород смешанными, на 15—20% территории произошла полная их замена. Важно обратить внимание на то, что при неправильной хозяйственной деятельности создаются условия, снижающие сопротивляемость леса неблагоприятным факторам антропогенного воздействия. Так, чрезмерное, необоснованное сведение леса приводит к заболачиванию почв в цветах вырубок. Около 50% имеющихся сейчас вырубок заболочено.

Во избежание подобных негативных последствий в хозяйственной деятельности необходимо разрабатывать мероприятия по рациональному использованию лесных ресурсов, а также проводить комплекс мелиоративных работ по восстановлению и возобновлению древостоя, прежде всего хвойный пород.

Изучение антропогенного воздействия на почвенно-растительный покров пустынь плато Устюрт выполнено по снимку, на котором изобразилась центральная часть плато Устюрт в пределах западной части Узбекской ССР (Каракалпакская АССР) и восточной части Мангышлакской области Казахской ССР (рис. 3). Плоские или пологонаклонные плато в ландшафтном отношении представляют собой суглинистую пустыню с комплексом биядычево-биюргуновой растительности на серо-бурых пустынных почвах. На этой территории сильно развиты процессы карстообразования, причем воронками выщелачивания и западинами испещрено все плато. Они изобразились в виде темных точек диаметром около 1 мм. В западинах густо разрастаются полынь и злаки, главным образом, ковыши. На плато имеются также неглубокие (до 5 м), но очень широкие (до нескольких километров) плоские понижения «урпа». Для них характерны заросли ярко-зеленого кустарника и тегека, придающие темный тон изображению этих понижений на снимке. Система таких понижений протягивается с северо-запада на юго-восток. Между ложбинами имеются слабо выраженные повышения (до 2 м), так называемые «бозынгены», где гипсовый горизонт лежит прямо на поверхности; именно это обуславливает светлый тон их изображения на снимке. В виде белых и светло-серых пятен с четкими границами изобразились солончаки и такыры расположенные в понижениях рельефа.

До недавнего времени пустынные районы Средней Азии и Казахстана были слабо освоены и мало затронуты хозяйственной деятельностью. Участок, изображившийся на снимке, интересен тем, что в последние годы пустынные ландшафты заметно видоизменились в результате антропогенного воздействия на природу [4]. Эти изменения связаны с поисками и разработкой месторождений полезных ископаемых (открыты месторождения газа и нефти), со строительством газопровода Бухара — Центр, железнодорожной линии Кунград — Чарджоу, автомагистралей, новых поселков, обслуживающих эти транспортные линии, и с увеличением в связи с этим антропогенной нагрузки на территорию. Интенсивное освоение этой части плато ведет и к отрицательным последствиям, сказывающимся:

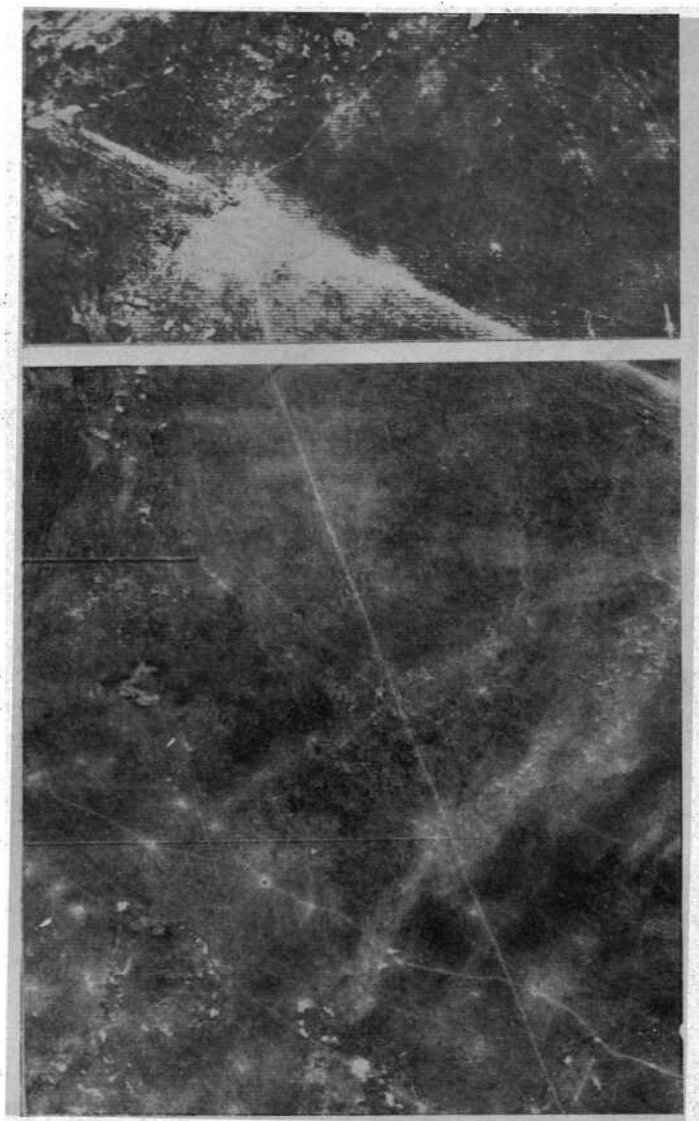


Рис. 3. Снимок района с. Каракалпакия (плато Устюрт), полученный с помощью многозональной сканирующей системы «Фрагмент» в зоне 0,7—4,8 мкм - ;

главным образом в нарушениях почвенно-растительного покрова, имеющих различное происхождение. Степень проявления ж характер их распределения отобразились на космических снимках, отдешифрованы и показаны на составленной схеме (рис. 4).

В верхней части снимка обращает на себя внимание крупное пятно светло-серого, а местами белого тона с нечеткими границами. Этот участок, вытянутый с северо-запада на юго-восток, достигает 40 км в длину и 15 км в ширину. В центре его при железнодорожной станции находится иос. Каракалпакия. В результате строительства и эксплуатации всех этих объектов, движения транспорта и выпаса скота вокруг поселка произошли существенные нарушения почвенно-растительного покрова — уничтожение и без того редкой растительности и связанное с этим развевание почв* мощность которых не превышает 15—20 см. Развевание происходит

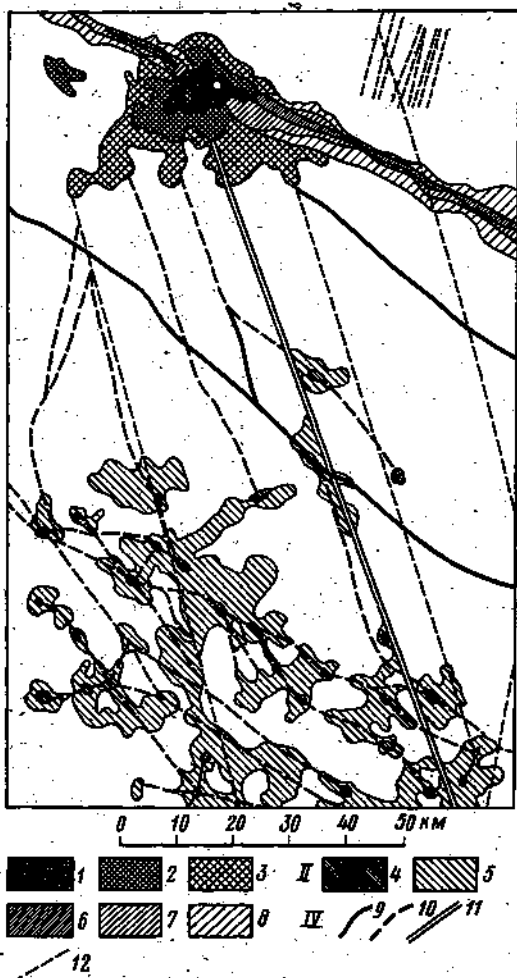


Рис. 4. Схема антропогенного воздействия на пустынные ландшафты, составленная по космическому снимку.

I. Нарушение почвенно-растительного покрова в результате промышленной деятельности и выпаса вокруг населенных пунктов: 1 — полное уничтожение растительного покрова и сильное развевание почв; 2 — частичное уничтожение растительного покрова и значительное развевание почв; 3 — нарушение растительного покрова и незначительное развевание почв. II. Нарушение почвенно-растительного покрова вокруг колодцев в результате выпаса и вытаптывания скотом: 4 — полное уничтожение; 5 — частичное уничтожение. III. Нарушение почвенно-растительного покрова в результате строительства и эксплуатации крупной транспортной линии: 6 — полное уничтожение растительного покрова и сильное развевание почв; 7 — частичное уничтожение, растительного покрова и значительное развевание почв; 8 — нарушение растительного покрова и незначительное развевание почв. IV. Нарушение почвенно-растительного покрова в результате движения транспорта и скота вдоль дорог и скотопрогонов: 9 — полное уничтожение почвенно-растительного покрова в результате движения скота вдоль скотопрогонов; 10 — частичное уничтожение почвенно-растительного покрова в результате движения транспорта вдоль грунтовых дорог. V. и, 12 — нарушение почвенно-растительного покрова в результате геологоразведочных работ и др. азидов воздействия

в направлении господствующих ветров: с северо-востока на юго-запад. На снимке четко прослеживаются характер и степень нарушения почвенно-растительного покрова — максимальные вблизи населенного пункта и транспортной линии, постепенно уменьшающиеся с удалением от них. Светлый тон изображения в центре участка свидетельствует об обнажении светлых карбонатных пород. Определение общих пределов и степени воздействия на почвенно-растительный покров облегчается при использовании снимков в двух съемочных зонах — красной и ближней инфракрасной.

К посёлку сходится множество дорог с юга. Изображение грунтовых дорог характеризуется криволинейностью. В результате использования придорожной полосы для движения транспорта происходит нарушение почвенно-растительного покрова вдоль дорог. Такие дороги изобразились на снимках с разрешением в 80 м в виде заметных светлых полос. По обе стороны от изображения главной транспортной магистрали изобразились в виде параллельных прямолинейных светлых полос временные дороги — следы движения специализированного транспорта по геофизическим профилям при проведении геологоразведочных работ. Даже одноразовый проезд приводит к нарушению растительного* покрова и, как видно по изображению этих профилей, не проходит бесследно, сопровождается развеванием почв и надолго сохраняется в ландшафте.

