

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ с пилотируемых космических кораблей

А. И. Лазарев
В. В. Ковалёнок
С. В. Авакян

ИСТОРИЯ НАБЛЮДЕНИЙ, АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

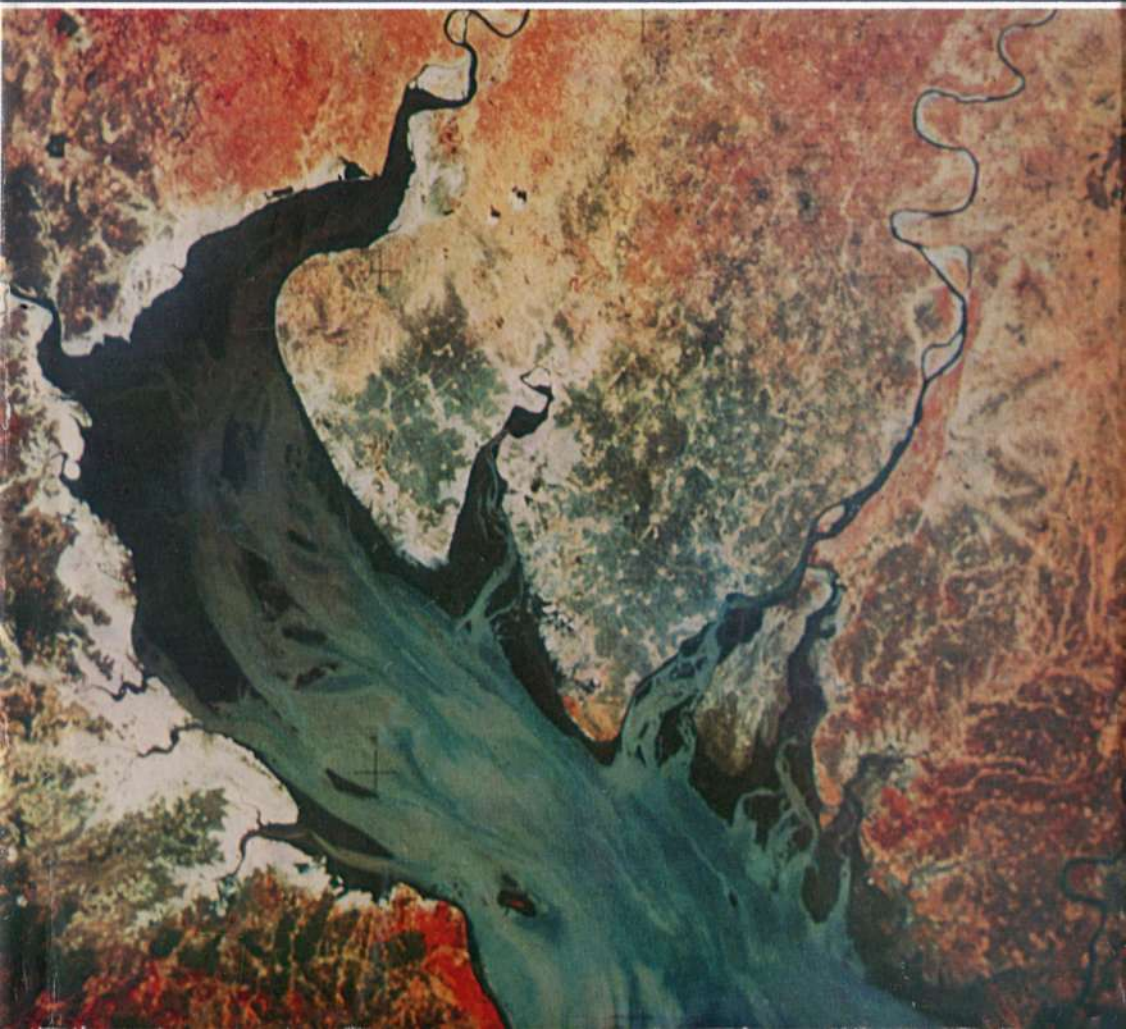


Фото В. Быкова



Лазарев Александр Иванович — доктор технических наук, профессор. С 1961 г. активно работает в области космических исследований. Разработал первые программы оптических исследований с пилотируемых космических кораблей. Принимает участие в подготовке экипажей орбитальных научных станций к проведению визуально-инструментальных наблюдений из космоса. Один из авторов открытия советских ученых и космонавтов в области оптики верхней атмосферы.

Фото А. Кусинского



Коваленок Владимир Васильевич — летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, кандидат военных наук. Совершил три полета в космос, из них два длительных на орбитальной научной станции «Салют-6» — 140-суточный в 1978 г. и 75-суточный в 1981 г. Участник международных экспедиций с первыми космонавтами Польши, ГДР, Монголии и Румынии. Выполнял большой цикл оптических исследований из космоса, обнаружил ряд неизвестных ранее геофизических и атмосферно-оптических явлений, позволивших существенно уточнить представления в аэронамии, геологии, океанологии и метеорологии.

Фото В. Быкова



Авакян Сергей Вазгенович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. С 1971 г. участник советских космических исследований по геофизике и оптике верхней атмосферы. Ему принадлежит введение новых процессов атомных столкновений в физику и аэронамию. Член Научных советов АН СССР по физике электронных и атомных столкновений, аэронамии и физике ионосферы.



Уникальные возможности зрительной системы космонавта с успехом могут быть применены при проведении оптических исследований из космоса. Такой подход позволил обнаружить ряд новых оптических эффектов в атмосфере, океане и на земной поверхности: явление реакции среднеширотной верхней ионосферы на солнечные вспышки после мировых магнитных бурь, устойчивую волнообразную горизонтальную оптическую неоднородность эмиссионного излучения верхней атмосферы в сумеречной и ночной зонах; возможность визуальных наблюдений глубоководного рельефа дна морей и океанов на глубинах десятки и даже сотни метров; открытие неизвестных ранее кольцевых структур в геологическом строении поверхности Земли.

Unique visual abilities of the cosmonauts during the orbital flights were used for carrying out the optical observations from the space. This allowed to discover some new optical effects in the Earth's atmosphere, ocean and lithosphere. This is new phenomena of the reaction of the middle latitude upper ionosphere (*F*-region) on the solar flares after the global magnetic storms. This is a discovery of the wavelike horizontal optical unhomogeneities of airglow of the upper atmosphere in the night and the twilight. This is a discovery by visual observations of the detailed configuration of the ocean bottom. This is a discovery of the new structure of the Earth's lithosphere.

***Тридцатилетию запуска первого
искусственного спутника Земли
посвящаем***

А. И. Лазарев
В. В. Ковалёнок
С. В. Авакян

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ С пилотируемых космических кораблей



Ленинград Гидрометеиздат 1987

Рецензенты: летчик-космонавт СССР В. А. Джанибеков, канд. физ.-мат. наук Ч. И. Виллманн (Институт астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР)

В книге обобщены результаты визуально-инструментальных исследований Земли с советских пилотируемых космических кораблей и орбитальных научных станций «Салют». Представлены известные данные о наблюдении атмосферы, облачного покрова, акватории и земной поверхности. Приведена история оптических наблюдений советских космонавтов, всесторонне рассмотрена природа обнаруженных явлений и дана их геофизическая интерпретация.

Предназначена как для специалистов в области геофизики, физики атмосферы и ионосферы, метеорологии, океанологии, геологии, так и для широкого круга читателей, интересующихся достижениями советской космонавтики в области оптических исследований нашей планеты.

The book «Investigation of Earth from Manned Spacecrafts» by A. I. Lazarev, V. V. Kovalenok, C. V. Avakyan presents the results of visual and instrumental observations of Earth performed by Soviet manned spacecrafts and orbital scientific stations «Salyut». The results of the investigations of atmosphere, clouds, ocean and surface are discussed. The history of the optical observations by Soviet cosmonauts and the nature of discovered phenomena are presented and the geophysical interpretation is given.

The book is meant for specialists in physics of upper atmosphere, space, geophysics, meteorology and atmospheric optics.

На суперобложке: Камбейский залив

ПРЕДИСЛОВИЕ

4 октября 1987 г. исполняется 30 лет со дня запуска первого искусственного спутника Земли. С тех пор на околоземные орбиты выведены тысячи космических аппаратов, многие из которых используются для изучения нашей планеты. Особенно эффективны исследования Земли с пилотируемых космических кораблей. Выход человека в космос открыл широчайшие возможности для изучения атмосферы, облачного покрова, акватории океанов и поверхности Земли. Результаты этих исследований, имеющие большое народнохозяйственное значение, позволили получить много новых данных о физических процессах и явлениях (особенно крупномасштабных), происходящих в атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере Земли. При этом почти каждый полет дополнял и уточнял существующие представления.

В предлагаемой вниманию читателей книге предпринята попытка обобщения и систематизации результатов подобных исследований в основном с советских пилотируемых космических кораблей. В ряде случаев использованы также и данные, полученные с других космических аппаратов. В первой главе книги достаточно подробно описаны основные процессы в атмосфере и ионосфере, происходящие под влиянием солнечно-геомагнитных эффектов, а также обсуждены проблемы прогноза состояния ионосферы с учетом того факта, что здесь проходят орбиты пилотируемых космических кораблей. Эти материалы весьма полезны для общенаучной подготовки космонавтов в предполетный период.

