РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ 2018, том 5, выпуск 2, с. 26–33

— АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ —

УДК 528.855 DOI 10.30894/issn2409-0239.2018.5.2.26.33

## Метрологические и методические аспекты спектрально-энергетических калибровок оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ

**Д.О.Трофимов**, trofimov\_do@spacecorp.ru АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Ю. М. Гектин**, к. т. н., petrov\_sv@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**С.М.Зорин**, к.т.н., zorin\_sm@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**А. А. Зайцев**, zaytsev\_aa@spacecorp.ru

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлены результаты модернизации и метрологические характеристики измерительного комплекса «Камелия» АО «Российские космические системы», а также методические аспекты спектрально-энергетических калибровок оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты исследования распределения яркости ленточного тела накала лампы TPУ 1100-2350 в рабочем режиме. Приведены оптические схемы измерений спектральных характеристик оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ, оптических элементов и блоков на базе измерительного комплекса «Камелия». Проведенные работы обеспечили возможность не только получения относительных спектральных характеристик многозональных сканирующих устройств (МСУ), но также и измерения спектров пропускания и отражения оптических элементов (спектральных фильтров, зеркал, линз) и оптических блоков аппаратуры ДЗЗ в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,4-14$  мкм. Кроме того, разработана методика измерения спектральных характеристик источников оптического излучения ( $\lambda = 0,4-14$  мкм) и представлены результаты исследования распределения яркости ленточного тела накала лампы ТРУ 1100-2350.

Ключевые слова: метрологические характеристики, калибровка, многозональное сканирующее устройство (МСУ), измерительный комплекс, спектральная характеристика, оптическая схема, спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ)

# Metrological and Methodical Aspects of Spectral-Energetic Calibrations of Optoelectronic ERS Equipment

**D.O. Trofimov**, trofimov\_do@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Yu. M. Gektin, Cand. Sci. (Engineering), petrov\_sv@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**S. M. Zorin**, Cand. Sci. (Engineering), zorin\_sm@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

A. A. Zaytsev, zaytsev\_aa@spacecorp.ru

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The paper presents the results of modernization and metrological characteristics of the Kameliya measuring complex of the JSC "Russian Space Systems", as well as the methodological aspects of the spectral-energetic calibrations of the optoelectronic ERS equipment and the results of the brightness distribution study of the ribbon filament body of the TRU 1100-2350 in the operating mode. Optical circuits for measuring the spectral characteristics of the optoelectronic ERS equipment, optical elements and blocks based on the Kamelia measuring complex are presented. The carried out work provided the possibility of obtaining the relative spectral characteristics of transmission and reflection spectra of optical elements (spectral filters, mirrors, lenses) and optical units of remote sensing equipment in the wavelength range  $\lambda = 0,4-14 \ \mu\text{m}$ . In addition, a method has been developed for measuring the spectral characteristics of optical radiation sources ( $\lambda = 0,4-14 \ \mu\text{m}$ ) and the results of the study of the brightness distribution of the filament lamp body of the TRU 1100-2350 lamp are presented.

**Keywords:** metrological characteristics, calibration, multispectral scanning device, measuring complex, spectral characteristic, optical layout, spectral density of energy brightness (SDEB)

### Введение

Проведение радиометрических измерений с помощью аппаратуры ДЗЗ наиболее актуально в таких направлениях применения, как:

- анализ и прогноз погоды в региональном и глобальном масштабах;
- анализ и прогноз состояния акваторий морей и океанов;
- анализ и прогноз условий для полетов авиации;
- обнаружение и контроль природных и техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций;
- экологический контроль окружающей среды;
- обеспечение глобального мониторинга в интересах метеорологии, климатологии и оценки биоресурсов.

Расширение номенклатуры разрабатываемых в АО «Российские космические системы» многозональных сканирующих устройств (МСУ) гидрометеорологического назначения (МСУ-ГС [1], МСУ-МР [2], МСУ-ИК-СРМ, МСУ-МР-МП, МСУ-О, РИВР), увеличение количества летных образцов и темпы конструктивного совершенствования аппаратуры ДЗЗ диктуют и соответствующие темпы развития эталонной, экспериментальностендовой и нормативно-методической базы. Необходимость улучшения аппаратно-методического комплекса метрологического обеспечения и контроля радиометрических параметров МСУ обусловлена следующими причинами:

- повышением радиометрической точности, пространственного разрешения и величины поля зрения перспективной оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ;
- совершенствованием существующих и созданием принципиально новых измерительных средств для оценки характеристик МСУ;
- необходимостью разработки единых, аттестованных в соответствии с метрологическими правилами и нормами, средств и методов проведения калибровки и контроля параметров MCУ;
- необходимостью разработки системы обеспечения единства и требуемой точности воспроизведения и передачи дифференциальных величин спектрозонального и интегрального

оптического излучения с учетом привязки к национальным эталонам и условиям штатной эксплуатации МСУ в космосе.