Пустыни плато Устюрт используются как кормовая база животноводства: каракулеводства и мясо-шерстного овцеводства отгонного типа. В течение весенне-летне-осеннего периода ведется активный выпас скота. В местах неглубокого залегания линз грунтовых вод сооружены многочисленные колодцы. В результате их систематического использования вокруг образовались обширные территории с нарушенным почвенно-растительным покровом. Интенсивность нарушений вокруг колодцев различна. Местами вблизи колодцев почвенно-растительный покров уничтожен полностью. Эти участки изображаются на снимках в виде белых •солнцеобразных пятен с расходящимися от них лучами дорог и троп. По мере удаления от колодцев степень неблагоприятного воздействия на ландшафт уменьшается; соответственно ослабляется интенсивность светлого тона. Рисунок изображения районов выпаса имеет ряд характерных черт: на светлые линии дорог, используемых для скотопргона, как бы нанизаны светлые пятна вокруг колодцев и стоянок скота.

Таким образом, дешифрирование сканерных космических снимков дает возможность выявить некоторые антропогенные воздействия на при*родные ландшафты пустыни, главным образом на почвенно-растительный покров, установить их происхождение, характер и степень, а также со*ставить соответствующие карты антропогенного воздействия на ландшафты, которые мо*ут быть использованы для разработки рекомендаций по рациональному использованию и охране природы.

Проделанная работа показывает, что по многозональным сканерным снимкам, получаемым аппаратурой «Фрагмент», может быть выявлен довольно широкий диапазон антропогенных воздействий на ландшафты различных природных зон. Привлекая дополнительные материалы, по снимкам удается установить происхождение, характер и степень указанных изменений, составить специальные тематические карты и выработать ряд необходимых рекомендаций по рациональному использованию природных ресурсов и предотвращению неблагоприятных последствий интенсивного антропогенного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябчиков А. М., Сайко Т. А. Изучение антропогенного воздействия на природную среду.—В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Т. 4. География. Методы космической фотосъемки. М.: ВИНТИ, 1975, с. 80—83.
2. Буров В. П., Глушко Е. В., Ермаков Ю. Г. Эталонирование изображений антропогенных образований и их комплексов на космических снимках.—В кн.: Космическая съемка и тематическое картографирование. Географические результаты многозональных космических экспериментов.—М.: Изд-во МГУ, 1980, с. 247—257.
3. Глушко Е. В. Опыт эталонирования антропогенного изменения природной среды по аэрокосмическим снимкам.—Исслед. Земли из космоса, 1980, № 4, с. 35—39.
4. Викторов А. С. О некоторых возможных причинах комплексности плато Устюрт.—Землеведение, 1977, т. XII, с. 179—183.

Географический факультет МГУ
им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

STUDY OF ANTROPOGENIC INFLUENCE ON ENVIRONMENT ON THE BASE OF MULTISPECTRAL SCANNING SURVEY

KRAVTSOVA V.I., NIZKAYALS.

Possibilities of using the «Fragment» multispectral images for study of antropogenic influence on environment were analysed on the example of taiga regions of the USSR European part and of desert regions of the Middle Asia. The schemes were composed of antropogenic influence on the forest vegetation in the Kotlas region and on the desert landscapes of the Central area of the Ustyurt plato.

УДК 55Ш&11

Л

ИЗУЧЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО РЕЛЬЕФА КАЛАЧСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО МНОГОЗОНАЛЬНЫМ СНИМКАМ

• "А. А. ТЕБЯН. И. * ТАЛЬСКАЯ Н. Н.

В пределах равнинных территорий наибольшая активность геодинамических процессов отмечается на возвышенностях. Ярче всего это проявляется в ходе эрозионных процессов, направление которых определяется не тектонический территории. Космические снимки открывают новые возможности изучения и картографирования эрозионных форм рельефа и современных процессов, их формирующих.

Для этих целей были использованы многозональные сканерные снимки, полученные с помощью системы «Фрагмент», территории Донско-Хоперского междуречья. Было проведено визуальное камеральное дешифрирование снимков, выполненных в летний и осенний сезоны (июль и октябрь 1980 г.) (рис. 1), в следующих зонах спектра: оранжевой (0,6—0,7 мкм), красной (0,7—0,8 мкм) и ближней инфракрасной (0,8—1,1 мкм). Географическое дешифрирование дополнялось изучением картографических и литературных материалов. Распознавание элементов геоморфологического строения выполнялось комплексным ландшафтным методом и по прямым и косвенным дешифровочным признакам. Разрывные нарушения, выраженные в рельефе, комплексы структурных форм, отдельные элементы и формы рельефа дешифрируются по какому-либо компоненту ландшафта или по совокупности ландшафтных признаков/по-разному выраженных на снимках разных зон спектра и в разные сезоны. Растительность дешифрируется по особенностям контуров, фототону и структуре изображения, характер хозяйственного использования территории и по контрастности границ и геометрическому рисунку угодий. На большей части снимка изображен рельеф южной части Калачской возвышенности (абс. отм. 200—240 м), интенсивно расчлененной речными долинами и овражно-балочной сетью; на востоке — аллювиально-зандровая равнина, представляющая собой часть Окско-Донской низменности, так называемое Хопер-Бузулукское междуречье (абс. отм. 130—170 м); на юге — Донская гряда (абс. отм. 200—220 м), протягивающаяся вдоль правобережья Дона.

В структурном отношении район Калачской возвышенности принадлежит восточному крылу Воронежской антеклизы, осложненному куполом видными поднятиями. Восточный край возвышенности круто обрывается к зоне плиоцен-четвертичного опускания Хопер-Бузулукского междуречья.

Докембрийский фундамент антеклизы перекрыт осадочной толщей меловых и палеогеновых отложений, которые обнажаются на правобережьях крупных рек, а также в уступах крутых склонов балок и оврагов. Коренные породы в свою очередь перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями разного генезиса. Все это обусловило дифференциацию морфогенетических комплексов на Калачской возвышенности [1]. На

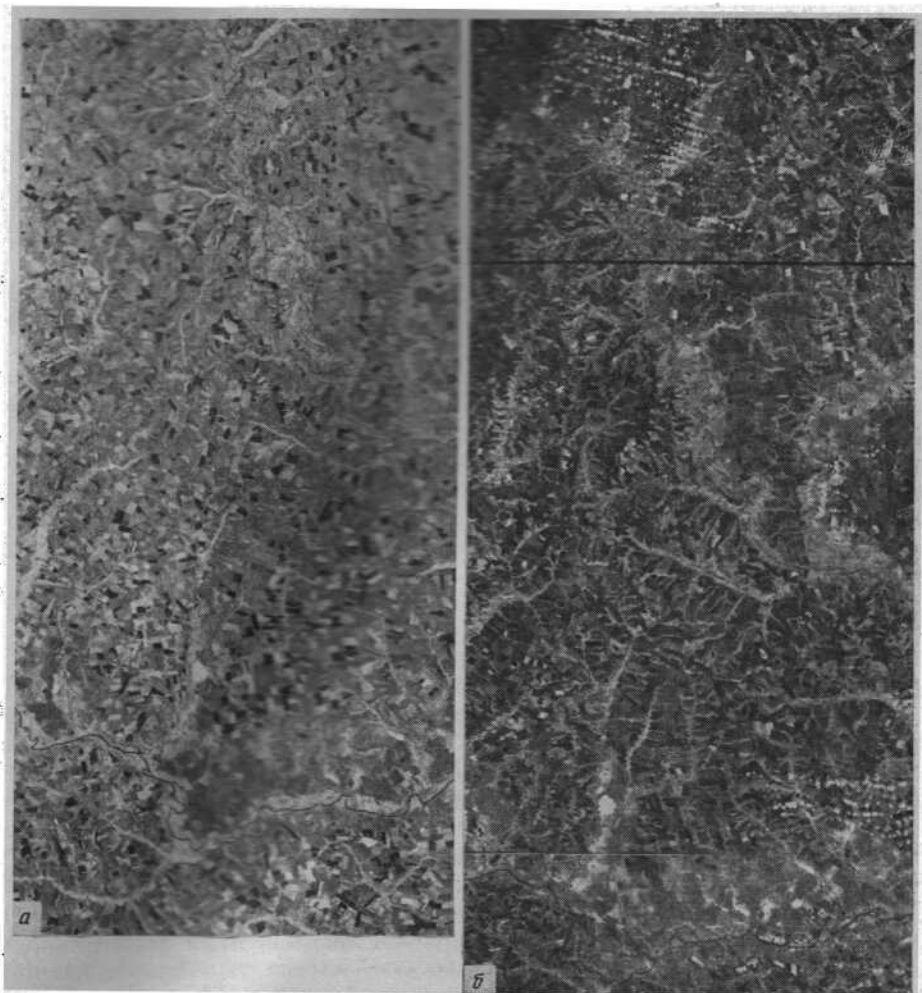


Рис. 1. Космический снимки в ближней инфракрасной зоне (0,8—1,1 мкм), выполненные системой «Фрагмент» в разные сезоны: а — июле 1980 г.; б — октябре 1980г.

космических снимках (рис. 1) четко прослеживается граница Калачской возвышенности и Окско-Донецкой низменной равнины. Резкий, перегиб от поднятия к опусканию указывает на тектоническую природу границ между этими морфоструктурами [2]. На снимках во всех зонах (особенно хорошо в оранжевой зоне) прослеживается зона глубинного разлома меридионального простирания, к которой приурочены ориентированные вдоль нее участки долин рек Хопер и Дон, и крупные балки. Эта зона сечет северо-западные и широтные разломы, к которым также приурочены участки долин, меняющих направление при пересечении с субмеридиональной зоной. По-видимому, это разломы докембрийского заложения, «просвечивающие» через чехол рыхлых отложений, по которым происходили унаследованные неотектонические дифференцированные движения. Разломы являются границами крупных морфоструктур и отражают блоковое строение территории.