Большое внимание в книге уделено визуальным наблюдениям, которые до сих пор остаются одним из важнейших методов изучения Земли. И дело не только в совершенстве зрительной системы человека, но и в его способности быстро анализировать наблюдаемые явления, выделяя в них наиболее существенные черты. Поэтому во второй главе рассмотрены некоторые проблемы, связанные с особенностями зрительного восприятия в условиях космического полета, и показано влия-

ние земной атмосферы и иллюминаторов космических кораблей на результаты визуально-инструментальных исследований Земли.

В третьей главе изложена история оптических исследований с советских пилотируемых космических кораблей. Уже Юрий Алексеевич Гагарин отметил исключительное богатство красок дневного и сумеречного горизонта Земли. Не случайно его первыми словами при взгляде на космическую зарю были: «Красота-то какая!». Вместе с тем полет Ю. А. Гагарина позволил дать качественную оценку влияния условий полета на основные функции зрительной системы человека. Оказалось, что в космосе они не претерпевают заметных изменений. Этот вывод был подтвержден в последующих полетах советских космонавтов.

В программы полетов космических кораблей «Восток», «Восход» и «Союз» включались целенаправленные визуально-инструментальные исследования атмосферы, облачного покрова, акватории океанов и поверхности Земли.

С космических кораблей «Союз» проводились визуальные наблюдения, фотографирование и спектрометрирование многих атмосферно-оптических явлений: эмиссионного излучения ночного и сумеречного участков земной атмосферы, полярных сияний, серебристых облаков, циклонов, тайфунов, пылевых облаков, грозových явлений и др. Часть результатов была получена впервые. Так, Г. Т. Береговой с «Союза-3», А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов с «Союза-9» впервые наблюдали характерную структуру в эмиссионном свечении верхней атмосферы. Эти наблюдения послужили основой для открытия советскими учеными и космонавтами явления горизонтальной неоднородности (вертикально-лучевой структуры) эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли.

Особенно широкий размах оптические исследования Земли получили во время продолжительных полетов на орбитальных научных станциях «Салют». Большой комплекс атмосферно-оптических исследований был начат второй основной экспедицией на станции «Салют-4» по программе, разработанной одним из авторов этой книги — проф. А. И. Лазаревым. Эти работы были развиты при полетах на орбитальной станции «Салют-6». Неожиданные результаты были получены экипажем второй основной экспедиции на «Салюте-6» В. В. Коваленком и А. С. Иванченковым, которые впервые наблюдали

свечение ночной верхней ионосферы в планетарном масштабе. Эти наблюдения продолжил экипаж пятой основной экспедиции. Космонавтам удалось не только зарегистрировать планетарное свечение, но и детально описать волновую структуру свечения верхней атмосферы ночью в районе Бразильской отрицательной магнитной аномалии. Все эти результаты визуальных исследований анализируются с учетом данных патрульных приборных измерений ионосферных обсерваторий и станции свечения ночного неба в четвертой главе книги. Она начинается с детального описания известного явления свечения около поверхности космических аппаратов. Приводятся сведения о механизмах всех описываемых эффектов, дается их геофизическая интерпретация. Волновая структура свечения верхней атмосферы связывается с прохождением акустико-гравитационных волн, а планетарное усиление излучения верхней ионосферы — с ее реакцией на солнечные вспышки.

Особенности наблюдения и регистрации из космоса облачных образований подробно рассмотрены в пятой главе, посвященной исследованию облаков. В ней также обобщены и систематизированы результаты космических исследований циклонов и тайфунов, позволившие высказать некоторые предположения о взаимодействии облачных образований с мощными океаническими течениями и энергоактивными зонами. Представлена картина видимого из космоса дневного горизонта Земли, на котором четко выделяются стратосферные аэрозольные слои. Предпринята попытка объяснения наблюдаемого из космоса явления кажущегося увеличения, а также провалов в атмосфере резким изменением передаточной функции атмосферы вследствие изменения концентрации атмосферного аэрозоля над некоторыми регионами планеты. Большой раздел посвящен исследованию серебристых облаков из космоса, особенно их климатологии. Здесь использованы результаты, полученные В. В. Коваленком при полетах в 1978 и 1981 гг.

Большой интерес представляет последняя глава книги, где излагаются результаты оптических исследований из космоса акватории океанов и поверхности Земли. Рассмотрены данные по элементам геологической структуры, ледникам в горных районах, а также айсбергам и ледяным полям в акватории Мирового океана. Подробно описаны результаты наблюдений за океаническими течениями и полями планктона. Определена

ПРЕДИСЛОВИЕ

роль визуальной регистрации различной информации по объектам на поверхности Земли и океанов.

Оптические исследования Земли, проводимые космонавтами, являются важнейшей частью широкой программы изучения природной среды из космоса. Они позволяют уточнить имеющиеся представления и получить новые данные, важные для науки и практики, для решения народнохозяйственных задач.

АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1.1. Структура земной атмосферы и ионосферы

Параметры атмосферы Земли наиболее сильно меняются в вертикальном направлении. Все другие типы вариаций как в нижней части атмосферы, так и в верхней — широтные, сезонные, суточные, локальные — существенно слабее, хотя при детальном анализе многих явлений обычно учитываются и они.

Быстрее всего с высотой изменяется плотность атмосферных газов, наиболее немонотонно — температура, наиболее сложным образом — состав, т. е. концентрация как основных компонентов, так и второстепенных, или, как их обычно называют, малых составляющих. Именно последние определяют такие наиболее важные характеристики верхней атмосферы, как оптические свойства и распределение ионизации.

Плотность в атмосфере (рис. 1.1), как и давление, вплоть до высоты 1000 км меняется по барометрическому закону

$$n = n_0 \cdot \exp \{ -H/H_0 \},$$

где n_0 — плотность у земной поверхности, H — высота, отсчитываемая от уровня моря. Параметр H_0 называется высотой однородной атмосферы и характеризует то состояние по вертикали, на котором плотность атмосферы уменьшается в e раз. Величина H_0 прямо пропорциональна температуре газа и обратно пропорциональна его относительной молекулярной массе. Поэтому значение H_0 на всех высотах разное (рис. 1.2), а выше примерно 110 км заметно отличается для каждой из атмосферных составляющих. Эта высота соответствует особой области атмосферы, называемой турбопаузой (иногда гомопаузой), поскольку она разделяет земную атмосферу на две части (рис. 1.3). В нижней (начиная с уровня моря) состав газов практически постоянный вследствие интенсивного турбулентного (вихревого) перемешивания, эта часть атмосферы называется турбосферой или гомосферой. Здесь основными компонентами являются азот N_2 (78,09%), кислород O_2 (20,95%),

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

аргон Ar (0,95%) и углекислый газ CO_2 (0,033%). Выше турбопаузы, в гетеросфере, начинают доминировать процессы диффузии, вследствие чего плотность каждой из составляющих уменьшается со своей величиной H_0 , тем большей, чем меньше относительная молекулярная масса газа. Поэтому уже выше уровня примерно 180 км (см. рис. 1.1) доминирование молекул кончается и атмосфера состоит в основном из атомарных газов.

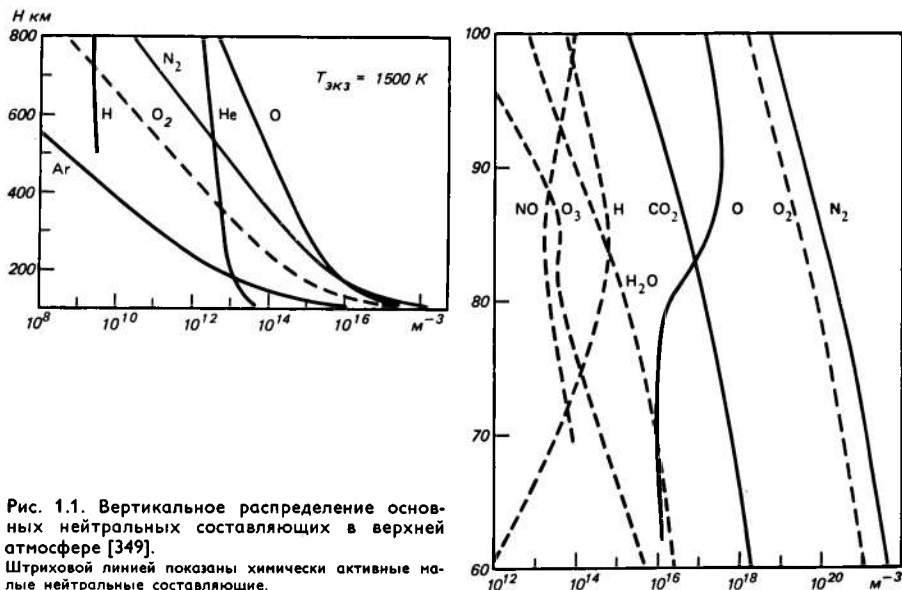


Рис. 1.1. Вертикальное распределение основных нейтральных составляющих в верхней атмосфере [349]. Штриховой линией показаны химически активные малые нейтральные составляющие.

Еще выше, начиная с уровня 450 км, атмосферный газ уже настолько разрежен, что его легкие атомы способны совсем улететь в космос. Эта область называется экзосферой.