МСУ, разрабатываемые АО «Российские космические системы», формируют многозональное видеоизображение высокого качества в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,4-13,5$  мкм, а также проходят процедуру наземной радиометрической калибровки, необходимую для измерения абсолютных значений эффективной энергетической яркости (ЭЭЯ) объектов  $L_{эф}$  (1) в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах спектра ( $\lambda = 0,4-2,5$  мкм), а также ЭЭЯ и радиационной температуры в тепловом ИК-диапазоне излучения ( $\lambda = 2,5-14$  мкм) для каждого спектрального канала аппаратуры,

$$L_{\mathfrak{s}\mathfrak{\phi}}^{n} = \int_{0}^{\infty} L(\lambda) S_{n}(\lambda) \, d\lambda, \, [\mathrm{Bt}/(\mathrm{M}^{2} \cdot \mathrm{cp})], \qquad (1)$$

где  $L_{9\phi}^n$  — ЭЭЯ объекта, измеряемая в канале n;  $\lambda$  — длина волны;  $L(\lambda)$  — спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ) объекта;  $S_n(\lambda)$  — относительная спектральная чувствительность канала n МСУ.

Под радиометрической калибровкой MCУ понимают процедуру формирования характеристики преобразования для каждого спектрального канала как зависимости выходного сигнала от ЭЭЯ или эквивалентной радиационной температуры образцового излучателя (с учетом оговоренной точности).

В соответствии с требованиями международных документов [3] для перспективной радиометрической аппаратуры ДЗЗ необходимо обеспечить погрешность измерений ЭЯЯ не более 5% в диапазоне  $\lambda = 0,4-2,5$  мкм и погрешность измерений абсолютной радиационной температуры 0,1–0,5 К в диапазоне  $\lambda = 2,5-14$  мкм.

## Метрологические характеристики модернизированного комплекса «Камелия»

Радиометрический комплекс АО «Российские космические системы» включает:

1) комплекс измерительный «Камелия» (рис. 1), предназначенный для калибровки монохроматиче-

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ т. 5 вып. 2 2018

ского осветителя, диффузного осветителя и МСУ, а также для измерения спектральных характеристик в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,4-2,5$  мкм. Комплекс «Камелия» введен в Государственный реестр средств измерений и ежегодно поверяется ФГУП «ВНИИОФИ» в качестве образцового средства измерения;

2) измерительный ИК-комплекс, предназначенный для радиометрической калибровки МСУ и измерения спектральных характеристик в диапазоне  $\lambda = 2,5-14$  мкм.



Рис. 1. Комплекс измерительный «Камелия»

В настоящее время проведена модернизация метрологической базы АО «Российские космические системы», используемой при разработке МСУ. Основные направления модернизации, проведенной с целью повышения точности радиометрической калибровки:

1) для участка сборки, юстировки, калибровки и испытаний оптико-электронной аппаратуры введено в эксплуатацию и аттестовано чистое помещение класса ISO8 с антистатической защитой рабочих мест и с автоматическим поддержанием заданной температуры ( $22 \pm 2$  °C, возможность регулирования от 18 до 25 °C) и влажности ( $50 \pm 10$ %);

2) в составе модернизированного комплекса «Камелия» введены в эксплуатацию два современных двойных монохроматора субтрактивной конфигурации с цифровым управлением — DM55S ( $\lambda = 0.4-2.5$  мкм) и MS257 ( $\lambda = 0.4-14$  мкм);

3) разработана универсальная программа управления монохроматорами и сбора данных, позволяющая автоматизировать процесс измерения спектральных характеристик, что значительно увеличивает производительность получения и обработки результатов и снижает случайную составляющую погрешностей измерения;

4) проведена аттестация модернизированного комплекса измерительного «Камелия» и получено свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.377.А № 55245, регистрационный номер № 57492-14 (метрологические характеристики приведены в таблице);

Таблица. Метрологические характеристики комплекса «Камелия» по результатам последней поверки