Для данного района Калачская возвышенная равнина является морфоструктурой первого порядка, в пределах которой выделяются следующие элементы рельефа, представленные на рис. 2: вершинные поверхности (плакоры), склоны, днища речных долин и балок. К склонам мы



Рис. 2

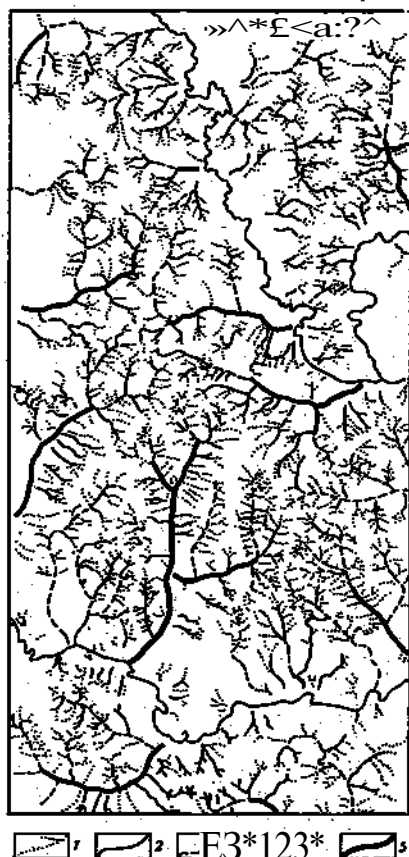


Рис. 3

Рис. 2. Геоморфологическая схема, составленная по космическим снимкам, полученным с помощью системы «Фрагмент». Элементы рельефа: 1 — вершинные поверхности (плакоры); 2 — склоны, густо расчлененные овражно-балочной сетью; 3 — днища крупных балок; 4 — поймы; 5 — комплекс террас (а — низкого уровня, б — высокого уровня); 6 — уступы; 7 — развеваемые пески на террасах; 8 — границы геоморфологические (а — четкие, б — предполагаемые); 9 — зоны глубинных разломов и разрывные нарушения

Рис. 3. Схема эрозионного расчленения, составленная по космическим снимкам с системы «Фрагмент». Водотоки разного порядка: 1 — первого, 2 — второго, 3 — третьего, 4 — четвертого, 5 — пятого

отнесли участки равнины, интенсивно расчлененные балками и оврагами. Граница между склонами и вершинной поверхностью условна. На снимках это участки неэродированные, незатронутые долинно-балочным и овражным расчленением.

Основной особенностью рельефа Калачской возвышенности, как видно по снимкам, является густое и глубокое долинно-балочное расчленение. Кроме того, широкое распространение имеют овраги, образованию которых способствует покров легкоразмываемых суглинков. Большинство исследователей связывают эту особенность с характером неотектонических движений, имеющих тенденцию устойчивого воздымания.

В условиях интенсивного хозяйственного использования территории особое важное значение приобретает изучение эрозионных форм рельефа, их соотношений и сочетаний. В основу прогноза тенденций их развития

и разработки природоохранных мероприятий должны быть положены сведения о состоянии и развитии эрозионных форм на разные моменты времени. Такому требованию удовлетворяют материалы космических съемок, выполненные в разные годы и сезоны.

На снимках в диапазоне 0,8—1,1 мкм (рис. 1,а), полученных в летний период, по светлому фототону достаточно четко дешифрируются днища речных долин и балок. Овражная сеть отчетливо дешифрируется на осенних снимках того же диапазона в виде узких прямолинейных полос в верховьях балок и на крутых склонах речных долин. Наиболее древними устойчивыми формами, составляющими основу эрозионной сети, являются долины рек и балки [3]. Овражная сеть является результатом современной прогрессирующей эрозии, обусловленной комплексом природных и исторических условий развития рельефа территории.

В процессе дешифрирования выявлен сложный характер структуры эрозионной сети изучаемой территории (рис. 3). Морфометрический анализ, выполненный по системе, описанной в работе [4], заключался в определении порядка сложности эрозионных форм. Сопряжение двух элементарных форм первого порядка образует эрозионную форму второго порядка, и далее соединение двух однопорядковых форм повышает порядок более крупной эрозионной формы.

В системе гидросети дендритового рисунка водотоки на коротком расстоянии приобретают значения высокого порядка за счет слияния сложных эрозионных форм, а в системе гидросети перистого рисунка более протяженные речные системы, принимая малые притоки, не увеличивают свой порядок сложности.

В ориентировке гидросети высоких порядков легко проследить два основных направления — субшпротное и субмеридиональное, что создает ортогональный рисунок. Такое расположение находится в соответствии с морфоструктурным планом территории, который характеризуется субширотным и субмеридиональным простираем наиболее крупных линейных тектонических форм, известных по материалам комплексных геологических исследований. Мы полагаем, что сложная структура современных эрозионных систем свидетельствует об активизации неотектонических движений на территории Калачской возвышенности.

Анализ структуры эрозионной сети обнаруживает еще одно важное свойство — асимметрию речных долин. В пределах одной долины на одном борту наблюдается развитие активных эрозионных форм типа оврагов или промоин; другой, более пологий борт осложнен протяженными балочными формами, отражающими менее активную стадию развития. Подобная асимметрия свойственна речным системам различной ориентировки и, по-видимому, обусловлена особенностями геологического строения территории.

По снимкам данного масштаба с достаточной полнотой дешифрируются и такие элементы рельефа речных долин, как пойма и аккумулятивные террасы. Пойменные участки выделяются по неоднородности фототона и по структуре изображения, обусловленным чередованием активных и отмерших русловых форм в условиях ежегодной перестройки аккумулятивных форм [5].

Вдоль левого борта долины Дона выделяются аккумулятивные террасы двух уровней (рис. 1, 2). На снимках прослеживаются их границы и различная степень переработки поверхности эоловыми процессами. При наземных исследованиях выделение террас Дона затруднено из-за их малых высот и значительного площадного распространения.

На снимке в диапазоне 0,8—1,1 мкм (рис. 1,а) по совокупности признаков (структуре и контрастности изображения, различию в строении эрозионных форм, отчетливости границ сельскохозяйственных угодий и т. д.) представилось возможным выделить ряд контуров, соответствующих различному литодогическому составу поверхностных отложений. На

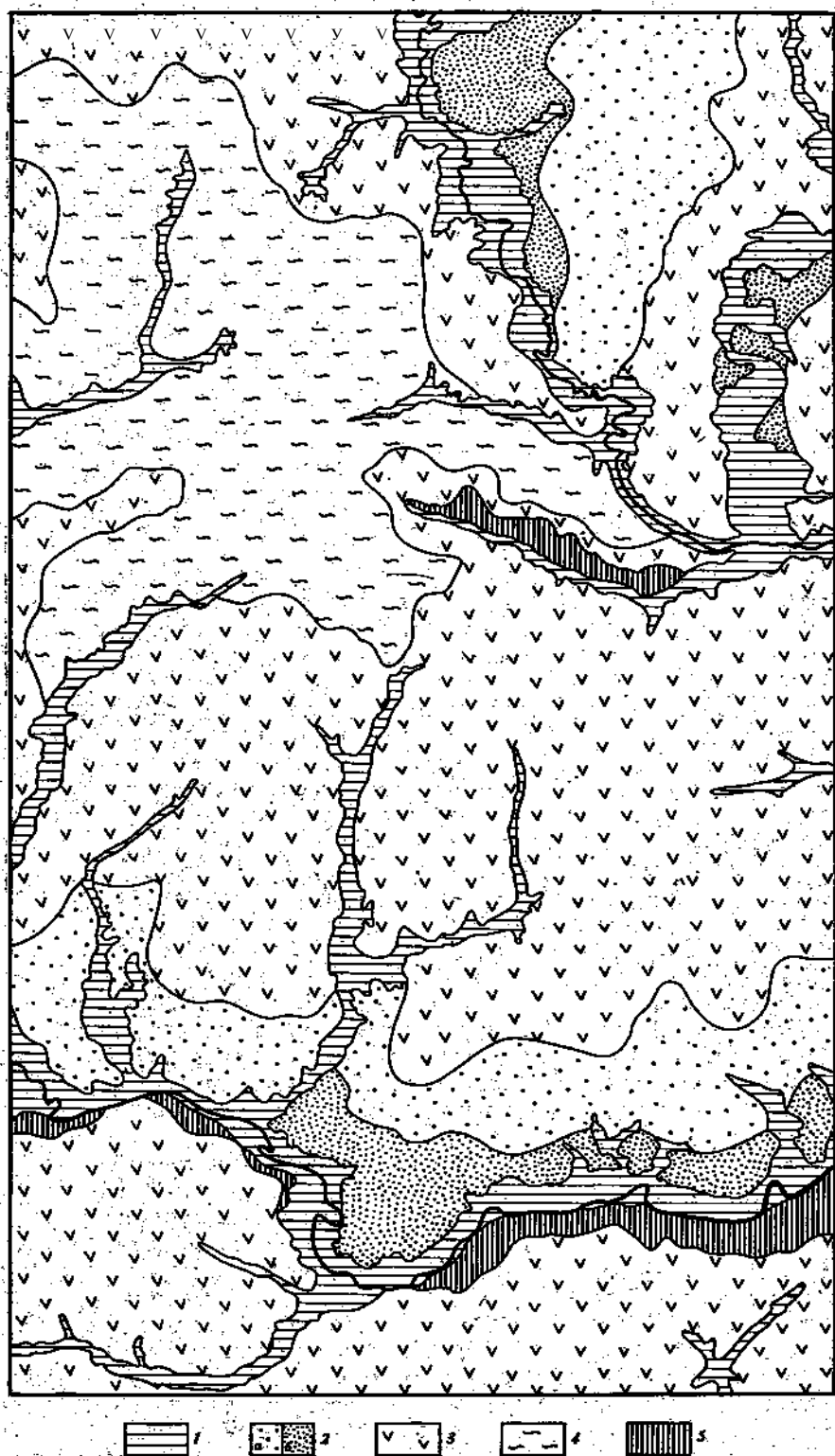


Рис. 4 Литологическая схема, составленная с использованием космических снимков, полученных системой «Фрагмент». Типы поверхностных отложений: 1 — пески, супеси и суглинки; 2 — пески (а — террас высокого уровня, б — террас низкого уровня); 3 — элювиальные суглинки; 4 — тяжелые суглинки и глины; 5 — коренные породы в крутых уступах и бортах речных долин и балок

прилагаемой схеме (рис. 4) выделены суглинки междуречий, песчаные отложения надпойменных террас и песчано-глинистые отложения днищ речных долин и крупных балок, моренные тяжелосуглицистые отложения, коренные породы. До настоящего времени дешифрирование литологии представляет определенные трудности, и составленная схема является предварительной. Дальнейший анализ позволит более конкретно охарактеризовать признаки каждого литологического типа отложений.

