

Из истории естествознания *From the History of Science*

ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТА И ОРЕОЛА ЗЕМЛИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ «ВОСХОД-1»

ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ ЩЕРБИНИН

*Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН
Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 14
E-mail: sdy-press@mail.ru*

Исследования дневного, сумеречного и ночного горизонтов Земли являлись частью программы научных наблюдений, проводимых во время полетов космических кораблей серии «Восток». Во время суточного полета трехместного корабля «Восход-1» эти исследования были продолжены. В статье описаны основные технические средства для выполнения задач наблюдения и регистрации горизонта и ореола атмосферы Земли во время полета «Восход-1» и рассмотрены основные результаты и выводы, сделанные на основании анализа полученных фотоснимков.

Ключевые слова: фотосъемка в космосе, пилотируемые полеты в космос, космическая фототехника, космические исследования.

DOI: 10.31857/S020596060001117-0

STUDIES OF THE EARTH'S HORIZON AND HALO FROM ON BOARD THE *VOSKHOD-1* SPACECRAFT

DMITRII YURIEVICH SHCHERBININ

*S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences
Ul. Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315, Russia
E-mail: sdy-press@mail.ru*

Studies of day, twilight and night horizons of the Earth were part of the program of scientific observations carried out during the flights of the *Vostok* spacecrafts. These observations continued during the 24-hour flight of *Voskhod-1*. The article describes the main equipment and facilities for monitoring and recording the horizon and halo of the Earth's atmosphere during the *Voskhod-1* flight as well as the main results and conclusions based on the analysis of thus obtained photographs.

Keywords: photography in space, manned space flights, space photography equipment, space research.

12 октября 1964 г. в 10 час. 30 мин. по московскому времени в СССР на околоземную орбиту ракетой-носителем «Восход 1А57» был выведен трехместный пилотируемый космический аппарат (ПКА) «Восход-1». Впервые в мире на борту космического корабля находился экипаж из трех человек, состоящий из командира корабля летчика-космонавта В. М. Комарова, членов экипажа научного сотрудника-космонавта К. П. Феоктистова и врача-космонавта Б. Б. Егорова. «Восход-1» был выведен на орбиту, близкую к расчетной, с периодом обращения вокруг Земли 90,1 мин. Полет длительностью 24 час. 17 мин. проходил на орбите с перигеем 177,5 км и апогеем 408 км.

Основными целями полета были испытания нового многоместного космического пилотируемого корабля «Восход», исследования работоспособности и взаимодействия в полете группы космонавтов, состоящей из специалистов в различных областях науки и техники, проведение научных физико-технических исследований в условиях космического полета, продолжение изучения влияния различных факторов космического полета на человеческий организм, проведение расширенных медико-биологических исследований в условиях длительного полета. Еще одной целью экипажа было исследование с помощью бортовой фото- и киноаппаратуры горизонта и ореола атмосферы Земли. Предполагалось получить данные, необходимые для разработки системы управления ориентацией на орбите пилотируемых и беспилотных космических аппаратов.

Программа исследований горизонта и ореола атмосферы Земли во время полета «Восхода-1»

Выполненные экипажем корабля «Восход-1» задачи исследования дневного, сумеречного и ночного горизонтов Земли являлись отчасти прямым продолжением серии экспериментов, начатых на космических кораблях серии «Восток». Съёмки велись по расчетным выдержкам, скорректированным по результатам съёмки предыдущих космических полетов. Отличительной чертой полета стало использование расширенного аппаратного состава средств регистрации визуальной информации и усложнение научных задач.