Как отмечалось, убывание плотности с высотой контролируется и температурой газа атмосферы. Температурный профиль — зависимость $T(H)$ — важный атмосферный параметр. Имеющаяся сильная немонотонность в зависимости $T(H)$ является следствием особенностей в поглощении энергии солнечного излучения различными примесями (в тропосфере — CO_2 и H_2O , в стратосфере — O_3 , а в термосфере — уже и основными компонентами). Это приводит к разделению атмо-

1.1. Структура земной атмосферы и ионосферы

сферы на ряд слоев (сфер). В результате ниже примерно 90 км возникают две нагретые области — тропосфера и стратосфера (см. рис. 1.3). Выше 90 км наряду с резким ростом температуры наблюдаются весьма существенные изменения состава. За счет фотодиссоциации ультрафиолетовым излучением Солнца образуется большое количество атомов кислорода O , а за счет фотоионизации — атомные и молекулярные ионы и свободные электроны.

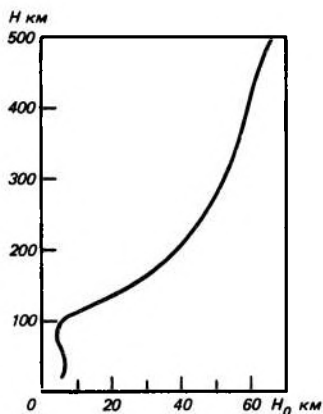


Рис. 1.2. Высотное изменение параметра однородной атмосферы H_0 .

В последние годы определилось также разделение всей толщи земной атмосферы на три части: нижнюю (до высоты 15–20 км), среднюю (20–120 км) и верхнюю (выше 120 км) атмосферу. При этом исходят не столько из разнородности физических свойств этих атмосферных слоев, сколько из особенностей их исследования. Так, нижняя атмосфера, содержащая до 90 % всего атмосферного газа, легко исследуется с реактивных самолетов, верхняя — со спутников. Наименее исследованной до последнего времени оказалась средняя атмосфера.

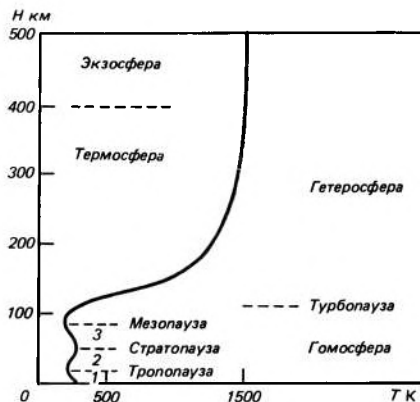
В настоящее время международные научные организации проводят большую «Программу исследования средней атмосферы». Ведь высоты 20–120 км включают такие жизненно важные области, как стратосферу (озоносферу) и мезосферу. Интерес к средней атмосфере особенно значительно возрос в эпоху космических исследований, так как именно здесь пролегла активный участок траектории полета ракет — носителей

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

искусственных спутников — и космических аппаратов, а также сложный участок спуска с орбиты.

Во всей толще атмосферы Земли происходят интенсивные динамические процессы. Это ветры, волны и дрейфы. Ветровые движения нейтрального газа в основном связаны с тепловыми эффектами. Ветры оказывают существенное влияние на перераспределение воздушных масс, в том числе заряженного компонента ионосферы. Средняя горизонтальная ско-

Рис. 1.3. Строение земной атмосферы.
1 — тропосфера, 2 — стратосфера, 3 — мезосфера.



рость ветра в ионосфере составляет 100–200 м/с, направление зависит от высоты, времени суток и сезона года.

Земная атмосфера представляет собой сложную колебательную систему, способную участвовать в нескольких типах волновых движений под действием различных упругих сил. Эти колебания, как и ветры, охватывают всю атмосферу и особенно заметны в верхней атмосфере, так как здесь, согласно закону сохранения энергии волны, реализуются наибольшие амплитуды.

Согласно [350], атмосферные волны обычно классифицируются по трем типам: продольные, поперечные вертикальные и поперечные горизонтальные. В продольных волнах частицы воздуха колеблются вдоль направления распространения волны, в вертикально-поперечных волнах частицы осциллируют вверх-вниз, в то время как волна распространяется горизонтально, а в горизонтально-поперечных частицы движутся вдоль линии север — юг, в то время как волна распро-

страняется на восток или запад. Горизонтально-поперечные волны, называемые планетарными, имеют очень большую длину и период до нескольких суток. Сравнимые характеристики имеют и приливные волны.

Существование продольных и вертикально-поперечных волн обусловлено наличием двух различных факторов, определяющих упругость атмосферы. Это сжимаемость воздуха, вызывающая продольные акустические волны, и плотностное расслоение по вертикали, образующее вертикально-поперечные гравитационные волны. В первом случае на частицу воздуха, отклонившуюся от исходного положения, действуют силы обычной упругости, во втором — на частицу, сместившуюся вверх или вниз, действует сила плавучести, стремящаяся при устойчивом расслоении вернуть ее в исходное положение.

Частотные интервалы существования акустических и гравитационных волн различны. Достаточно низкочастотные акустические колебания в случае, когда на частицу воздуха одновременно эффективно воздействуют и силы сжимаемости, и силы плавучести, названы акустико-гравитационными волнами (АГВ). Этот же термин употребляется обычно и в более широком смысле, когда при объяснении временных и пространственных волнообразных вариаций различных ионосферных и верхнеатмосферных параметров им обозначают всю совокупность волновых движений в атмосфере, приводящих к плотностным пространственным изменениям.

Основные данные о верхнеатмосферных волновых неоднородностях получены в результате наземных радиофизических исследований ионосферы. Вследствие наличия особенностей температурной стратификации атмосферы по высоте возникают области, которые аналогичны границам волноводов и в которых преимущественно распространяются волны вдоль земной поверхности. Ранее для объяснения присутствия волновых возмущений плотности в верхней атмосфере привлекались эффекты просачивания некоторой доли энергии волны через верхнюю стенку волноводов. В [31] предложен новый подход к объяснению механизма появления волновых движений в верхней части атмосферы. При определенных условиях верхняя стенка способна, по-видимому, испытывать колебания при прохождении внутри волновода захваченных волн. Эти колебания через «поршневой эффект» могут вызывать волно-

образные возмущения в верхней атмосфере. Такой механизм позволяет понять, как образуется наблюдаемое экспериментальное преимущественно горизонтальное волновое движение в верхней атмосфере при наличии источников генерации АГВ в основном в нижней атмосфере.

Действительно, основные источники волн связаны с процессами в тропосфере, стратосфере и мезосфере [31]. Среди них такие метеорологические явления, как струйные течения, ветры больших скоростей, циклоны, торнадо, фронты, молнии и грозовые явления, глобальная циркуляция атмосферы на уровнях стратосферы, а также вход в мезосферу метеоров. Искусственными источниками генерации являются запуски ракет, ядерные взрывы, нагревание ионосферы мощными радиопередатчиками.

В естественных условиях колебания аналогичного типа возникают за счет нагревания нижней части термосферы авроральными источниками корпускул, выпадениями частиц в среднеширотную атмосферу при магнитосферных возмущениях и в районе отрицательных магнитных аномалий.

Однако все перечисленные источники локальны в пространстве и во времени, а волновые возмущения в верхней атмосфере регистрируются почти постоянно. Обнаружены сезонная зависимость их характеристик, а также возрастание амплитуды волны в сумеречной зоне. Эти обстоятельства уже давно привели к возникновению гипотез о генерации АГВ в верхней атмосфере движущимся солнечным терминатором¹. Первая из этих гипотез предложена Уикершамом [368, 369]. Его расчеты подтверждаются экспериментальными данными. Впоследствии теория терминаторной генерации АГВ получила дальнейшее развитие. При этом учитывалось, что особый интерес представляют те высоты и географические широты, где терминатор движется относительно атмосферы со сверхзвуковой скоростью. Этот случай был рассмотрен Биром [218] и Даттой [235]. Такая теория возникла по аналогии с обнаруженной рядом исследователей генерацией АГВ во время солнечного затмения, когда «холодное пятно от лунной тени» движется в земной атмосфере со сверхзвуковой скоростью и действует как непрерывный источник АГВ.

¹ Солнечный терминатор — линия раздела освещенной и неосвещенной Солнцем частей поверхности космического тела (например, планеты).

Непосредственные манометрические измерения на спутнике «Эксплорер-32» волновых вариаций нейтральной плотности подтвердили, что во всем диапазоне высот пролета (286 – 510 км) наиболее часто волны появляются в поздние вечерние и ранние утренние часы, т. е. в околотерминаторной зоне, и имеют значительные амплитуды (10–20%, а иногда и 50%). Длина волн составляет 130–520 км (как правило, наблюдается несколько частот одновременно), а направление ее распро-

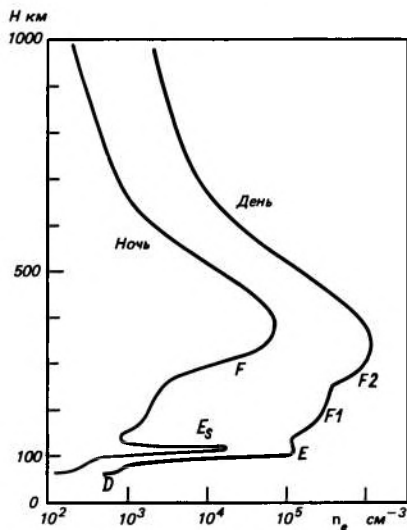


Рис. 1.4. Типичное вертикальное распределение электронной концентрации в ионосфере для дневных и ночных условий [50]. Буквами отмечено положение различных областей ионосферы.

странения летом преимущественно меридиональное. Аналогичные результаты получены и для волн в плотности заряженного (ионосферного) компонента [136].