Проведенный анализ показал, что космические снимки, полученные с помощью многозональной сканирующей системы «Фрагмент» с разрешением 85 м, вполне пригодны для целей геоморфологического картографирования. Наиболее эффективно использование разносезонных снимков, полученных в красной или ближней инфракрасной зонах спектра. Для дешифрирования зон глубинных разломов целесообразно дополнительно использовать снимки в оранжевой зоне (0,6—0,7 мкм), на которых снижается контрастность изображения растительности и сельскохозяйственных угодий. Совокупный анализ снимков, выполненных в различных зонах спектра, позволяет с большей детальностью и достоверностью изучать плановый рисунок и густоту долинно-балочной и овражной сети. Наиболее сложным при составлении карты эрозионного расчленения является дешифрирование на снимке форм различного генезиса.

При создании геоморфологических карт крупного и среднего масштабов необходимо проводить полевые исследования на ключевых участках, охватывающие те формы и типы рельефа, которые вызывают затруднения в определении генезиса и возрастных взаимоотношений при камеральном дешифрировании.

В заключение следует отметить, что детальность изображения природных объектов на космических снимках значительно превосходит информативность среднемасштабных карт. Для решения ряда вопросов динамики развития эрозионных форм целесообразно располагать повторными космическими снимками одинакового качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калачская возвышенность. Воронеж: Изд-во Воронежск. ун-та, 1972, с. 178.
2. Равнины Европейской части СССР. М.: Наука, 1974, с. 70-216.
3. Спиридонов А. Ж. Геоморфология Европейской части СССР. М.: Высшая школа, 1978, с. 208—220.
4. Философов В. Я. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975, с. 232.
5. Кравцова В. И. Космическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1977, с. 168.

Географический факультет
МГУ им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

EROSION RELIEF STUDY AND MAPPING FOR THE KALACH UPLAND ON THE BASE OF MULTISPECTRAL SCANNING SPACE IMAGES

BARTOVA N. I., TAL'SKAYA N. N.

Geomorphological, litological and erosion schemes are given compiled on the base of interpretation of the «Fragment» multispectral images obtained in different seasons. The images resolution and reliability allows to express the region morphological structural plan, natural pattern and gullied landscape density. Conclusion was made on using advisability of space images for study of plain erosion relief and for creation mean scale geomorphological maps.

УДК 551.451.8

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ СИСТЕМОЙ «ФРАГМЕНТ» КАК ОСНОВА ЛАНДШАФТНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ИВАШУТИНА Ж. И., НИКОЛАЕВ В. А.

Космические снимки, полученные с помощью экспериментальной многозональной системы «Фрагмент» с ИСЗ «Метеор» в конце августа 1980 г., были изучены в качестве модели ландшафтной структуры аридных территорий. Для этой цели проанализированы черно-белые снимки, выполненные в двух зонах спектра — оранжевой ($\lambda = 0,7-0,8$ мкм) и красной ($\lambda = 0,7-0,8$ мкм), увеличенные до масштаба $1:500000$. Опытными регионами стали остепненные пустыни Южного Примугоджарья (рис. 1) и типичные пустыни Северного Устюрта (рис. 2) в пределах Казахской ССР.

Главная задача состояла в ландшафтном дешифрировании снимков и составлении шгним детальной среднештабной ландшафтной схемы и мелкомасштабной схемы физико-географического районирования. Особая специфика указанных операций заключалась в том, что они осуществлялись без специальных полевых исследований, даже рекогносцировочного характера. Вся ландшафтно-дешифровочная работа по снимкам была выполнена в камеральных условиях с использованием разнообразных литературных йтотаиков [1—6], топографических и отраслевых тематических :Карј природы (геологической, почвенной и др.).

При тщательном визуальном изучении космических снимков, полученных с помощью системы «Фрагмент», было установлено, что они характеризуют как ландшафтное устройство региона в целом, так и внутреннюю морфологическую структуру ландшафтов. Последняя получает весьма детальное отражение вплоть до элементарных составляющих — урочищ и некоторых подурочищ. Интегрируется/ лишь самый низший (фациальный) уровень морфологической дифференциации ландшафтов. На изученных снимках в ландшафтах расчлененных структурно-денудационных пустынных плато хорошо дешифрируются урочища останцов, «столовых гор», подурочища их бронированных/плоских вершин, аридно-денудационных склонов и шлейфов подножий/(педиментов). На чинкр-вых склонах Северного Устюрта отчетливо «читаются» пустынно-степные овраги-саи, оползни. В массивах песчано-эолрвой пустыни по снимкам можно без труда различить отдельные эод^вые бугры и гряды, дефля-ирEQNтоіе котловины, обнаженные барханы./

Как видно, ландшафтная йнформаци^ сканерных зкосмических снимков системы «Фрагмент» для аридных/террвгторий достаточно разнообразна. В этом отношении они несколько не уступают сканерным снимкам, получаемым с американского спутника «Landsat». Изученные нами ранее применительно к территории Южного Казахстана снимки с ИСЗ «Landsat» обнаружили свою пригодность для дешифрирования главным образом ландшафтов и лишь выборочно — наиболее крупных и контрастных урочищ [7].

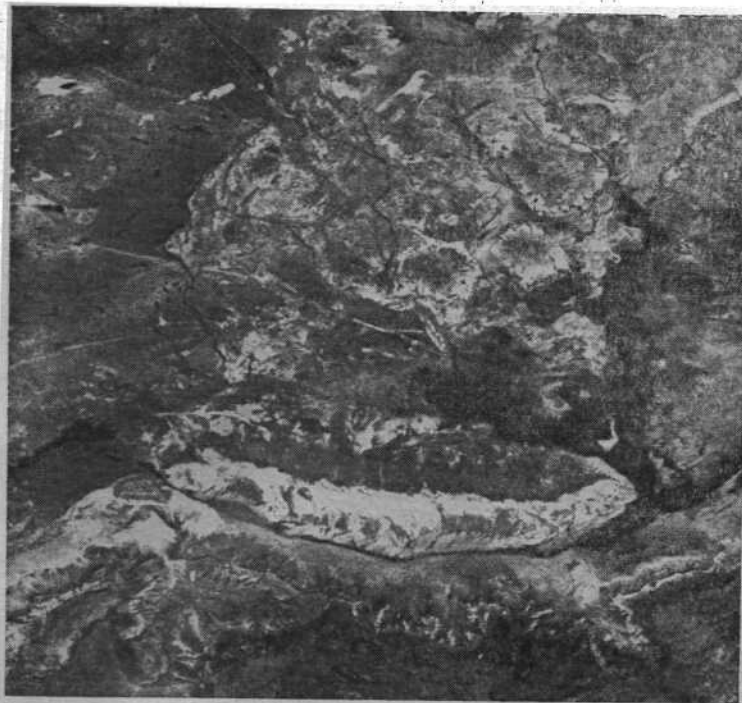


Рис. 1. Космический снимок территории рстепненных пустынь Южного Примугоджарья, полученный с помощью системы «Фрагмент» в красной зоне ($\lambda=0,7-0,8$ мкм)



Рис. 2. Космический снимок территории типичных пустынь Северного Устюрта, полученный с помощью системы «Фрагмент» в красной зоне ($\lambda=0,7-0,8$ мкм).