Результаты теоретических разработок указывали на то, что яркостная структура горизонта планеты, наблюдаемая с космического корабля, содержит обширную информацию об оптическом строении атмосферы и ее световом режиме, недоступную или трудно доступную для получения другими методами. При разработке программы полета корабля новой серии был поставлен ряд задач для исследования дневного и сумеречного горизонтов Земли:

- определение высотной оптической структуры атмосферы Земли в интервале высот от 5–10 до 150–200 км, включая изучение высотного распределения в атмосфере аэрозоля, кислорода, озона, водяного пара, натрия и других примесей. Предстояло провести исследование серебристых и перламутровых облаков, изучить их географическую и сезонную изменчивости, а также характер и степени выраженности оптической неоднородности атмосферы;

- определение характеристик светового режима земного горизонта в различных областях спектра и выяснение степени его стабильности в зависимости от

условий освещенности, наблюдения и метеорологических условий в различных географических и сезонных условиях. Получение этих данных было необходимо для выбора и разработки системы ориентации и навигации космических кораблей, а также систем обнаружения. Экспериментальные данные должны были проверить теоретические представления о световом режиме высотных слоев атмосферы;

– получение данных для оценки новых методов изучения атмосферы других планет с космических кораблей.

Бортовая фото- и киноаппаратура «Восхода-1»

Задачи полета определили основные требования к аппаратуре для выполнения исследований, среди которых были высокое угловое разрешение, одновременность измерений в различных направлениях, малая длительность процесса измерения, достаточно большие угловые размеры поля зрения, подвергаемого изучению, сознательный выбор объекта, времени и условий его съемки, точная фиксация момента и направления съемки, фиксация вспомогательных данных об обстановке реализации снимаемого явления¹.

Перечисленным требованиям в середине 60-х гг. XX в. отвечала только фотографическая технология. Процесс получения информации предполагал использование пленочных фотоаппаратов на орбите, возвращение отснятого материала на Землю и его фотохимическую обработку. Поэтому для выполнения намеченной программы исследований горизонта и ореола атмосферы Земли в состав бортовой аппаратуры ПКА «Восход» было решено включить фотоаппарат со светофильтрами и черно-белой фотографически маркированной пленкой. Фотографирование на цветную пленку использовалось в качестве дополнительного способа исследований.

В отличие от полетов кораблей серии «Восток», когда основным бортовым средством регистрации являлась кинокамера КСР-1 «Конвас», на космическом корабле «Восход-1» съемка осуществлялась кинокамерой «Киев 16С-2» и фотоаппаратом «Ленинград» с объективом «Юпитер-6». Использование фотоаппарата обеспечивало фиксацию времени экспозиции, что важно для фотометрического анализа результатов. Кинокамера предназначалась для проведения научных и хроникальных съемок внутри корабля и через иллюминаторы.

Основным бортовым средством для регистрации наблюдаемых во время космического полета явлений была фотокамера «Ленинград». Она была разработана в 1953 г. на Государственном оптико-механическом заводе (ГОМЗ) (с 1960 г. – Ленинградское оптико-механическое объединение (ЛОМО) в Ленинграде. Серийно выпускалась в 1956–1966 гг. По своим конструктивным особенностям камера не имела аналогов в мире и являлась одной из немногих полностью оригинальных разработок советского приборостроения. Ее особенностью было нали-

¹ Научные исследования, проведенные экипажем корабля-спутника «Восход»: отчет: ЦКБОМ, рук. М. К. Тихонравов, исп. К. П. Феоктистов [и др.]. М., 1966 // Библиотека в/ч 26266. Инв. № 3030. С. 10.

чие заводного пружинного механизма, позволявшего производить автоматическую съемку до 15 кадров за один завод. Фокусировка ручная. «Ленинград» обладал удобным прямым оптическим видоискателем, совмещенным с дальномером в одном поле. Затвор механический, шторный, с горизонтальным движением матерчатых шторок. Серийная съемка – до 3 кадров/с. Размер кадра – 24×36 мм. Габариты фотокамеры – $133 \times 93 \times 74$ мм, вес – 900 г².