Наименование характеристики	Значение характе- ристики
Диапазон длин волн, мкм	0,4-2,5
Абсолютное значение спектральной плотности энергетической яркости диффузного осветителя на длине волны 0,98 мкм, Вт/ср·м <sup>3</sup>	$5,3 \cdot 10^{8}$
Максимальный световой диаметр потока излучения, мм	230
Относительная погрешность результата измерений абсолютного значения спек- тральной плотности энергетической ярко- сти диффузного осветителя на длине вол- ны 0,98 мкм, %	$\pm 6,4$
Относительная погрешность результата измерений относительного распределения спектральной плотности энергетической яркости диффузного осветителя в диапазоне длин волн от 0,4 до 2,5 мкм, %	±5,1
Относительная погрешность измерений относительного спектрального распределе- ния излучения монохроматического осве- тителя в диапазоне длин волн от 0,4 до 2,5 мкм, %	±4,7

5) реализована оптическая схема с максимальным световым диаметром 230 мм для снятия спектральных характеристик МСУ в диапазоне  $\lambda = 2,5-14$  мкм, где в качестве источника излучения использована модель абсолютно-черного тела (АЧТ) типа 67033 с диапазоном температур от +50 °C до +1050 °C (стабильность  $\pm 0,02$  % за 24 ч);



Рис. 2. Оптические схемы измерений относительных спектральных характеристик на базе измерительного комплекса «Камелия»

6) разработаны оптические схемы и методики измерения относительных спектральных характеристик пропускания и отражения оптических элементов и блоков, а также источников оптического излучения в спектральном диапазоне  $\lambda = 0,4-14$  мкм;

7) введена в эксплуатацию и аттестована крупногабаритная камера температурного моделирования в условиях азотной среды с рабочим объемом 16 м<sup>3</sup> для радиометрической калибровки МСУ, а также для проведения испытаний аппаратуры на воздействие изменения температуры среды с рабочим диапазоном температур внутри камеры от +5 °C до +35 °C.

## Методические аспекты спектрально-энергетических калибровок оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ. Измерение относительных спектральных характеристик в диапазоне длин волн $\lambda = 0,4-14$ мкм

На рис. 2 представлены типовые оптические схемы измерений спектральных характеристик МСУ на базе измерительного комплекса «Камелия» (на рис. 2, *a*: 1, 3 — плоские зеркала, 2 — сферическое зеркало (f = 1300 мм)) и измерений спектральных характеристик пропускания оптических элементов и блоков (на рис. 2, *б*: 1 — плоское зеркало, 2 — сферическое зеркало (f = 1300 мм), 3 — сферическое зеркало (f = 2009 мм)).

По схеме измерений, приведенной на рис. 2, *a*, выполняется калибровка монохроматического осветителя (МО) и МСУ.

По схеме измерений, приведенной на рис. 2, *б*, выполняются два типа измерений: поверка осветителя по образцовому приемнику и измерение коэффициентов пропускания оптических элементов (блоков).

В настоящее время также отработаны методики измерений спектральных характеристик отражения оптических элементов (для различных углов) и источников оптического излучения в спектральном диапазоне  $\lambda = 0,4-14$  мкм.

В состав монохроматического осветителя (МО) входят: лампа ТРУ1100-2350 (используется для диапазона  $\lambda = 0,4-2,5$  мкм) либо модель АЧТ типа 67033 (используется для диапазона  $\lambda = 2,5-14$  мкм) в качестве источников излучения, подключаемых с помощью поворотного зеркала, конденсор и двойной монохроматор субтрактивной

конфигурации с цифровым управлением MS257 (спектральный диапазон 0,4–14 мкм).

Для корректного исключения спектральных характеристик МО, слоя воздуха и минимизации погрешностей измерений необходимо обеспечить одинаковую длину оптического пути для обеих стадий: (измерение MO + MCY, рис. 2, *a*) и (измерение MO + образцовый приемник, рис. 2,*б*), а также стабильность условий измерений: температуры, влажности и состава атмосферы (особенно для ИК-диапазона).

На рис. З в качестве примера приведены результаты измерений, выполненных по схеме рис. 2,  $\delta$ , спектральных характеристик одного из отрезающих фильтров в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 8,0-9,5$  мкм.



Рис. 3. Пример спектральной характеристики одного из отрезающих фильтров в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 8,0-9,5$  мкм, полученной с помощью измерительного комплекса «Камелия» в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 8,0-9,5$  мкм

Подобные измерения (по схеме рис. 2, б) в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 3,0-14$  мкм были проведены для каждого из семи ИК-каналов полностью изготовленного светоделительного блока MCУ-ГС [1] (для космического аппарата «Электро-Л» № 2). Также были получены спектральные характеристики (по схеме рис. 2, *a*) для всех шести каналов (включая ИК-каналы) полностью изготовленного MCУ-MP (для космического аппарата «Метеор-М» № 2 [2]).