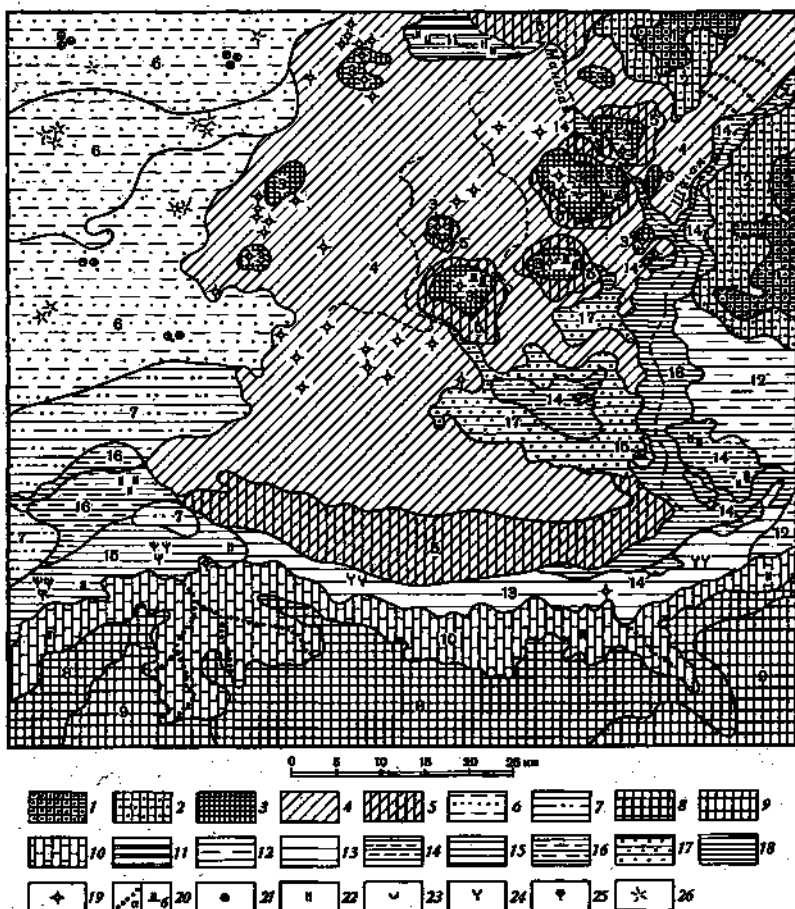


Рис. 3. Схема дешифрирования ландшафтов Южного Приморья, составленная по космическому снимку, полученному с системы «Фрагмент». Суббореальные аридные равнинные ландшафты. Элювиальные. *Пустынные остепненные*: 1—слаборасчлененные структурные плато, бронированные песчаниками, с маломощным щебенчато-суглинистым покровом, с биюргуново-попынными пустынями, с участием карликового саксаула на бурых малоразвитых почвах; 2—крутые аридно-денудационные чинковые уступы структурных плато и их подножия, сложенные сверху песчаниками, в основании глинами, с карликово-саксауловыми и злаково-терескеновыми сообществами на песчаниках и биюргуновыми, тасбиюргуновыми сообществами на глинах; 3—расчлененные останцовые структурно-денудационные плато, сложенные глинами, бронированные в кровле песчаниками, с злаково- и биюргуново-попынными пустынями на бурых солонцеватых почвах*—на вершинах, крк-бууново-тасбиюргуново-биюргуновыми пустынными сообществами на бурых эродированных почвах и солонцах пустынных—по склонам; 4—холмистые и пологоувалистые денудационные пластовые равнины, сложенные глинами, с комплексом попынно-биюргуновых и лишайниковых пустынных сообществ на бурых солонцеватых почвах и пустынных солонцах; 5—аридно-денудационные склоны пластовых равнин и подножия структурных плато, сложенные глинами, с разреженными попынно-биюргуновыми, тасбиюргуновыми и камфоросмовыми пустынными сообществами на пустынных солонцах, в комплексе с бурами эродированными почвами; 6—поскозападинные аллювиальные равнины, сложенный песчано-супесчаными отложениями, с биюргуново-попынными пустынями на бурых солонцеватых и такыровидных почвах; 7—плоские и плосковолнистые древнеморские (нижнехвалынские) равнины, сложенные песчано-глинистыми отложениями, с попынно-биюргуновыми пустынями на бурых солонцеватых почвах в комплексе с пустынными солонцами. *Пустынные типичные*: 8, 9—пологонаклонные слаборасчлененные структурные плато, бронированные известняками: 8—с маломощным щебенчато-суглинистым покровом, с биюргуново-попынно-боялычевыми пустынями на серо-бурых малоразвитых почвах; 9—с суглинистым покровом, с итсегр-попынными пустынями на серо-бурых почвах; 10—крутые аридно-денудационные чинковые уступы структурных плато и их подножия, сложенные сверху известняками, ниже песками и песчаниками, в ос-

В проведенном эксперименте основной единицей ландшафтного картографирования с использованием космических снимков были признаны природные территориальные комплексы ранга «ландшафт». На снимках они распознаются не только по различиям в доминирующей оптической плотности, плановых очертаниях, границах, географическом соседстве, но главным образом по своеобразию рисунка изображения, который подробно моделирует внутреннюю структуру ландшафта. Детальное изображение на снимках, полученных с системы «Фрагмент», морфологической структуры аридных ландшафтов позволяет считать ее ведущим дешифровочным показателем при ландшафтном картографировании подобно-го типа.

Ландшафты расчлененных останцово-денудационных пустынных плато Южного Примугоджарья образуют на снимках своеобразный кольцевой рисунок, состоящий из концентрических колец-полос разной оптической плотности, все более Осветляющихся от остепненных вершин плато, бронированных песчаниками, к окраинным пустынно-солонцовым шлейфам подножий аридно-денудационных соленосно-глинистых склонов (рис. 1). Песчано-эоловые пустыни Северного Устюрта характеризуются овально-пятнистым рисунком с субширотной ориентировкой вытянутых пятен, что обусловлено направлением господствующих ветров. На общем сером фоне нередко отмечаются ярко-белые пятна обнаженных буристых и барханных песков и соровых солончаков в дефляционных впадинах (рис. 2). Изображение пустынных ландшафтов аллювиальных равнин с карстово-суффозионными западинами, развитых к северу от подножия Устюрта, имеет пятнисто-зернистый весьма контрастный рисунок. На общем сером фоне пустыни выделяются в виде темно-серых и почти черных мелких пятен западины с кустарниково-лугово-степной растительностью; светло-серые и белые пятна соответствуют такырам и корковым солонцам (рис. 1).

Специфика ландшафтной информации изученных снимков позволила показать на схемах дешифрирования помимо ландшафтов многие элементарные природные комплексы, главным образом наиболее характер-

нования глинами, осложненные оползнями и оврагами, с кустарниковыми сообществами на известняках, с кустарниковыми и галофитнозлаково-луговыми сообществами на песках и биоргуновыми, кокпековыми и сочносолянковыми сообществами на глинах. Полугидроморфные. *Пустынно-солончаково-солонцовые*: 11 — низкие надпойменные террасы речных долин, сложенные глинами и суглинками, с биоргуновыми, тасбиоргуново- и полинно-биоргуновыми сообществами на пустынных солонцах в комплексе с бурыми солонцеватыми почвами; 12 — пологонаклонные аллювиальные равнины; 13 — древнеморские (нижнехвалынские) равнины с плащом песчано-глинистых делювиально-пролювиальных отложений и сураново-потапшиковыми сообществами на пухлых солончаках. *Лугово-пустынные*: 14 — низкие надпойменные террасы речных долин и подножия склонов, сложенные песчано-глинистыми аллювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями, с галофитнозлаково-солянковыми сообществами на лугово-пустынных солонцах. Гидроморфные. *Солончаковые*: 15 — днища древнеозерных впадин, выстилаемые глинами, с сураново-потапшиковыми сообществами на пухлых солончаках. *Лугово-солончаковые*: 16 — днища древнеозерных впадин, выстилаемые глинами, с солянково-тростниковыми дугами на луговых солончаках. *Луговые*: 17 — низкие надпойменные террасы речных долин, сложенные песчано-глинистым аллювием, с пырейными лиманными дугами на луговых солонцеватых почвах; 18 — речные поймы, сложенные песчано-глинистым аллювием, с галофитнозлаковыми (тростниковыми, камышовыми и пырейными) дугами на аллювиальных почвах. Элементарные природные комплексы: 19 — аридно-денудационные останцы, «столовые горы», бронированные песчаниками, пустынные; 20 (а, б) — овраги-саи пустынно-степные, местами с галофитными дугами; 21 — карстово-суффозионные понижения с злаково-итсегово-кустарниковыми сообществами; 22 — галофитнозлаковые дуга; 23 — пустынные солонцы; 24 — пухлые солончаки; 25 — соровые солончаки; 26 — такыры.

Примечание. Значками представлены урочища, играющие подчиненную роль в структуре ландшафта: локальные урочища (19 и 20а), фоновые урочища (20б — 26), шьказанные одиночными значками, занимают до 5% площади ландшафтного контура, двосенными значками — до 10%, стросенными — до 20%

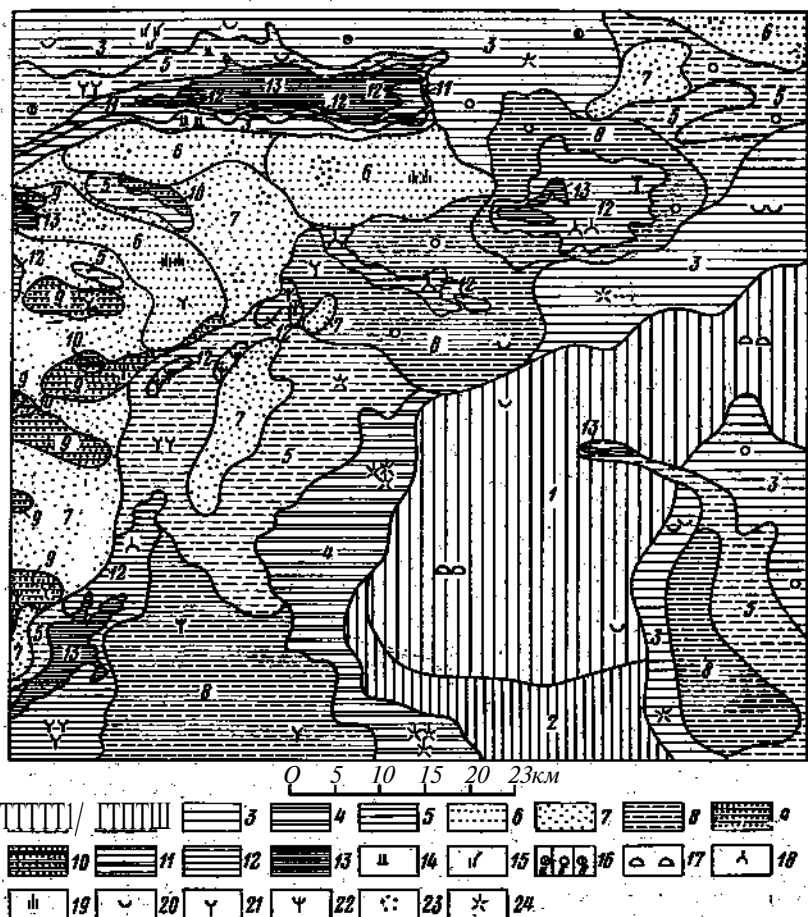


Рис. 4. Схема дешифрирования ландшафтов Северного Устьурта, составленная до космическому снимку, полученному с помощью системы «Фрагмент». Суббореальные аридные равнинные ландшафты. Элювиальные. Пустынные типичные** 1. — плоские и плосковолнистые структурные плато, сложенные известняками, с суглинистым покровом: 1' — с комплексом полынных и биюргуновых пустынных сообществ, с участием боялыча на серо-бурых почвах; 2 — с биюргуново-полынными пустынями на серо-бурых почвах в комплексе с солонцами пустынными такыровидными; 5 — 5 — слабонаклонные аккумулятивные равнины — выположенные склоны древнеозерных бессточных впадин, супесчано-суглинистые: 3 — с комплексом полынных и биюргуновых пустынных сообществ на серо-бурых солонцеватых почвах, 4. — с комплексом биюргуновых и кеуречниковых пустынных сообществ на серо-бурых солонцеватых почвах и пустынных солонцах такыровидных, 5 - с комплексом полынных, биюргуновых и саксауловых пустынных сообществ на серо-бурых солонцеватых и солончаковатых почвах; ^ — бугристо-грядовые и бугристые золотые пески с злаково-полынными пустынями на песчаных пустынных почвах, с кустарниками джугуна и песчаной акации на вершинах бугров и гряд, пески слабо закреплены; 7 — бугристо-ячеистые золотые пески с песчаноосоково-полынно-злаковыми и злаково-полынно-терескеновыми пустынями на песчаных пустынных почвах, с кустарниками джугуна на вершинах бугров, пески закреплены. Полугидроморфные. Пустынно-солончаковые: 8 — низкие террасы и днища древнеозерных бессточных впадин, песчано-глинистые, с комплексом черносаксауловых, кокпековых, биюргуновых и сочносолянковых пустынных сообществ на серо-бурых солонцевато-солончаковатых почвах и солончаках. Гидроморфные. Солончаковые: 9.^-10 — дефляционные котловины в песчаных золотых массивах: Р — с комплексом древесно-кустарниковых и галофитнолуговых сообществ на луговых почвах, 10 — с сочносолянковыми сообществами, иногда чукалками, на луговых солончаках; 11—13 — днища древнеозерных бессточных впадин, выстилаемые песчано-глинистыми отложениями: 11 — с соляново-галофитнозлаковыми сообществами на луговых солончаках, 12 — с сарсазановыми сообществами на солончаках, 3 — с соровыми солончаками. Элементарные природные комплексы: 14 — овраги-саи кустарниково-пустынно-степные, по днищам с галофитными лугами; 15 — пологие долинообразные понижения с полынно-

вые субдоминантные урочища, причем как фоновые, так и локальные. В результате составленная ландшафтная схемд представляет двухъярусную модель ландшафтной структуры регионов, отражающую как собственно ландшафтный уровень, так и более низкий — ранга урочищ. Каждый ландшафт на ней изображен с помощью сочетания фоновых (штриховых) и значковых обозначений. Первые характеризуют доминирующие в ландшафте урочища, вторые — субдоминантные (рис. 3,4).