Рассмотрим теперь строение земной ионосферы. Обычно под ионосферой понимают верхнеатмосферные слои, простирающиеся от 50 до 1000 км, иногда и более. Заряженные частицы присутствуют практически во всей толще атмосферы, однако именно в ионосфере эффективно отражаются и поглощаются радиоволны при взаимодействии со свободными электронами. Поскольку ионосферная среда в среднем нейтральна, количество электронов и положительных ионов (молекулярных плюс атомарных) одинаково.

Ионосферу можно разделить на три основные области: область *D* (50–90 км), область *E* (90–150 км), область *F* (150–500 км) (рис. 1.4). Выше начинается внешняя ионосфера, постепенно переходящая в плазмосферу.

Слоистость ионосферы обусловлена резким изменением по высоте условий её образования. На заре ионосферных исследований основным источником ионизации считались корпу-

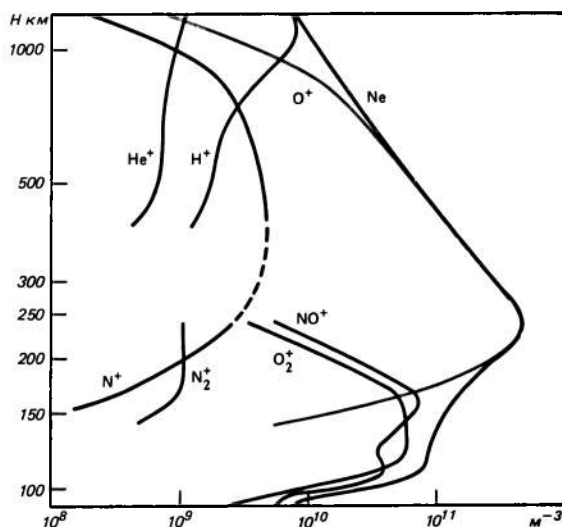


Рис. 1.5. Вертикальное распределение плотности положительных ионов и электронов выше уровня 90 км для условий минимума солнечной активности по экспериментальным данным (день) [272].

скулы, поскольку предполагалось, что свободные электроны исчезают настолько быстро (в процессах нейтрализации с положительными ионами), что иначе ионосфера не могла бы существовать в течение всей ночи. Но впоследствии при развитии радиофизических исследований, в том числе в периоды солнечных затмений, стало понятным, что главной причиной образования земной ионосферы является фотоионизация солнечным коротковолновым ультрафиолетовым и рентгеновским излучением. Это вполне точно лишь при спокойных в геомагнитном отношении условиях и для среднеширотной ионосферы. В полярных областях, а во время магнитосферных возмущений и в низких широтах корпускулярная ионизация становится доминирующей. При этом речь идет об электронах и протонах с энергией от нескольких сотен электронвольт

(эВ) до нескольких сотен килоэлектронвольт. Внизу D -области ионизация создается космическими лучами [45].

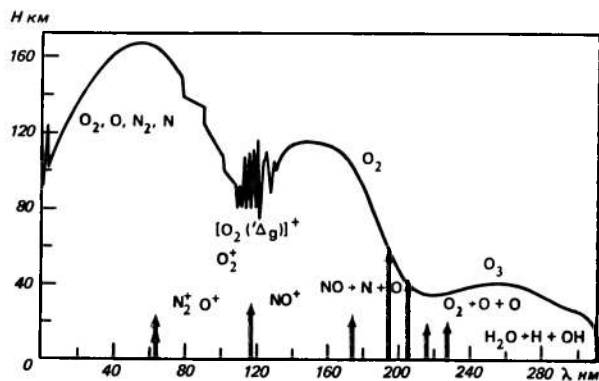
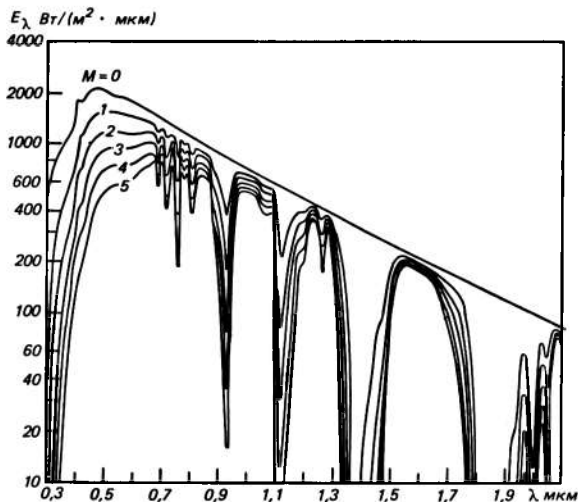
В процессе более чем 60-летних исследований наземными радиометодами (ионозондами) было установлено, что электронная плотность и температура резко растут до области F , причем плотность электронов N_e имеет несколько максимумов, соответствующих ионосферным областям, или слоям: D , E и F . Последняя днем разделяется на две: нижнюю $F1$ и верхнюю $F2$. После появления ИСЗ стало возможным исследовать ионосферу сверху с помощью ионозонда, установленного на самом спутнике. Во внешней ионосфере (выше главного максимума ионизации в земной ионосфере — $F2$ -области) величина N_e постепенно уменьшается с высотой, а температура стабилизируется.

Ионный состав в ионосферных областях сильно различается вследствие вариаций нейтрального состава и сложных механизмов ионообразования. Так, днем на высотах 85—200 км преобладают положительные молекулярные ионы, а выше 600—1000 км — протоны (рис. 1.5). В нижней части области D существенно образование сложных ионов-связок (кластеров) и отрицательных ионов [46]. Это средние профили для дневной спокойной среднеширотной ионосферы. К ночи степень ионизации падает, а во время солнечных вспышек наоборот — сильно и довольно быстро возрастает. Особенно большое ионообразование наблюдается в зоне полярных сияний.

Одновременно с ионообразованием как под действием солнечного излучения, так и при ударе корпускулами происходит образование различных возбужденных атомов, молекул и их ионов. Это возбуждение приводит к высвечиванию характерных линий и полос в различных областях спектра от рентгеновских линий до ультрафиолетовой, видимой и всей инфракрасной области (до нескольких десятков микрометров). Большая часть этого излучения связана с процессами хемилюминесценции с участием всех атмосферных составляющих. Поэтому собственное свечение верхней атмосферы является индикатором состояния всей ионосферной плазмы. Изучение определенных линий и полос позволяет получить данные о распределении, степени разогрева и движениях конкретных компонентов атмосферы и о элементарных процессах с их участием.

1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц

Степень оптического возбуждения, ионизации и нагрева различных слоев земной атмосферы в значительной мере зависит не только от интенсивности вторгающихся солнечных или магнитосферных потоков излучения и заряженных частиц, но и от глубины их проникновения. Эта глубина определяется



1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц

двумя основными параметрами: спектральным составом потока и углом входа. Однако существует принципиальное отличие между проникновением излучения и проникновением заряженных частиц (электронов и протонов) в глубь атмосферы. Оно связано с различной ролью угла входа частицы. Действительно при падении излучения на внешнюю границу атмосферы таким углом является зенитный угол. В случае вторжения («высыпания») в атмосферу потоков заряженных частиц

Φ квант/(см² · с · нм)

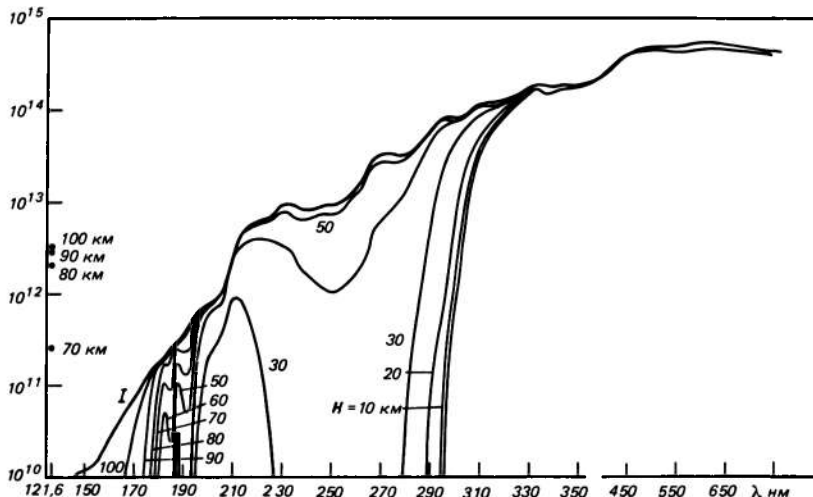


Рис. 1.8. Спектральная интенсивность потока Φ коротковолнового и видимого излучения Солнца в атмосфере на различной высоте и вне атмосферы (I) [357].

Шкала длин волн не меняется при длине волны 355 нм. Точками указаны значения Φ в линии $L_{\alpha}H$ (квант/(см² · с)).