Фотокамера была оснащена сменным светосильным объективом с просветленной оптикой «Юпитер-6». Этот объектив создавался на базе схемного решения объектива *Carl Zeiss Jena 180mm f/2.8 Olympia Sonnar*, который был выпущен немецкой компанией *Zeiss Ikon AG* для обеспечения соревнований по стрельбе на XI летних олимпийских играх 1936 г. в Берлине. Пересчет оригинального объектива *Carl Zeiss 2,8/180 Olympia Sonnar* был произведен в 1949 г. в Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова (ГОИ)³.

Объектив выпускался Красногорским механическим заводом с 1958 г. и имел следующие технические характеристики: фокусное расстояние – 180 мм, пределы шкалы диафрагм – $f/2,8$ – $f/22$, количество лепестков диафрагмы – 18, разрешающая способность центр/край – 35/16 линий/мм, угол поля зрения – 14° , переднее вершинное фокусное расстояние – 197,70 мм, заднее вершинное фокусное расстояние – 83,061 мм, расстояние от первой до последней поверхности – 89,78 мм, количество линз/групп – 5/3, рабочий отрезок – 45,2 мм, ближний предел фокусировки – 2 м, вес – 1500 г⁴.

Объектив был укомплектован синим и красным фильтрами и стандартными фильтрами ОС-14 и ХС-19. Съемки велись на специальную черно-белую, спектрзональную (тип СН-3, СН-23) и цветную (тип В-333 «Орвоколор» (производство ГДР) пленку. Съемки, предназначенные для фотометрических измерений, велись на черно-белую маркированную пленку с применением красного и синего фильтров. При съемке на спектрзональную пленку использовались фильтры ХС-18 и ОС-14. Каждая пленка имела три метки: без светофильтра при экспозиции 1/60 с, с синим светофильтром СЭС-22 толщиной 5 мм при экспозиции 1/3 с, с красным светофильтром КС-14 толщиной 5 мм при экспозиции 1/15 с. Контрольная градуировка пленок проводилась при помощи сенситометра⁵. Для этого использовался сенситометр ГОИ ФСР-41.

16-миллиметровая камера «Киев 16С-2», входившая в состав бортовых средств регистрации, выпускалась серийно Киевским заводом автоматики им. Г. И. Петровского с 1957 по 1966 г. Камера была первой в СССР моделью семейства узкоплочных киноаппаратов, предназначенных для съемки любительских хроникально-документальных и научных-экспедиционных фильмов на 16-мм кинопленку с двусторонней перфорацией. Объективы «РО-51» 20 мм $f/2,8$ и

² Абрамов Г. Этапы развития отечественного фотоаппаратостроения // http://www.photohistory.ru/1207_248170259168.html.

³ Фотографические и проекционные объективы, разработанные в ГОИ: альбом / Сост. Е. Б. Лишнева, ред. Е. Н. Царевский. Л.: [б. и.], 1963.

⁴ Фотографический объектив «Юпитер-6» для фотоаппарата «Зенит», описание и руководство к пользованию. Красногорск: КМЗ, 1967.

⁵ Научные исследования... С. 11.

«Индустар-50» 50 мм $f/3,5$ были расположены на поворотной турели, на которой монтировались также два объектива-визира. Аппарат был снабжен пружинным приводом, полный завод пружины которого обеспечивает протяжку 3,5–4,4 м киноплёнки. Для съёмки одной кассеты требовалось взводить пружину привода от 3 до 5 раз. Съёмка осуществлялась с частотой 16, 24, 32, 48 и 64 кадра/с, был предусмотрен режим покадровой съёмки. Экспозиционные параметры устанавливались вручную. Предусматривалась зарядка кассетами ёмкостью до 15 м плёнки. Кассетная зарядка позволяла быстро перезаряжать аппарат киноплёнкой (в кассете размещалась часть лентопротяжного механизма – зубчатый барабан, наматыватель с фрикционом, плёночный канал с контргрейфером, шторка для закрывания кадрового окна и контактный указатель количества неэкспонированной киноплёнки). Габариты кинокамеры – 215 × 130 × 65 мм, вес – 1700 г.