Как известно, в аридных равнинных регионах оптические характеристики ландшафтов определяются прежде всего свойствами таких его компонентов, как растительность, почвы и горные породы [9]. Эти физиономические компоненты, как и многие мезоформы рельефа, используются при дешифрировании космических снимков ~ в качестве индикаторов для выявления структуры ландшафта в целом и отдельных его свойств, не получивших прямого отражения. В частности, по космическим снимкам становится возможным косвенное определение микрорельефа, степени грунтового и натежного увлажнения, механического состава и засоленности почв и грунтов.

Им свойственна неодинаковая структура космического изображения, отражающая специфику планового размещения элементов комплекса. Так, для изображения итсегеково-бнюргуново-подынных комплексов, расположенных на равнине между сорами Сам и Асмантай-М[^]тай, характерна мелкопятнисто-зернистая структура, которая обусловлена широко распространенными в них блюдцеобразными понижениями («урпа») с зарослями итсегека, эфемеров и кустарникового व्यюнка. Понижения, хотя и невелики (0,5—2,5 км в поперечнике; до 1,5—2,0 м глубиной), отчетливо «читаются» на снимке, так как на общем сером фоне бнюргуново-полынной пустыни контрастно выделяются в виде темно-серых и почти черных мелких пятен и точек (рис. 1).

галофитнозлаковыми сообществами; 16 — карстово-суффозионные понижения: а — мелкие (до 100—200 м в диаметре), с зданово-попынными ж кустарниковыми сообществами; б — обширные (до 1—1,5 км в диаметре), с эфемерово-итсеговыхыми и кустарниковыми сообществами; в — г- с галофитнр-з лаковыми дугами; 17 — невысокие останцовые холмы с террасированными склонами, сложенные известняками и мергелями, с поверхности огапсованные (бозынгены), с лишайниками и редкими /солянками; 18 — бутры-чукалат с зарослями тамарикса или- черного саксаула; 19 — дефляционные понижения в песчаных массивах с болотно-луговой растительностью (чуроты); 20 — пустынные солонцы такыровидные; 21 — пухлые солончаки; 22 — со- ровые солончаки; 23 — барханы; J4> — такыры.

во-ячеистый рисунок) и луговые, солончаково-луговые понижения (темно-серые мелкие пятна); б) всхолмленные пески, хорошо закрепленные полынно-злаковой растительностью (серый ровный тон и мелкозернистый рисунок); в) дефляционные понижения чуротов с высокотравной влаголюбивой растительностью (овальные темно-серые пятна), характеризующиеся неглубоко залегающими пресными или слабосоленоватыми грунтовыми водами (рис.2).

Особенно выразительно на изученных космических снимках изображаются пустынные ландшафты аридно-денудационных уступов структурных плато — северный чинк Устюрта и юго-западный — Чаграйского плато. В виде почти черной узкой каймы отчетливо читается верхняя прирвовочная часть чинков, представленная обрывом бронирующего пласта (известняков на Устюрте и песчаников на Чаграйском плато). Нижележащая часть склонов, преимущественно песчано-глинистая, несколько осветлена, имеет струйчатый и дендритовый рисунок, обусловленный множеством оврагов-саев, расчленяющих чинки. На северном чинке Устюрта отмечаются* кроме того, овально-выпуклые фестоны оползневых урочищ. Шлейфы чижковых подножий наиболее осветлены на снимках, так как представлены большей частью солончаковыми и солончаково-солонцовый пустынными комплексами на засоленных глинистых и суглинистых пород. Им свойствен расплывчато-муаровый рисунок, обусловленный блуждающими по шлейфу пластовыми потоками поверхностных (талых и дождевых) вод.

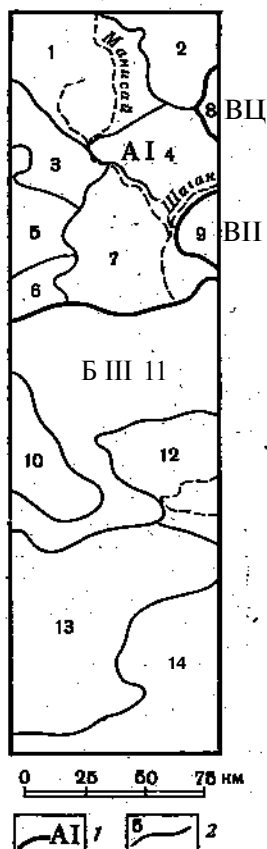
Таким образом, в районах эрозионно-денудационного расчленения пустынных плато, главным образом к северу от Устюрта, важными и весьма выразительными ландшафтными индикаторами, хорошо «читаемыми», по космическим снимкам, помимо растительности и почв становятся геолого-геоморфологические объекты. Они были широко использованы при ландшафтной интерпретации космических снимков, полученных с помощью системы «Фрагмент», для территории Южного Примугоджарья, где особенно распространены расчлененные останцово-денудационные плато, аридно-денудационные пластовые равнины и разделяющие их долины с пересыхающими или даже отмершими водотоками. Бронированные песчаниками плоские поверхности плато наиболее остепнены, характеризуются злаково-попынной растительностью, нередко со степными кустарниками, которые отобразились на снимке ровным темно-серым тоном. Пластовые аридно-денудационные пустынные равнины, лишенные бронирующего пласта, характеризуются различной оптической плотностью изображения — от темно-серого до светло-серого и почти белого тона. Это обусловлено главным образом неоднородностью, частой сменой в пространстве почвообразующих пород (песков, рыхлых песчаников, соленых глин). На первых отмечается остепнение пустынного растительного покрова и в силу этого повышение оптической плотности изображения, на последних — осолонцевание и осолончанование и соответственно уменьшение оптической плотности. Рисунок космического изображения подобных ландшафтов обычно крупнопятнистый, нерегулярный.

Все сказанное позволяет сделать заключение, что космические снимки, с системы «Фрагмент» предоставляют широкие возможности для использования разнообразных дешифровочных признаков и приемов индикации природных территориальных комплексов аридных территорий. Они могут служить хорошей основой для ландшафтного картографирования в среднем и мелком масштабах, о чем свидетельствуют составленные по ним схемы дешифрирования (рис. 3, 4). Столь же плодотворным может быть использование их для целей физико-географического районирования (рис. 5), особенно когда снимками охватывается не узкая полоса, как в нашем случае, а достаточно обширная территория.

Физико-географическое районирование „на основе космических снимков может выполняться несколькими путями. Главный среди них заклю-

чается в изучении пространственных изменений, перестроек ландшафтной структуры территорий. Ландшафтно-структурный принцип районирования становится в данном случае ведущим. Если основной операционной единицей дешифрирования снимков и картографирования были природные территориальные комплексы ранга «ландшафт», то представ-

Рис. 5. Схема физико-географического районирования Южного Примугоджарья и Северного Устюрта (выполнено на основе космического снимка, полученного с системы «Фрагмент»). Индексы и природные границы: 1 — стран (А, Б), провинций (I—III); 2 — районов (1—14). А — Русская равнина. I — Эмбенско-Сагизская провинция пустынных слабоостепненных равнин-плато (Южного Подуралья). Районы: 1 — Кызылсай-Манысайский — аридно-денудационных платовых и пролювиально-аллювиальных равнин с глинистой пустыней; 2 — Алитау-Тюлюкбийский — расчлененных структурно-денудационных плато и платовых равнин с суглинистой пустыней; 3 — Жантаккульский — аридно-денудационных платовых, пролювиально-аллювиальных равнин с суглинистой и супесчаной пустыней; 4 — Таскымбасайский — структурно-денудационных плато и платовых равнин с супесчаной и глинистой пустыней; 5 — Терискенский — аллювиальных равнин с супесчаной пустыней; 6 — Придонгузтауский — древнеморских равнин с суглинистой пустыней; 7 — Замстанский — расчлененных аридно-денудационных платовых равнин и структурно-денудационных плато с глинистой пустыней. Б — Гуранская равнина. II — Северо-Приаральская провинция пустынных слабоостепненных останцовых плато и равнин. Районы: 8 — Чушкакульский; 9 — Чаграйский — структурно-денудационных плато с каменисто-супесчаной пустыней. III — Устюртская провинция пустынного плато. Районы: 10 — Токсанбайский — расчлененных структурно-денудационных плато с каменисто-глинистой пустыней; 11 — Кургашигайский — структурных плато с суглинистой пустыней; 12 — Тонгурак-Асмантайский — бессточных впадин и структурных плато с солончаковой и суглинистой пустыней; 13 — Самский — эоловых равнин и бессточных впадин с песчаной и солончаковой пустыней; 14 — Чурукский — структурных плато с щебнисто-суглинистой пустыней



ления о физико-географических выделениях более высокого таксономического ранга — районах, провинциях — формируются на основании изучения пространственно-генетических сопряжений ландшафтов.

В нашем опыте кардинальными различиями в ландшафтной структуре характеризуются две смежные физико-географические провинции: Эмбенско-Сагизская, относящаяся к Южному Подуралью Русской равнины, и Устюртская, входящая в состав Туранской равнины. Эти различия нашли яркое отражение как в рисунке космических снимков, так и на составленных ландшафтных схемах. Достаточно хорошо фиксируется по снимкам ландшафтная неоднородность на уровне районного членения территории.