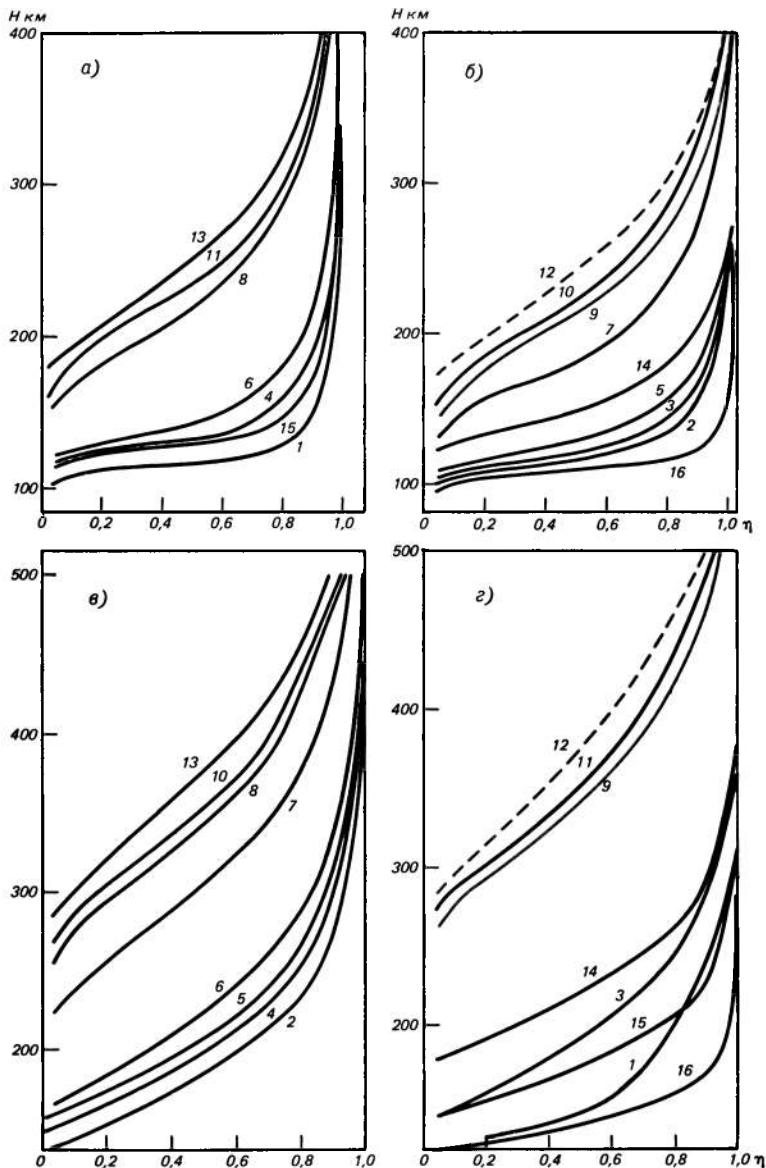
их прохождение вглубь определяется начальным значением питч-угла, т. е. угла между вектором скорости частицы и силовой линией геомагнитного поля.

Конечно, процесс проникновения потоков энергии контролируется и собственными параметрами атмосферы, прежде всего плотностью, составом и температурой. Вот почему приводимые ниже обзорные сведения о степени проникновения в атмосферу Земли квантов в широком диапазоне длин волн, электронов и протонов должны рассматриваться лишь как характерный пример результатов конкретного расчета для опре-

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Рис. 1.9. Проникновение солнечного излучения в атмосферу в различных участках спектра при зенитном угле Солнца 0° (а, б) и 90° (в, г).

Кривая	1	2	3	4	5	6	7
λ нм	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	17,6-20,5
Кривая	8	9	10	11	12	13	14
λ нм	28,4	30,38	38,6	37-46	58,45	63	95
							15
							16
							97,7
							102,57



деленной модели распределения атмосферных параметров. Вместе с тем собранные данные позволяют определять как меру дошедшей до данной высоты в атмосфере спектральной энергии, так и ту глубину или тот диапазон высот, где проникающий поток создает наибольшее поступление энергии.

В этом случае представлено распределение высот на глубине единичной оптической толщиной (с ослаблением исходного потока энергии или числа квантов в e раз).

Ослабление видимого и ближнего ИК излучения во всей атмосфере при различных зенитных углах от 0 до 79° показано на рис. 1.6. Для ультрафиолетового диапазона на рис. 1.7 представлены высоты проникновения в надир с уменьшением интенсивности в e раз [349], а на рис. 1.8 показана степень ослабления солнечного спектра от 120,0 до 750 нм при прохождении в надир до высот ниже 100 км через каждые 10 км [357]. При исследованиях сумеречных эффектов или при визировании из космоса сквозь двойную толщину атмосферы полезно знать высоту атмосферного экранирования H_z , т. е. высоту перигейной точки линии визирования (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Высота атмосферного экранирования H_z для ряда эмиссионных линий и полос [266]

Излучатель	λ , нм	H_z , км
Na	589,3	30,6
Li	670,8	17,3
K	769,9	15,7
Ca ⁺	396,8	27,7
N ⁺ ₂	391,4	28,1
O ₂	1268,3	40
	761,9	75
	130 – 175	200

Ионизирующий поток жесткого ультрафиолетового и рентгеновского излучения ослабляется в более широком диапазоне

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

высот, начиная примерно с 400 км. Здесь особенно заметна зависимость проникновения излучения от зенитного угла и собственных текущих параметров верхней атмосферы.

Результаты расчетов [9] по всем основным участкам спектра для зенитных углов 0 и 90° представлены на рис. 1.9. Сравнение высотных профилей атмосферного пропускания отдельных участков спектра, в том числе линий 97,7 и 102,6 нм, для двух значений температур экзосферы приведено на рис. 1.10.

Таблица 1.2

Высота (км) проникновения излучения гелиевых линий в атмосферу (с ослаблением в e раз) [279]

Зенитный угол, ...°	λ нм	
	30,4	58,4
31	160	170
40	170	185
63,7	234	250
72	247	260
75,3	250	262

Для гелиевых линий с λ 30,4 и 58,4 нм глубина проникновения с ослаблением в e раз при ненулевых зенитных углах приведена в табл. 1.2. В области мягкого рентгеновского излучения от 3,4 до 1,4 нм высотные профили пропускания при

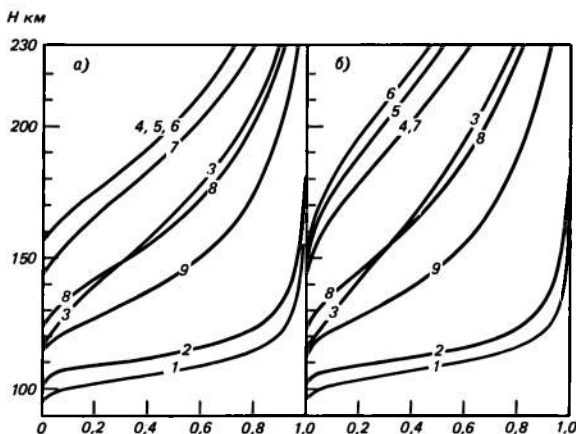


Рис. 1.10. Проникновение солнечного излучения в интервалах длин волн 102,6—8,0 нм при зенитном угле Солнца 60° при температуре экзосферы 1000 К (а) и 1500 К (б) [215].

1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц

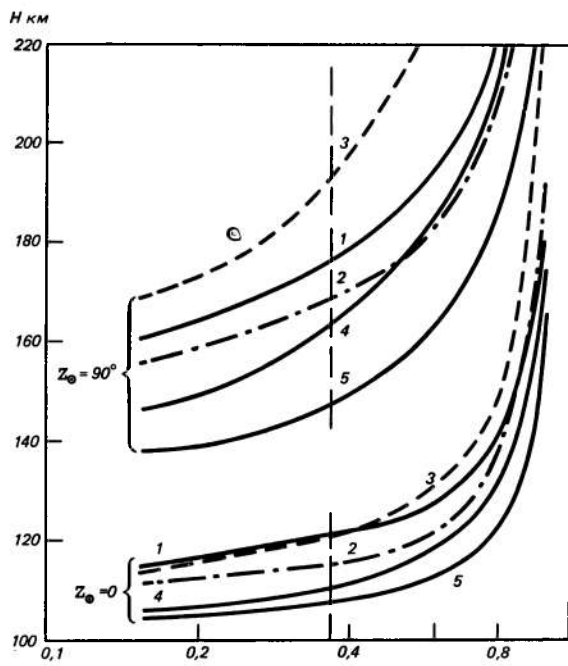


Рис. 1.11. Проникновение рентгеновского излучения в атмосферу при зенитном угле 0 и 90° [9]

Кривая	1	2	3	4	5
λ , нм	3,1–2,6	2,6–2,3	2,3–1,75	1,75–1,45	3,4

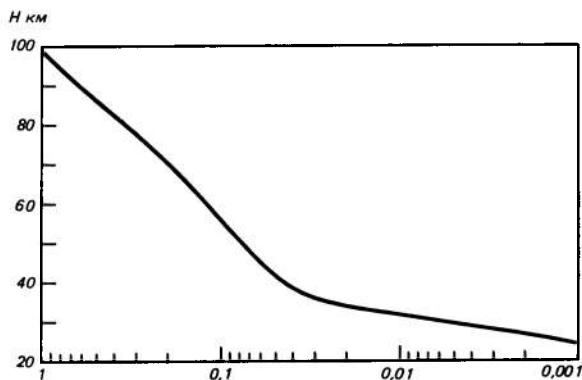


Рис. 1.12. Проникновение жесткого рентгеновского излучения в атмосферу при нормальном падении с ослаблением в e раз [215].

Кривая	1	2	3	4	5
λ , нм	102,6	97,7	91–79,6	79,6–73,2	73,2–66,5
Кривая	6	7	8	9	
λ , нм	66,5–37,5	37,5–27,5	27,5–15,0	15–8	

зенитных углах 0 и 90° даны на рис. 1.11. Высоты ослабления в e раз жесткого рентгеновского излучения с $\lambda = 0,001 \div 1,0$ нм (в надир) в средней атмосфере можно определить из рис. 1.12.