Камера «Киев 16С-2» являлась копией *Magazine Camera 200 T* производства американской компании *Bell & Howell*. Выпущенная в 1951 г. *Magazine Camera 200 T* была оснащена двумя объективами: *Taylor Hobson* 1 дюйм (25,4 мм) $f/1.9$ и *Wollensak Raptar* 3 дюйма (76,2 мм) $f/2.8$. Корпус кинокамеры был выполнен из металла в сочетании с синтетической кожей серого цвета. Габариты кинокамеры – 248 × 130 × 50 мм, вес – 1730 г⁶.

Бортовая кинокамера «Киев 16С-2» была укомплектована штатным объективом «Индустар-50» и объективом с фокусным расстоянием 12,5 мм.

Результаты исследований

Большое количество фотографий, полученных в различных условиях, с различными светофильтрами и охватывающих протяженные участки горизонта, содержали обширную и разнообразную информацию о структуре земной атмосферы и ее световом режиме. Особую ценность представляли серии последовательных снимков, сделанных со светофильтрами, что существенно расширило границы исследований по сравнению с результатами фотографирования горизонтов Земли в рамках программы полетов кораблей серии «Восток». Выводы были сделаны на основе полученных фотоматериалов и на основании зарисовок, записей и личных впечатлений членов экипажа.

Во время полета были получены следующие фотоматериалы:

– серия последовательных снимков сумеречного горизонта на черно-белой маркированной плёнке с синим светофильтром при экспозиции 1/500 с. Серия состоит из 8 снимков с интервалом 10 с, начиная с 15 час. 56 мин. московского времени;

– серия последовательных снимков сумеречного горизонта на цветной плёнке. Серия состоит из 4 снимков, выполненных с интервалом времени 10 сек., начиная с 4 час. 50 мин. московского времени;

– снимки дневного горизонта на черно-белой плёнке, полученные на различных участках траектории корабля;

⁶ Bell & Howell // <http://www.movie-camera.it/belle.html>.

– снимки дневного горизонта на цветной пленке ⁷.

Анализ фотографий показал, что край планеты, снятый в дневное время с синим и красным светофильтрами, и окружающий планету световой ореол, как и следовало ожидать, наиболее ярки в синей части спектра. Однако в красном свете линия горизонта остается закрытой атмосферной дымкой. Визуально линии горизонта так и не были обнаружены. Тропосферная облачность у горизонта, как правило, также не просматривалась ⁸.

Визуальные наблюдения с корабля «Восход» выявили особенности цветового окраса светового ореола планеты. Было зафиксировано, что плавное изменение яркости и цвета светового ореола с удалением от края планеты нарушается присутствием слабо выраженных полос повышенной яркости, имеющих белесую окраску и тянущихся вдоль горизонта невысоко над краем планеты. Объяснением этого явления стал эффект рассеяния света в сравнительно тонких, но протяженных слоях аэрозоля, существование которых было обнаружено ранее, но в других условиях с кораблей «Восток». При этом были отмечены случаи наблюдения одного, двух и трех слоев аэрозоля.

Условия наблюдения светового ореола у сумеречного края планеты, в области терминатора, существенно отличались от дневных. Лучи Солнца, находящегося за горизонтом, освещают расположенные в поле зрения наблюдателя высокие слои атмосферы. Рассеянный этими слоями свет проходит по пути к наблюдателю сквозь более низкие слои атмосферы, где может испытывать заметное ослабление (в случае широкополосных фильтров в основном за счет рассеяния). При этом наблюдатель видит световой ореол поднимающимся над резко очерченным контуром не освещенного тела планеты. Отсутствие ярко освещенных областей позволяют проследивать ореол до значительно больших высот, чем днем, путем увеличения экспозиции или в результате адаптации глаза к низким условиям освещенности. Яркостная структура ореола определяется, с одной стороны, условиями рассеяния в высоких слоях атмосферы и, с другой, – высотной структурой нижних слоев атмосферы, экранирующих идущий к наблюдателю рассеянный свет ⁹.