На рис. 4 представлены относительные спектральные характеристики одного из типов отражающих покрытий на основе Al для трех различных углов отражения ( $10^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ ), полученные с помощью измерительного комплекса «Камелия»



Рис. 4. Примеры относительных спектральных характеристик одного из типов отражающих покрытий на основе Al для трех различных углов отражения (10°, 45° и 60°), полученных с помощью измерительного комплекса «Камелия» в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 8,0-11,0$  мкм

(с использованием дополнительно разработанного приспособления) в ИК-диапазоне спектра  $\lambda = 8,0-11,0$  мкм.

Как показали проведенные исследования, зависимость вида спектральной характеристики отражающего покрытия от угла отражения (рис. 4) в ИК-диапазоне спектра можно объяснить поглощением защитного покрытия, которое обычно наносится на Al зеркала. Несмотря на то, что диэлектрическое защитное покрытие является аморфным, ИК-колебательные спектры несут информацию о ближнем порядке атомной структуры, который определяет подобие решеточного поглощения. При нормальном падении регистрируются только поперечные оптические фононы, а при наклонном падении регистрируются поперечные и продольные фононы [4, 5]. Результаты измерений показали, что при выборе отражающих покрытий зеркал, предназначенных для работы под углами более 15° (поворотные и сканирующие зеркала для ИК-диапазона  $\lambda = 3-14$  мкм), необходимо тщательно учитывать химический состав, технологию изготовления и толщину защитного покрытия, чтобы исключить провалы значения коэффициента отражения в некоторых диапазонах длин волн, значительно снижающие качество оптического тракта приборов ИК-диапазона.

На рис. 5 в качестве примера представлены измеренные в диапазоне  $\lambda = 400-2500$  нм относительные характеристики излучения миниатюрной галогенной лампы номинальной мощность 5 Вт

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ т. 5 вып. 2 2018



Рис. 5. Примеры относительных спектральных характеристик излучения миниатюрной галогенной лампы номинальной мощностью 5 Вт ( $U_{\text{ном}} = 12$  В)

 $(U_{\text{ном}} = 12 \text{ B})$  для двух различных напряжений питания (10 В и 6 В).

# Распределение яркости тела накала лампы ТРУ 1100-2350 в рабочем режиме

Абсолютные измерения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,4-2,5$  мкм при калибровке диффузного осветителя (ДО) из состава комплекса «Камелия» проводятся с использованием эталонной лампы ТРУ 1100-2350 (рабочий эталон 1-го разряда по ГОСТ 8.195-89), которая ежегодно поверяется во ФГУП «ВНИИОФИ». Анализ литературы показал противоречивость данных по распределению яркости по площади ленточного тела накала лампы [6,7].

Рабочим участком ленточного тела накала лампы ТРУ 1100-2350 является зона, расположенная напротив указателя и обращенная к окну колбы (общий размер ленты  $2,8 \times 20$  мм). Границы рабочего участка проходят на расстоянии  $\pm 1$  мм от горизонтальной оси ленточного тела накала, проходящей через конец указателя, согласно ТУ16-546.108-76. Ввиду высоких требований к точности абсолютных измерений СПЭЯ важно знать, насколько неравномерно распределение яркости по площади тела накала.

На рис. 6 представлена схема измерения неравномерности яркости тела накала лампы. В первую



Рис. 6. Схема измерения относительного распределения яркости по площади тела накала лампы ТРУ 1100-2350

очередь за выходной щелью монохроматора (MX) устанавливается лазерный модуль (работающий на длине волны  $\lambda = 637$  нм) напротив центра щели (рис. 6, лазер). Входная щель монохроматора ограничивается по ширине на уровне 0,6 мм, а по высоте 0,5 мм.

После установки длины волны монохроматора  $\lambda = 637$  нм производится нацеливание пятна на центр зеркал по горизонтали и по вертикали (плоские зеркала 1 и 2 и сферическое зеркало), подстройкой положения зеркал пятно лазерного



Рис. 7. Изображение щели монохроматора в плоскости тела накала лампы при засветке лазерным модулем  $(\lambda = 637 \text{ нм})$ 

излучения выставляется на центр тела накала напротив указателя (рис. 7).

Далее лазер выключается и за выходной щелью монохроматора устанавливается фотодиод (ФД) SZU 1337-1010BR (лазерный модуль с оси не сдвигается). Включается лампа ТРУ 1100-2350 (номинальный ток  $25 \pm 0,001$  A) и производится измерение сигнала ФД для установленной точки на теле накала для  $\lambda = 980$  нм (максимум СПЭЯ ДО) с помощью мультиметра AGILENT 34401A. Проводятся аналогичные измерения еще в четырех точках тела накала по горизонтали, и для каждой такой точки производятся измерения еще в четырех положениях по вертикали путем перемещения пятна лазерного излучения подвижками лампы (рис. 8, 9).