Перейдем теперь к результатам расчетов проникновения в земную атмосферу заряженных частиц — электронов и протонов. Здесь имеются две закономерности. Во-первых, электроны обладают значительно большей проникающей способ-

Рис. 1.13. Глубина максимального проникновения электронов и протонов в атмосферу при $\alpha = 0^\circ$ [109].

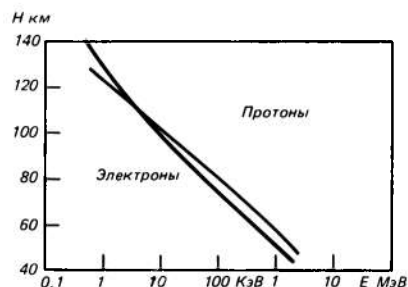
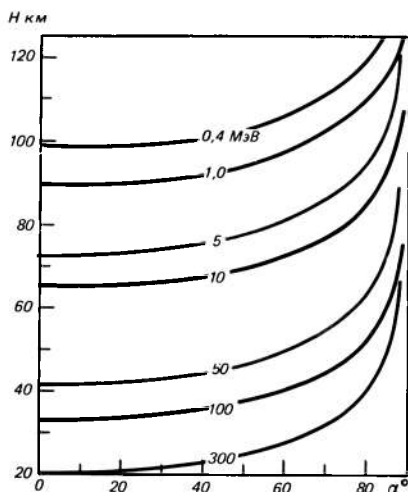


Рис. 1.14. Прохождение в атмосферу протонов при различных значениях энергии (МэВ) и пич-углов α [109].



ностью по сравнению с протонами той же энергии, во-вторых, на прохождение частицы вниз накладывается ограничение пич-углом α , так что при одинаковой энергии частица с нулевым пич-углом проникнет наиболее глубоко (рис. 1.13).

1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц

На рис. 1.14 показана глубина проникновения протонов как функция питч-угла. Ослабление потока энергичных электронов с высотой для ряда питч-углов видно на рис. 1.15. Следует подчеркнуть, что в реальных условиях в верхнюю атмосферу высыпаются не монокинетические частицы, а потоки с характерными спектрами. При этом возникает задача правильного пере-

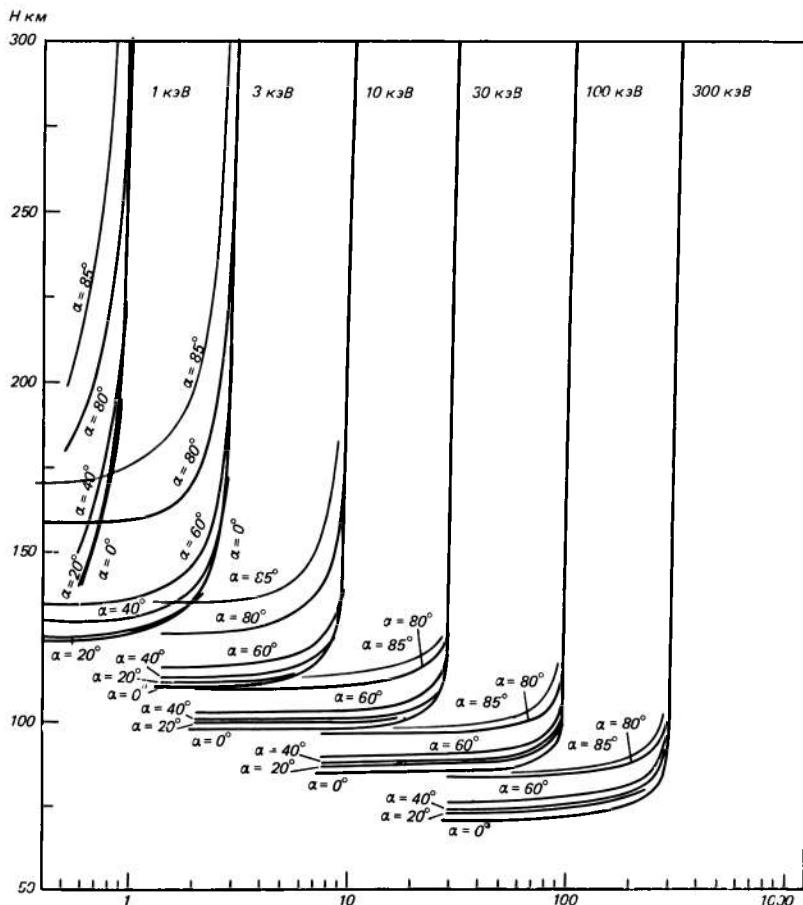


Рис. 1.15. Прохождение в атмосферу электронов при различных исходных значениях энергии и питч-углов α [325].

счета спектра ослабленного потока с учетом образующихся при ударной ионизации вторичных электронов различной энергии. Модели расчета деградированного спектра электронов, выпадающих в атмосферу Земли, разрабатывались разными авторами [200, 214, 328]. В [4] была предложена модель учета в таких случаях электронов Оже. Дело в том, что в последние годы появились новые данные ракетных и спутниковых измерений. Эти измерения с достаточно высоким энергетическим и угловым разрешением обнаружили в электронных спектрах в зоне полярных сияний особенности двух типов, присущие электронам в диапазоне энергии в несколько сотен эВ. Во-первых, было замечено, что поток таких электронов, идущий вверх (из атмосферы), часто сравнивается с потоком вниз [211, 326]. Необычно большие потоки этих электронов вверх зарегистрированы и при выпаданиях протонов [293]. В то же время известно, что при ионизации корпускулами разных энергий угловое распределение вторичных электронов имеет постоянный максимум в передней полусфере [315, 330]. Питч-угол первичного электрона в акте неупругого взаимодействия с атмосферным газом изменяется незначительно. Упругое рассеяние назад электронов различных энергий также имеет малую вероятность [214]. Поэтому для интерпретации факта регистрации больших потоков электронов с энергией в несколько сотен эВ обычно привлекаются продольные электрические поля, однако при этом возникают трудности объяснения измеряемого изотропного питч-углового распределения таких электронов [212, 274]. Во-вторых, в случае использования на ракетах и спутниках электронных спектрометров со сравнительно высоким энергетическим разрешением (около 10% и менее) зарегистрированы (рис. 1.16, 1.17) явные ступенькообразные пики вблизи энергии ниже примерно 500 эВ [228, 311, 360].

Теоретическое рассмотрение диссипации спектра выпадающих в атмосферу электронов проводилось неоднократно, однако указанные выше особенности для электронов с энергией в несколько сотен эВ остались необъясненными. Вместе с тем правильное представление о потоках этих электронов в верхней атмосфере является важным фактором повышения точности расчетов скоростей возбуждения, ионизации и разогрева ионосферных компонентов.

В [4] был проведен учет эффекта Оже при выпаданиях

1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц

в авроральной ионосфере, что позволило объяснить спектральные и угловые особенности в спектре электронов при энергиях 300—500 эВ и подтвердить, что верхняя атмосфера в периоды электронных и протонных высыпаний действительно должна быть источником электронов (электронов Оже). Эта идея была впервые высказана в [5].

$\text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{КэВ}^{-1}$

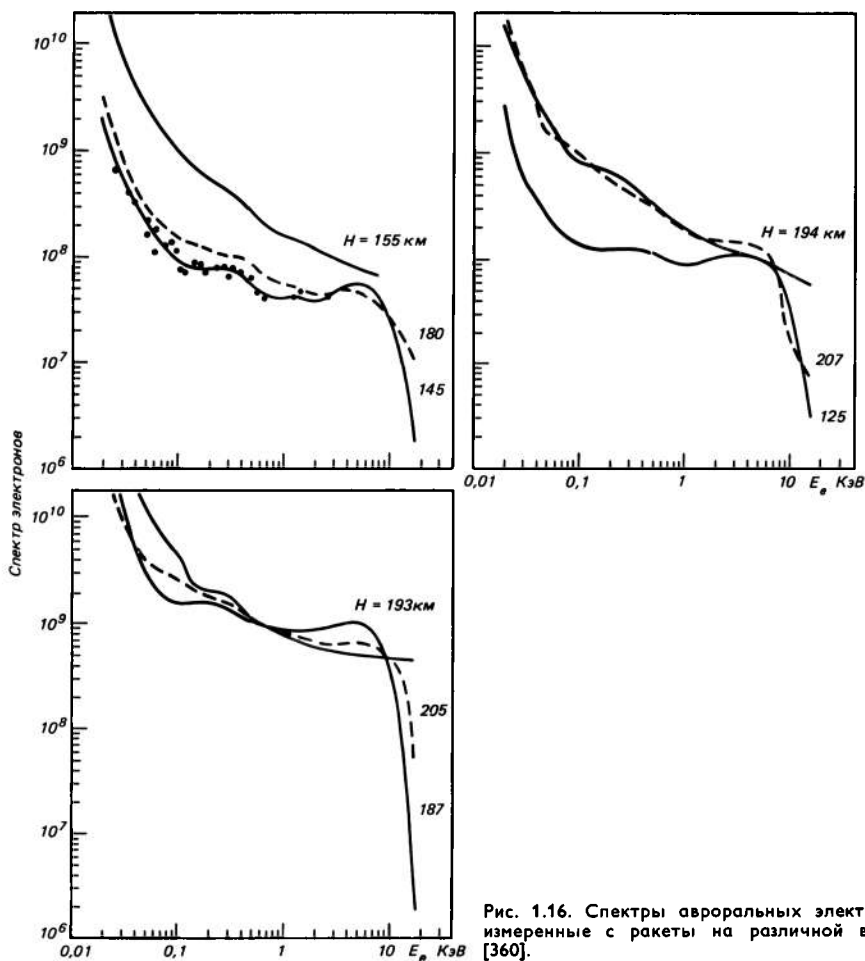


Рис. 1.16. Спектры авроральных электронов, измеренные с ракеты на различной высоте [360].