Другое направление в физико-географическом районировании по космическим снимкам состоит в поиске важнейших природных рубежей, в особенности так называемых линеаментов, которые отделяют одни морфо-структурные единства от других. Как выяснено, практически все физико-географические регионы разных рангов тесно связаны с морфо-структурами того или иного порядка. Именно этим в первую очередь

обеспечивается их геосистемная целостность. Линеаменты между морфоструктурами являются одновременно физико-географическими рубежами. Они достаточно хорошо «читаются» по космическим снимкам, их поиск — важная составляющая часть физико-географического районирования на основе космической информации. На снимках в пределах описываемых территорий региональные линеаменты фиксируются вдоль северного чинка Устюрта и по западной и юго-западной окраине плато Чаграй и Чушкакуль, т. е.; на границах между основными физико-географическими провинциями изучаемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Викторов С. В. Пустыня Устюрт и вопросы ее освоения. М.: Наука, 1971. 133 с.
2. Ликторов С. Б. Ландшафты Устюрта и индикаторы их освоения. — В кн.: Землеведение. Нов. серия. М.: Изд-во МОИП, 1971, т. IX, с. 195—204.
3. Викторов С. В. Физико-географические районы Устюрта и индикаторы их эволюции. — Проблемы освоения пустынь, 1974, № 6, с. 3—8.
4. Ревзон А. Л., Крапильская Н. М., Бурлешин М. И., Садов А. В., Викторов С. В., Рухов Г. Ф. Особенности методики гидрогеологического и инженерно-геологического картирования: Устюрта по космическим снимкам, — Проблемы освоения пустынь, 1980, № 4, с. 24—38.
5. Гоналов Е. Д. Опыт геоморфологического районирования Мугоджар и сопредельных частей Прикаспийской и Туринской равнин. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1970, № 1, с. 42—53.
6. Янин А. Л. Геология Северного Приаралья. — Матер. к познанию геол. строения СССР, вып. 15(19). М.: Изд-во МОИП, 1953. 734 с.
7. Николаев В. А., Кравцова В. И., Маркова Т. А. Использование снимков с ресурсного спутника ERTS для ландшафтного картографирования и анализа динамики ландшафтов. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. М.: ВИНТИ, 1976, с. 98—113.
8. Николаев В. А., Ивашкина Л. И. Изучение и картографирование аридных ландшафтов на примере юго-восточного Казахстана. — В кн.: Космическая съемка и тематическое картографирование: географические результаты многозональных, космических экспериментов. М.: Изд-во МГУ, 1980, с. 38—53.
9. Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. Л.: Наука, 1974. 252 с.

Географический факультет
МГУ им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
28.IV.1981

«FRAGMENT» SPACE IMAGES AS A BASE OF LANDSCAPE MAPPING AND PHYSICAL-GEOGRAPHICAL CLASSIFICATION OF ARID TERRITORIES

IVASHUTINA L. I., NIKOLAEV V. A.

«Fragment» space images have high landscape resolution and allow to study landscape structures of arid areas on several geosystem levels from natural landscapes up to physical-geographical regions. Detailed mean scale landscape schemes of the Southern Mugojar desert regions and of the Northern Ustyurt were firstly composed as well as consolidated scheme of physical-geographical division. Different interpretation criteria were used, the most important of them being optical density and image pattern.

Технический редактор Т. А. Аверкиева

Сдано в набор 06.08.81 Подписано к печати 02.10.81 Т-22185 Формат бумаги 70х-108/8
Высокая печать Усл.-печ. л. 12 6 Усл. кр.-отт. 18,3 тыс. Уч.-изд. л. 13,0 Бум. л. 4,5
л Тираж 140 экз. Зак. 707

Издательство «Наука». 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука». 121099 Москва, Шубинский пер., 10

УДК 502.3:629.78

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ЙСЗ «МЕТЕОР» - ВАЖНЫЙ ШАГ В РАЗВИТИИ ОПЕРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА. Козлов Я. Д., Саздеев Р. З., Шереметьевский, Н. Н. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Приводятся сведения об основных направлениях развития в нашей стране технических средств дистанционного зондирования. Кратко характеризуется эксперимент, проводимый на базе ЙСЗ типа «Метеор» и его роль в становлении оперативных исследований Земли из космоса.

УДК 551.507.362

СПУТНИКИ СЕРИЙ «МЕТЕОР», ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА. Трифонов Ю. В. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Рассматриваются задачи, содержание и основные результаты выполнения советской экспериментальной программы оперативного изучения Земли из космоса с помощью спутников-автоматов типа «Метеор». Приводятся примеры эффективного использования получаемой многоспектральной широкозахватной телевизионной информации малого и среднего разрешения в таких отраслях народного хозяйства, как геология, гидрология и мелиорация, гидрометеорология, морское и речное судоходство, лесное хозяйство. Описаны специфические особенности КА программы «Метеор—Природа» для дистанционного зондирования; отмечается, что в процессе их отработки был решен ряд важных для развития космической техники конструкторских и электрорадиотехнических задач. Характеризуется баллистическое построение экспериментальной космической системы для ИПРЗ, указывается, что для этой системы впервые в СССР освоена синхронно-солнечная орбита. Отмечаются преимущества используемых для коррекции орбит КА программа «Метеор—Природа» электрореактивных двигателей малой тяги. Илл. 3. Табл. 1. Библ. 8 назв.

УДК 502.3:629.78

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ДИСТАНЦИОННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА. Трифонов Ю. В. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Описывается состав информационной аппаратуры комплексного эксперимента по получению многоспектральной измерительной телевизионной информации среднего и высокого разрешения с использованием космического аппарата типа «Метеор» второго поколения. Характеризуются перспективы создания в СССР постоянно действующей космической системы для ИПРЗ и отмечается, что проводимый эксперимент является важным шагом в этом направлении. Отмечаются особенности конструкции и структурного построения космического аппарата, используемого в эксперименте. Илл. 4. Библ. 3 назв.

УДК 551.507.362

РАДИОТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС СПУТНИКОВ «МЕТЕОР» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ. Селиванов А. С., Тучин Ю. Л. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Приводится описание находящегося в опытной эксплуатации радиотелевизионного комплекса спутников «Метеор», в состав которого входят два типа широкозахватных многозональных сканирующих устройств, запоминающие, радиопередающие устройства и другие приборы. Указывается, что передача информации ведется в диапазонах волн, выделенных для метеорологических спутников; полученная информация в виде многозональных снимков распространяется по заказам потребителей. Илл. 6. Табл. 2. Библ. 6 назв.

УДК 551.507.352

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ШМШ Селиванов А. С., Тучин Ю. М., Бараева М. К., Носов Б. И. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Приводится описание экспериментального бортового информационного комплекса, предназначенного для отработки новых аппаратурных средств и

методов наблюдения Земли и имеющего в своем составе оптико-механическое устройство среднего разрешения с конической разверткой и оптико-электронное сканирующее устройство высокого разрешения с плоскостной разверткой, выполненное на ПЗС. Указывается, что передача информации производится по цифровому радиоканалу со скоростью 7,68 Мбит/с на несущей частоте 466,5 МГц, Илл. 7. Табл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 629.78:528.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ФРАГМЕНТ». *Аванесов Г. А.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Рассматриваются состав и функций основных систем экспериментального информационно-измерительного комплекса на основе многозональной сканирующей системы «Фрагмент». Дается предварительная оценка результатов эксперимента по оперативному сбору и машинной обработке многозональной видеоинформации. Илл. 1. Библ. 8 назв.

УДК 528.7:621.397.331.2:629.78

МНОГОЗОНАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА «ФРАГМЕНТ». *Аванесов Г. А., Глазков В. Д., Зиман Я. Л., Игнатенко С. А., Курманалиев Т. И., Муравьев В. М., Рожавский Э.-И., Тарнопольский В. И., Фукс В. И., Щербаков В. В.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Приводится краткое обоснование технических решений, реализованных в многозональной сканирующей системе «Фрагмент». Даны ее основные параметры и на основании результатов натурного эксперимента на ИСЗ «Метеор» делается заключение о решении поставленной научно-технической задачи. Илл. 6. Табл. 1. Библ. 7 назв.

УДК 528.727

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ И РЕГИСТРАЦИИ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ И ИХ РЕШЕНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ФРАГМЕНТ». *Богомолов А. Ф., Попов С. М., Смоляников Ю. Д., Стёпин А. В.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Рассматриваются преимущества цифровых методов передачи информации. Описывается аппаратура приема и регистрации данных системы «Фрагмент». Приводятся краткие характеристики аппаратуры. Илл. 4. Библ. 4 назв.

УДК 528.7:629.78

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЯРКОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ «ФРАГМЕНТ». *Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Сычев А. Г., Тарнопольский В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Рассматриваются выбор физической величины представления результатов измерений яркости земной поверхности, передача выбранной единицы от воспроизводящего ее эталона к измерительной шкале радиометра и минимизация суммарной погрешности измерений применительно к многозональной сканирующей системе «Фрагмент». Приводятся ее аттестационные метрологические характеристики. Илл. 6. Табл. 4. Библ. 12 назв.

УДК 528.711.4:53.089.6

ПРЕДПОЛЕТНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ФРАГМЕНТ». *Зиман Я. Л., Юров В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Предлагается методика калибровки многозональных оптико-электронных сканирующих систем. Описывается приборная установка, позволяющая реализовать данную методику. Приводятся результаты* выполненной по указанной методике фотограмметрической калибровки многозональной сканирующей системы «Фрагмент». Илл. 2. Табл. 2. Библ. 3 назв.

УДК 551.46.0:629.78

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 0,4—1,1 МКМ. *Селиванов А. С., Гектин Ю. М., Панфилов А. С., Фокин А. Б.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

На основе экспериментальных данных по наблюдению поверхности океана в видимой и ближней ИК-области спектра определены оптимальные условия съемки фронтальных зон, меандров, вихрей, внутренних волн в океане. Рассмотрена теоретическая модель формирования наблюдаемой картины за счет поверхностных явлений. Илл. 8. Библ. 18 назв.

УДК 551.435.126+629.78(282.243.76)

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ. *Ефремова О. Н., Кравцова В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

На основании сопоставления многозональных сканерных снимков дельты Дуная, полученных с помощью системы «Фрагмент» в сентябре 1980 г., с аналогичными снимками со спутника «Landsat», полученными в сентябре 1972 г., выявлена динамика дельты за 8 лет. На составленной карте отражено выдвижение в сторону моря береговой линии Килийской части дельты, увеличение обводненности одних участков внутренней дельты и уменьшение обводненности других, существенный рост площадей сельскохозяйственных земель в дельте за счет появления рисовых полей на землях осушенных плавней и полей других сельскохозяйственных культур на террасах. Илл. 3. Библ. -3 назв.