Полученные данные свидетельствуют о существенной неравномерности яркости вдоль вертикальной оси Y тела накала (около 8% для измеренного участка тела накала, рис. 8, рис. 9, б), при этом яркость снижается в направлении от верхней части ленты к ее нижней части. В рабочей области напротив индекса вдоль оси X неравномерность составляет не более 3% для всей ширины ленты (рис. 8, рис. 9, a), при этом максимум яркости соответствует центральной точке по ширине ленты.

Таким образом, проведенные измерения показали, что применяемая методика и учет измеренного распределения яркости вблизи рабочей области тела накала позволяют обеспечить абсолютизацию



Рис. 8. Положение точек измерения распределения яркости по площади тела накала лампы ТРУ 1100-2350

ДО путем передачи СПЭЯ от эталонной лампы ТРУ 1100-2350 с высокой точностью благодаря возможности позиционирования на центр рабочей области тела накала с точностью не хуже ±0,5 мм.

#### Заключение

Представленные в работе результаты модернизации измерительного комплекса «Камелия» и разработка новых методик измерения спектральноэнергетических характеристик оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ позволили обеспечить практическое внедрение оптических схем для снятия относительных спектральных характеристик МСУ, спектров пропускания и отражения (для различных углов) оптических элементов и оптических блоков аппаратуры ДЗЗ в диапазоне  $\lambda = 0,4-14$  мкм. Новые возможности комплекса «Камелия» обеспечили проведение измерений для каждого из семи ИК-каналов полностью изготовленного светоделительного блока МСУ-ГС [1] (для космического аппарата «Электро-Л» №2). Также были получены спектральные характеристики для всех шести каналов (включая три ИК-канала) полностью изготовленного МСУ-МР [2] (для космического аппарата «Метеор-М» № 2).

Кроме того, разработана методика измерения спектральных характеристик источников оптического излучения ( $\lambda = 0,4-14$  мкм) в диапазоне



Рис. 9. Относительное распределение яркости тела накала лампы ТРУ 1100-2350: *a*) по ширине ленты на уровне индекса, вдоль оси X (Y = 0); *б*) по высоте ленты, вдоль центральной оси Y (X = 0)

 $\lambda = 2,5-14$  мкм, на основе которой проведены измерения спектров излучения галогенных ламп, светодиодных источников, газоразрядных ламп.

Дальнейшее совершенствование радиометрического комплекса АО «Российские космические системы» зависит от общего состояния метрологической базы в космической отрасли и стране в целом. Создание перспективного эталонного, измерительного и испытательного оборудования, особенно в ИК-области спектра, а также соответствующей нормативно-методической базы с целью разработки конкурентной аппаратуры ДЗЗ является важной государственной задачей, требующей организационных решений, обеспеченных регулярным финансированием.

#### Список литературы

- Андреев Р.В., Акимов Н.П., Бадаев К.В., Гектин Ю.М., Зайцев А.А., Рыжаков А.В., Смелянский М.Б., Сулиманов Н.А., Фролов А.Г. Многозональное сканирующее устройство для геостационарного метеоспутника «Электро-Л» // Ракетнокосмическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 3. С. 33–44.
- 2. Акимов Н.П., Бадаев К.В., Гектин Ю.М., Рыжаков А.В., Смелянский М.Б, Фролов А.Г. Много-

зональное сканирующее устройство малого разрешения МСУ-МР для космического информационного комплекса «Метеор-М». Принцип работы, эволюция, перспективы // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2015, т. 2, вып. 4. С. 30–39.

- Панфилов А.С., Гаврилов В.Р., Саприцкий В.И. Условия подготовки и проведения абсолютных радиометрических измерений с помощью оптико-электронной аппаратуры наблюдения Земли // Исследования Земли из космоса, 2014, № 1. С. 85–91.
- 4. Гриценко В. А. Структура границ раздела кремний/ оксид и нитрид/оксид // Успехи физических наук, 2009, т. 179, № 9. С. 921–930.
- 5. Гриценко В.А. Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния // Успехи физических наук, 2008, т. 178, №7. С. 727-737.
- 6. Ваваев В.А., Ваваев М.В., Полянский И.В. Радиометрическая градуировка комплекса многозональной спутниковой съемки // Механика, управление и информатика. Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Россия, Таруса, 22–25 сентября 2008 г. М.: ИКИ РАН, 2009. С. 549–561.
- 7. Куинн Т.Д. Температура. М.: Мир, 1985. 448 с.