Спектры Оже-электронов рассчитывались с использованием данных двух моделей спектров вторгающихся электронов на высоте 120–260 км [200, 214]. Угловое распределение Оже-электронов во всех случаях близко к изотропному просто из-за самой физики Оже-переходов в атомах и молекулах. Потоки электронов Оже рассчитывались в локальном приближении (без переноса), что справедливо для высот ниже 200–250

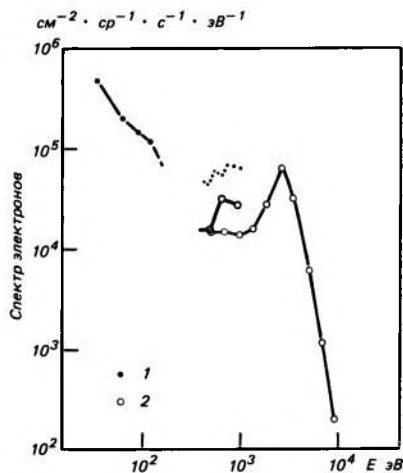


Рис. 1.17. Спектры авроральных электронов по измерениям на спутнике АЕ-С приpitch-углах, равных 9° (1) и 40° (2), на высоте 276 км [311].

км, но несколько условно для уровня 260 км (рис. 1.18). Ступенька на энергиях 367–509 эВ соответствует Оже-электронам из атома и молекулы кислорода, а ниже 367 эВ к ним добавляются Оже-электроны из азота.

Из рис. 1.18 следует, что с учетом эффекта Оже спектры диссипированных электронов сильно видоизменяются: появляются особенности в виде ступенек при энергиях ниже 509 и 367 эВ, интенсивность полного спектра возрастает на всех высотах, во всем диапазоне энергий 100–500 эВ, особенно в случае, показанном на рис. 1.18 б, где значительное возрастание будет наблюдаться и при меньших энергиях. Эта особенность связана в основном с выбором в [200] исходного спектра высыпающих в атмосферу электронов (рис. 1.19), отличного от [214] (рис. 1.20), в сторону больших интенсивностей прежде всего в области энергий электронов 1–4 кэВ, где расположен

максимум сечений ионизации K -оболочек для азота и кислорода, необходимой для осуществления Оже-процессов.

Из сравнения данных [200] об интенсивности спектра чисто вторичных электронов с энергией потока Оже-электронов можно получить, что энергия потока Оже-электронов на высоте 120 км равна энергии потока всех истинно вторичных электронов с энергией 1–500 эВ, а на высоте 260 км поток Оже-

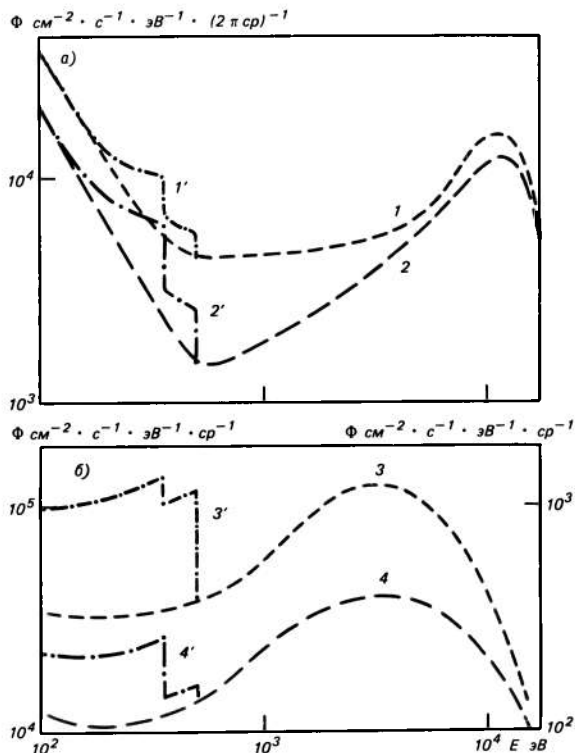


Рис. 1.18. Спектры авроральных электронов с учетом вклада Оже-электронов (1'–4') и без Оже-электронов (1–4), рассчитанные в [4] для моделей [326] (а) и [200] (б)

Кривая . . . 1, 1' 2, 2' 3, 3' 4, 4'
 Н км . . . 148 117 260 120

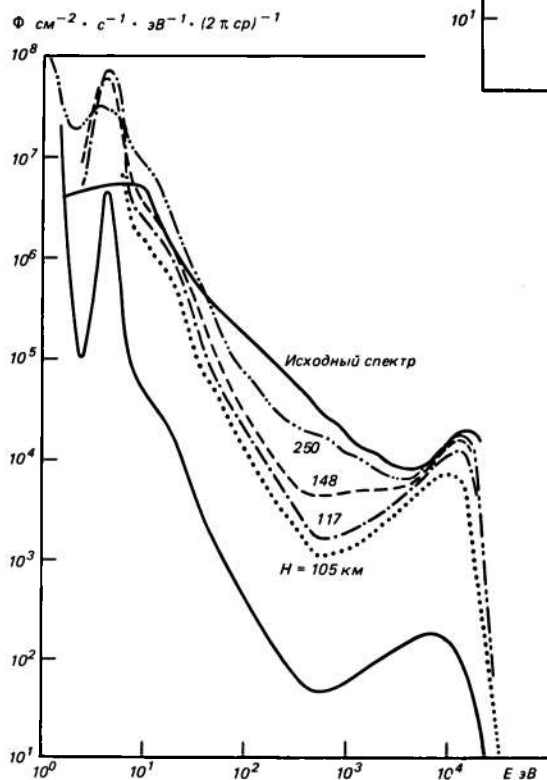
электронов несет втрое большую энергию, чем все истинно вторичные электроны. С учетом диссипированных первичных электронов с энергиями 1–500 эВ роль Оже-электронов в энергетике снижается, но при этом она составляет еще около 30% на рассматриваемых высотах.

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

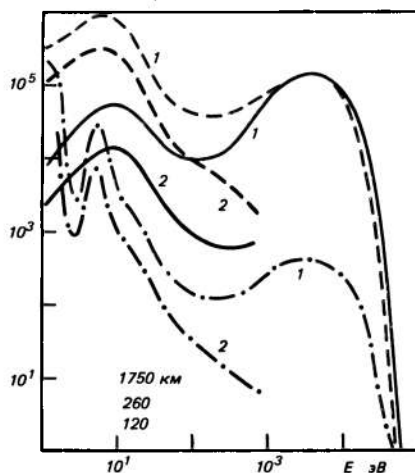
Рис. 1.19. Энергетическое распределение электронов Φ по расчету [200] на различных высотах.

1 — полный спектр, 2 — чисто вторичные электроны.

Рис. 1.20. Энергетическое распределение электронов Φ на различных высотах верхней атмосферы по расчетам [214] для типичного экспериментального спектра аврального вторжения в ночные часы [326].



Φ см⁻² · с⁻¹ · ср⁻¹ · эВ⁻¹



Оже-электроны играют главную роль в образовании обратного потока (вверх из атмосферы) благодаря своему исходному изотропному распределению, поскольку вторичные электроны имеют максимум в угловом распределении в передней полусфере, а количество упруго рассеянных назад электронов очень невелико [214]. По интенсивности поток вверх равен потоку Оже-электронов в нижнюю полусферу.

При учете протонных высыпаний (со спектром протонов по [321]) поток Оже-электронов, в том числе из атмосферы, может возрасти на высоте 150 км примерно на 10% (по сравнению со случаем, приведенным на рис. 1.18 а), а при освещении авроральной атмосферы рентгеновским излучением Солнца при зенитном угле Солнца, равном 67° , поток Оже-электронов возрастает еще на 60%. При этом во всех случаях: при электронном, протонном высыпаниях и при фотопоглощении — первичный спектр электронов Оже практически одинаков и определяется составом атмосферы.

1.3. Солнечно-земные и магнитосферные явления

Земная атмосфера подвергается постоянному воздействию солнечной радиации, космических лучей и энергичных частиц (прежде всего электронов и протонов), вторгающихся из магнитосферы. В верхней атмосфере выше 65 км на дневной стороне большинство явлений связано с поглощением ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца с длинами волн $0,1 \div 242$ нм, но наиболее важная часть спектра, определяющая образование земной ионосферы, ограничена длиной волны 134 нм, соответствующей порогу фотоионизации самой легкоионизируемой частицы — молекулы окиси азота NO.

Излучение в области спектра 240—330 нм и короче 0,1 нм проникает, как показано в п. 1.2, вплоть до стратосферных высот. Здесь оно участвует в фотодиссоциации озона, а также наряду с космическими лучами создает заметную ионизацию среды. Так, на высоте 30—40 км концентрация ионов составляет 10^3 см^{-3} . Там же в дневные часы зарегистрировано заметное ультрафиолетовое свечение с потоком около 10^6 квантов/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$).