УДК 551.417

РАЗВИТИЕ РЕЛЬЕФА ПОБЕРЕЖИЙ РИЖСКОГО ЗАЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ. *Сафьянов Г. А., Кравцова В. И.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

В результате дешифрирования форм рельефа побережий Рижского залива составлена геоморфологическая схема побережья и проведен анализ динамики развития побережий. Восстановлено направление вдоль берегового потока наносов в прошлом и определена основная тенденция динамических процессов береговой зоны в последнее тысячелетие — распадение единого потока наносов под влиянием изменения внешних условий их перемещения. Илл. 2. Библ. 3 назв.

УДК 528.946

ИЗУЧЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ. *Январева Л. Ф.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Оценивается возможность использования разновременных сканерных многозональных снимков, полученных системой «Фрагмент», (на примере территории в степной зоне) для изучения территориальных структур земельных угодий и форм земледелия. Описывается методика дешифрирования земельных угодий, групп сельскохозяйственных культур и по системе внешних признаков комплексов агротехнических и мелиоративных мероприятий. Отмечаются преимущества использования космических снимков по сравнению с наземными методами. Илл. 5. Библ. 2 назв.

УДК 528.946

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ. *Котова Т. В., Кравцова В. И., Макаревич А. К.* «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

На примере района верховьев Северной Двины проанализированы возможности изучения и картографирования лесов по снимкам, полученным с помощью аппаратуры «Фрагмент». Снимки позволяют разделить лесные и нелесные площади и произвести разделение лесов по шфодному составу на хвойные, смешанные, лиственные. Обеспечивается детальное выделение контуров лесов и безлесных территорий размером более 0,5 км², но характеристика породного состава возможна лишь в самом обобщенном виде. Илл. 3. Библ. 4 назв.

ИЗУЧЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ПО МАТЕРИАЛАМ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНЕРНОЙ СЪЕМКИ. К. А. Давыдов, В. И., Низкая Л. С. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Проанализированы возможности использования снимков, получаемых многозональной сканирующей системой «Фрагмент», для изучения антропогенного воздействия на природную среду на примере таежных районов Севера Европейской части СССР и пустынных районов Средней Азии. Составлены схема антропогенного воздействия на лесную растительность в районе г. Котлас и схема антропогенного воздействия на пустынные ландшафты центральной части плато Устюрт. Илл. 4. Библ. 4 назв.

УДК 551.436.11

ИЗУЧЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО РЕЛЬЕФА КАЛАЧСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО МНОГОЗОНАЛЬНЫМ СКАНЕРНЫМ СНИМКАМ. Лантеева Н. И., Тальская Я. Я. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Даны геоморфологическая и литологическая схемы, схема эрозийного расчленения, составленные в результате дешифрирования многозональных сканерных снимков, полученных системой «Фрагмент» в разные сезоны. Детальность и достоверность снимков позволяет передать морфоструктурный план территории, природный рисунок и густоту долинно-балочной и овражной сети. Сделан вывод о целесообразности использования снимков для изучения эрозийного рельефа равнинных территорий и создания среднемасштабных геоморфологических карт. Илл. 4. Библ. 5 назв.

УДК 551.451.8

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ СИСТЕМОЙ «ФРАГМЕНТ» КАК ОСНОВА ЛАНДШАФТНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ. Ивашкина Л. И., Николаев В. А. «Исследование Земли из космоса», 1981, № 5.

Космические снимки системы «Фрагмент» обладают большой ландшафтной информацией. Они позволяют исследовать ландшафтную структуру аридных территорий на нескольких геосистемных уровнях — от природных урочищ и ландшафтов до физико-географических районов и провинций. По снимкам впервые составлены детальные среднемасштабные ландшафтные схемы пустынных районов Южного Примугоджарья и Северного Устюрта, а также сводная схема физико-географического районирования. Используются разнообразные дешифровочные признаки, важнейшими среди которых являются оптическая плотность и рисунок изображения. Илл. 5. Библ. 9 назв.

Редакция журнала просит авторов при направлении статей в печать руководствоваться изложенными ниже правилами. Статьи, присланные без соблюдения перечисленных правил, будут возвращены авторам без рассмотрения.

1. К публикации в журнале принимаются оригинальные исследования, обзоры (по заказу редакции) и краткие сообщения. Материалы ранее опубликованные а также принятые к опубликованию в других журналах, редакцией не принимаются.

2. Статья, поступающая для публикации, обязательно должна иметь разрешение на опубликование от учреждения, в котором выполнена данная работа (2 экз.), направление или письмо на имя главного редактора. Название учреждения должно быть указано в конце статьи.

3. Объем статьи не должен превышать половины авторского листа обзора-одного; авторского листа, кратких сообщений и писем в редакцию — трех машинописных страниц, включая графический материал. К статье должна быть приложена аннотация на русском и английском языках (2 экз.), а также реферат объемом 1—1,5 страницы машинописного текста.

4. Материал должен быть напечатан на пишущей машинке (не портативной) через два интервала с полями слева — 2,5 см, справа — 1 см; Нужные для иллюстрации статьи рисунки и чертежи должны быть представлены отдельно от рукописи, причем число рисунков не должно превышать 5 (встречая «а»; «б» и т. д.). Рукопись, табличный материал и иллюстрации представляются в двух экземплярах.

5. Цитируемая литература приводится общим списком на отдельной странице в конце статьи. В тексте статьи ссылки на цитируемую литературу следует давать в квадратных скобках, например, [12], причем порядок нумерации должен быть последовательным по мере появления ссылок в тексте.

Цитируемая литература указывается в следующем порядке: а) для журнальных статей указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год издания, номер тома, выпуска, первой и последней страниц; б) для книг следует указывать фамилии и инициалы авторов, полное название книги, место издания (город), название издательства, год издания и общее количество страниц.

6. Подстрочные примечания допускаются; только для очень кратких фактических справок и притом в минимальном числе.

7. Численные материалы предпочтительно давать в форме таблиц. Таблицы нумеруются по порядку упоминания их в тексте. Все графы в таблицах и сами таблицы должны иметь заголовки, сокращения слов в таблицах не допускаются. Следует избегать сложных текстовых разъяснений в заголовках колонок таблицы. Если это необходимо, нужно ввести символы (обозначения), которые и объяснить в тексте статьи.

8. Математические выражения должны приводиться с учетом требований экономии места. Известные или заимствованные формулы должны приводиться в конечном виде, в случае необходимости со ссылкой на литературу. Очевидные и легко выполнимые математические преобразования при выкладках должны опускаться. Нумеруются только те формулы, на которые в дальнейшем есть ссылки в тексте. Краткие и несложные формулы следует писать в строку в тексте, используя наклонную черту для обозначения операции деления. Нумерация формул дается справа.

Математические выражения и обозначения должны быть тщательно вписаны от руки чернилами или тушью. Выражения должны быть написаны крупно, четко и разборчиво, так, чтобы они были вполне ясны для набравщика. Необычные математические символы или особые обозначения на полях рукописи. Печатание формул и математических выражений на пишущей машинке не допускается.

9. Формулы должны быть вписаны четко и обозначены и показателями степеней (поднять дуги вверх). При написании дробей — следует использовать косую черту как знак деления. При написании дробей — следует использовать косую черту как знак деления.

10. Во избежание ошибок следует делать ясное различие между прописными и строчными буквами в формулах. В тех случаях, когда прописные и строчные буквы одинаковы по начертанию и отличаются только начертанием, прописные буквы должны быть выделены.

и >, О и о, К и к, S и *, "/ и i, £ и с, Р и р), необходимо прописные буквы подчеркнуть снизу двумя черточками (например, $\underline{\underline{\wedge}}$), а строчные помечать черточками сверху (например, $\overline{\overline{3}}$). Необходимо делать различие между буквами О (большой) и о (малой) и 0 (нулем), для чего буквы *Оно* подчеркнуть двумя черточками: $\underline{\underline{O}}\underline{\underline{n}}\underline{\underline{o}}$, а ноль оставлять без подчеркивания/Необходимо также различать буквы / и $\overline{\overline{V}}$, для чего в рукописи букву / писать как римскую единицу. Русские буквы в формулах, математические символы типа $\sin$, Re , $\exp$, и т. д., а также химические элементы подчеркиваются снизу прямой скобкой —. Размечать буквы следует простым карандашом, греческие буквы подчеркивать красным, векторы — синим (стрелки над буквой не писать).

И. Размер авторских оригиналов чертежей должен быть в полтора-два раза больше намечаемого размера иллюстрации в журнале. Надписи на чертежах по возможности должны быть заменены цифрами или буквами, которые следует пояснить в тексте или в подписи к рисунку. Подписи к рисункам давать обязательно отдельным списком. Фотографии должны быть контрастные, на белой глянцевой бумаге, хорошо проработанные в деталях, в двух экземплярах. Все необходимые на фотографиях пояснения следует делать только на втором экземпляре. Первый экземпляр фотографии не должен иметь никаких дефектов: чернильных пятен и надписей, изломов и следов от скрепок, трещин и т. д. На обороте иллюстрации необходимо указать фамилию автора, название статьи и номер рисунка. Для цветной вклейки нужен слайд (желательно на широкоформатной пленке) или цветная фотография.

12. Редакция предоставляет автору для просмотра один экземпляр машинописного текста статьи, подготовленного редакцией к печати. Авторы-москвичи просматривают статью в редакции. Иногородним авторам статья высылается почтой. Просмотренная статья с подписью автора должна быть выслана обратно в редакцию в течение трёх дней с момента ее получения. Типографская корректура авторам не высылается.

13. Направляемая в редакцию статья должна быть подписана автором (авторами) с указанием фамилии, имени и отчества, полного почтового • адреса, места работы и телефонов.

14. В случае возвращения автору статьи для переработки датой поступления статьи считается дата получения редакцией окончательного текста.

15. Автор опубликованной статьи получает бесплатно 25 оттисков своей статьи.



Сод 4-12

Цена 1р. 50к.
Индекс 70420



„ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА“ 1981, N 2