Это явление и наблюдалось экипажем корабля «Восход-1» в верхней части сумеречного ореола. Высотные аэрозольные слои (например, серебристые облака), которые должны отчетливо выступать в структуре дневного горизонта, могут проявляться и в яркостной структуре сумеречного ореола у края Земли. Экранирование рассеянного света атмосферой на пути его к наблюдателю начинается ниже, примерно на высоте 30–40 км, и быстро возрастает по направлению к земной поверхности. Высота расположения максимума яркости сильно зависит от области спектра, а характер спада яркости по направлению к земной поверхности целиком определяется строением нижних слоев атмосферы. Так как коэффициент рассеяния воздуха быстро увеличивается с уменьшением длины волны, самые нижние слои атмосферы оказываются практически

⁷ Научные исследования... С. 12.

⁸ Там же. С. 13.

⁹ Там же. С. 21.

непрозрачными для синей области спектра. Поэтому сумеречный ореол внизу окрашивался в красновато-оранжевые тона, постепенно сменявшиеся с увеличением высоты белой, а затем голубой окраской, появляющейся тогда, когда эффект ослабления рассеянного ореола становится несущественным.

В качестве одной из наиболее характерных особенностей нижней части сумеречного ореола было отмечено наличие довольно узких горизонтальных полос пониженной яркости, пересекающих световой ореол на всем его протяжении. Подобные полосы наблюдались также ранее с космических кораблей «Восток». Причиной их появления служат те же сравнительно тонкие слои аэрозоля, которые наблюдались над освещенной стороной Земли.

С поверхности Земли эти слои незаметны из-за малости оптической толщины в вертикальном направлении. При наблюдении с орбиты по касательной к земной поверхности оптическая толщина слоев оказывается уже значительной, что ведет к сильному ослаблению рассеянного света на его пути к наблюдателю. По сумеречным наблюдениям, как и по дневным, было установлено, что число слоев непостоянно. Обычно в интервале высот до 25–30 км наблюдается два слоя, на высотах около 19 и 11 км иногда наблюдается третий, расположенный несколько выше. Новым зафиксированным явлением было отсутствие аэрозольных слоев. Как и ожидалось, в структуре яркостного профиля сумеречного горизонта не обнаруживается указаний на слоистость верхних слоев атмосферы¹⁰.

При анализе снимков, сделанных на «Восходе-1», было замечено, что расположенные на белесом фоне тени аэрозольных слоев имеют голубую окраску, что наблюдалось ранее и с кораблей «Восток». В то же время над освещенной стороной Земли, по визуальным наблюдениям с корабля «Восход», они выступают как белесые полосы. И то, и другое означает, что аэрозольные частицы, образующие эти слои, практически всегда имеют эффективные размеры, близкие к длине световой волны, но немного превышающие ее, так как только при этом условии рассеяние в длинноволновой области спектра сильнее, чем в коротковолновой.

Экипаж заснял на фотопленку ряд явлений при исследовании яркостной структуры ночного горизонта Земли.

При наблюдении с космического корабля, находящегося над неосвещенной частью Земли, была замечена слабая полоса повышенной яркости, тянущуюся вдоль горизонта на высоте примерно 2,5–3° над краем планеты¹¹. Эта полоса, впервые обнаруженная американским астронавтом Дж. Г. Гленном, наблюдалась затем многими космонавтами.

Относительно ее природы существуют две точки зрения. Согласно одной, это собственное свечение атмосферы, согласно другой, – рассеяние солнечного или лунного света слоем аэрозоля. Визуальные наблюдения с космического корабля «Восход» еще раз подтвердили существование такой полосы повышенной яркости.

¹⁰ Там же. С. 24.

¹¹ Results of the First U. S. Manned Orbital Space Flight. February 20, 1962. Manned Spacecraft Center. National Aeronautics and Space Administration.

С корабля «Восход» полоса наблюдалась при наличии лунного освещения, причем Луна находилась недалеко от горизонта. Цвет освещенной Луной полосы – блекло-белый с желто-зеленым оттенком. Верхняя граница полосы была более четкой, чем нижняя, что дало основание утверждать, что свечение или рассеяние происходит в сравнительно тонком слое. Яркость слоя в подлунной точке, по визуальной оценке, была заметно увеличена и сравнима с яркостью освещенных Луной облаков в тропосфере. В обе стороны от подлунной точки яркость заметно убывала в горизонтальном направлении, причем полоса прослеживалась на протяжении 30–35°. В области полутени Земли светлая полоса бледнела и «таяла» в лучах восходящего Солнца. При этом было отмечено, что светящийся слой был отчетливо виден в южном полушарии на фоне полярного сияния¹².

Результаты исследования горизонта Земли с борта космического корабля «Восход-1» позволили сделать следующие выводы:

– фотографирование горизонта планеты с космических кораблей-спутников позволяет получать значительную по объему и разнообразную по составу объективную информацию об атмосфере планеты и ее световом режиме;

– фотографирование следует проводить на черно-белую фотометрически маркированную пленку через маску из интерференционных светофильтров, что необходимо для получения одновременной информации о разных участках спектра, без чего интерпретация данных остается неполноценной. Одновременно это повысит точность привязки профилей к линии истинного горизонта. Кроме того, необходимо увеличить разрешающую способность аппаратуры за счет увеличения фокусного расстояния объектива в три-четыре раза;

– визуальные наблюдения дают дополнительную информацию качественно-количественного характера, однако объем и надежность получаемой при их помощи информации много меньше. Поэтому основное внимание следует уделять объективным измерениям методами фотографирования¹³.

Результаты исследований, выполненных в полете, вызвали большой научный интерес и позволили сделать ряд важных выводов. Так, исследования дневного, сумеречного и ночного горизонтов Земли позволили получить яркостной профиль ореола земной атмосферы в зависимости от условий освещения, направления наблюдения и метеорологических условий в атмосфере планеты. Было отмечено, что плавное изменение яркости и цветов светового ореола с удалением от края планеты нарушается присутствием слабо выраженных полос повышенной яркости. Научным объяснением этого явления стал эффект рассеяния света в сравнительно тонких, но протяженных слоях аэрозоля. Было установлено, что число этих слоев варьирует. В полете были зафиксированы случаи дробления ореола атмосферы с одним, двумя и тремя слоями. При этом оптически плотных образований облачного типа в аэрозольном слое, наблюдаемом в верхних слоях атмосферы во время полета, не имелось.

¹² Научные исследования... С. 27.

¹³ Там же. С. 26.

Визуальное наблюдение и фотографирование терминатора Земли подтвердили монотонность изменения яркости земной поверхности от освещенной к ночной стороне. На основании полученных результатов был сделан вывод о необходимости продолжения исследований горизонта и ореола Земли по расширенной научной программе последующих пилотируемых полетов.

References

- Abramov, G. Etapy razvitiia otechestvennogo fotoapparatostroeniia [Stages in the Development of Camera Manufacturing in the USSR], <http://www.photohistory.ru/1207248170259168.html>.
- Fotograficheskii ob'ektiv "Iupiter-6" dlia fotoapparata "Zenit", opisanie i rukovodstvo k pol'zovaniiu [Photographic Lens "Jupiter-6" for the "Zenith" Camera: Description and User Manual] (1967) Krasnogorsk: KMZ.
- Lishnevskaiia, E. B. (ed.) (1963) *Fotograficheskie i proektsionnye ob'ektivy, razrabotannye v GOI: albom* [Photographic and Projection Lenses Developed at GOI: An Album]. Leningrad: GOI.
- Results of the First U. S. Manned Orbital Space Flight. February 20, 1962. Manned Spacecraft Center. National Aeronautics and Space Administration.