На ночной стороне, а также почти везде в периоды сильных магнитосферных возмущений (мировых бурь) замет-

ную, а часто и определяющую роль в ионообразовании, разогреве и оптическом возбуждении верхней атмосферы играют корпускулярные высыпания из магнитосферы, прежде всего электроны с энергиями от нескольких сотен эВ до нескольких сотен кэВ.

Рассмотрим современные сведения о потоках солнечного коротковолнового излучения и о морфологии корпускулярных высыпаний из магнитосферы.

Наиболее характерное свойство потока ультрафиолетового и особенно рентгеновского излучения Солнца — его изменчивость. С изменением солнечной активности вариации потока в отдельных спектральных интервалах достигают нескольких десятков и даже сотен процентов, а во время коротких всплесков, продолжающихся иногда десятки минут и соответствующих вспышкам на Солнце, поток увеличивается в несколько раз, а иногда и в тысячи раз (в рентгеновском диапазоне). Все это сильно отражается на основных процессах верхней атмосферы и заметно проявляется в ее характеристиках.

Достаточно точные прямые измерения ультрафиолетовой и рентгеновской радиации очень сложны. Во-первых, они возможны лишь вне земной атмосферы, например с космической орбиты, и технически до сих пор несовершенны. Поэтому история таких измерений полна драматических пересмотров (на сотни процентов!) ранее публиковавшихся данных даже для по-

Таблица 1.3

Энергия (10^{-10} Вт/см²) ионизирующего солнечного излучения в отдельных спектральных интервалах в зависимости от величины $F_{10,7}$. По [51]

$\Delta\lambda$ нм	$F_{10,7} \cdot 10^{22}$ Вт/(м ² · Гц)			
	100	120	144	200
103,7–91,1	229	272	315	368
91,1–80,0	154	183	206	234
80,0–63,0	40	49	63	72
63,0–46,0	106	135	172	210
46,0–31,0	130	182	240	325
31,0–28,0	291	365	445	553
28,0–20,5	178	242	312	415
20,5–18,0	163	217	276	356
18,0–16,5	91	118	149	190
16,5–12,0	28	39	51	69
12,0–6,0	64	85	106	132
6,0–0,1	71	95	121	182
103,7–0,1	1545	1982	2456	3113

токов от спокойного Солнца, а не во время солнечных вспышек. До сих пор отсутствует полный и постоянный патруль спектра ионизирующего излучения Солнца, нет подчас и достоверных сведений об абсолютной величине полного потока коротковолновой солнечной радиации. Во-вторых, и в настоящее время даже лабораторная калибровка аппаратуры для измерения коротковолновой радиации дает точность хуже 10–30% [335]. Современная аэрономия при решении насущных задач использует для построения различных моделей общепринятые таблицы интенсивностей потоков солнечного излучения, которые постоянно уточняются. В качестве примера в табл. 1.3 приведены потоки в спектральных интервалах, интересных для ионосферных моделей [51, 261, 270]. Кроме пересмотра абсолютных величин потоков всё время происходит уточнение сведений о характере вариаций различных спектральных составляющих коротковолнового излучения с солнечной активностью.

Как известно, наиболее характерным проявлением солнечной активности являются тёмные пятна на диске Солнца. Поэтому в качестве индекса солнечной активности часто используется относительное число солнечных пятен. Его величина R (число Вольфа) определяется следующим образом:

$$R = k(f + 10g),$$

где g — число групп солнечных пятен; f — общее число отдельных пятен, включая пятна в группах; k — постоянная, установленная для данной наблюдательной станции и зависящая от условий наблюдения.

При анализе длительного ряда чисел Вольфа (они есть начиная с середины XVIII в.) выявляется наличие 11-летнего цикла солнечной активности. На самом деле время между двумя последовательными минимумами числа солнечных пятен меняется от 9 до 14 лет со средним значением 11,3 года. Время нарастания циклов меньше времени спада и в среднем составляет четыре года. В XX в. средний период циклов солнечной активности уменьшился, приблизившись к 10 годам.

Солнечные пятна в основном живут недолго. Половина из них исчезает менее чем через двое суток, а 10% существует свыше 11 суток. Но есть пятна, живущие до нескольких месяцев. А поскольку период вращения Солнца вокруг своей оси

около 27 сут, то долгоживущие пятна приводят к соответствующей периодичности (рекуррентности) солнечной активности. Так что на 11-летнюю цикличность накладывается 27-дневная повторяемость солнечных явлений. Известны на Солнце и долготы, наиболее активные с точки зрения появления групп солнечных пятен: в северном полушарии $40-80^\circ$, $160-200^\circ$ и $280-320^\circ$, а в южном $80-120^\circ$, $160-200^\circ$, $240-280^\circ$ и $320-360^\circ$. Пятна обычно появляются в поясе широт $\pm 5 - \pm 45^\circ$. Однозначного объяснения этим обстоятельствам пока нет.

Существует два направления в объяснении вариаций и цикличности солнечной активности. Первое связывают с возможностью наличия взаимодействия магнитных полей и неоднородности вращения Солнца [34] (как известно, у экватора вращение быстрое (с периодом 25 сут), а у полюсов период вращения возрастает до 34 сут). Неравномерное движение искажает, растягивает магнитные поля и придает им структуру, порождающую активность. Второе направление основывается на гипотезе о резонансной структуре солнечной системы. Анализ данных наблюдений показывает, что в поведении различных индексов солнечной активности проявляются вариации с периодами, близкими к периодам (или к полупериодам) обращения планет вокруг Солнца [112]. При анализе непрерывных визуальных наблюдений за полярными сияниями с борта «Салюта-6» в период второй экспедиции [14] были получены определенные свидетельства о наличии сезонной зависимости в появлении сияний, подтверждающие предсказания гипотезы резонансной структуры солнечной системы, предложенной А. М. Молчановым в 1966 г. [114, 115, 303]. Из этой гипотезы следует, что такая нелинейная колебательная система, как Солнце и его планеты, в процессе достаточно длительной динамической эволюции стремится выйти на такой синхронный режим, в котором частоты отдельных процессов (будь-то, например, активность вспышечной деятельности Солнца или изменение различных параметров планетной системы) находятся в простых кратных отношениях между собой.

Для выявления геофизических эффектов солнечной активности оказалось весьма удобным пользоваться индексом $F_{10,7}$, представляющим собой значение потока солнечного радиоизлучения на длине волны 10,7 см (в единицах 10^{-22} Вт/(м² · Гц)). Его величина хорошо коррелирует с интенсивностью коротко-

волнового излучения Солнца, определяющего состояние верхней атмосферы Земли. Опорной станцией для ежедневных определений индекса $F_{10,7}$ является обсерватория в Оттаве (Канада).

Согласно современным представлениям, существует устойчивое соотношение интенсивности потока излучения Солнца и индекса $F_{10,7}$ в различных спектральных областях (табл. 1.3, 1.4).

Таблица 1.4

Зависимость потока коротковолнового излучения от индекса солнечной активности $F_{10,7}$ в отдельных диапазонах спектра [220, 221]

λ нм	Диапазон спектра, линия	Зависимость от индекса $F_{10,7}$, 10^9 квантов/(см ² · с)
30,4	$L_{\alpha}\text{He}^+$	$7,10[1 + 2,8 \cdot 10^{-3}(F_{10,7} - 65)]$
58,4	$L_{\alpha}\text{He}$	$1,58[1 + 3,2 \cdot 10^{-3}(F_{10,7} - 65)]$
102,5	$L_{\beta}\text{H}$	$3,54[1 + 2,7 \cdot 10^{-3}(F_{10,7} - 65)]$
121,6	$L_{\alpha}\text{H}$	$2,91 \cdot 10^2[1 + 2,0 \cdot 10^{-3}(F_{10,7} - 65)]$
130–175	Континуум Шумана–Рунге	$1,2 \cdot 10^3 + 0,6 F_{10,7}$
175–190	Полосы Шумана–Рунге	$2,79 \cdot 10^3 + 0,79 F_{10,7}$

Для всего потока ионизирующего излучения в [261] по данным спутников серии «Атмосферик Эксплорер» было получено, что его величина определяется не только текущим значением $F_{10,7}$, но и «фоновым» потоком этого радиоизлучения, средним за три солнечных оборота. Дата наблюдения при усреднении в таком интервале находится в его центре.

Практически, вариации потоков коротковолнового излучения Солнца в 27-дневный период достигают нескольких десятков процентов, а с 11-летним циклом — нескольких раз (табл. 1.5). При этом теоретические оценки допускают и значительно большие изменения в отдельных линиях [135].

Наиболее мощные возрастания потоков ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца наблюдаются в периоды вспышек на Солнце. Так что вспышка — это высшее проявление солнечной активности. Вспышки сильно отличаются друг от друга по интенсивности, и чаще всего бывают слабые вспышки, не имеющие даже балла — так называемые субвспышки. Их число доходит до 80% от всего числа вспышек; но и при субвспышках происходит резкое и подчас весьма сильное увеличение мягкого рентгеновского излучения.

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

А изменение спектрального состава солнечной радиации с существенным усилением коротковолновой части спектра является как раз тем фактором, который определяет геоэффективность вспышек.

Таблица 1.5

Средние наблюдаемые интервалы изменений потоков коротковолнового излучения Солнца, %

λ нм	27-дневный период	11-летний цикл
10–103	40–60	300–400
102,5		80
121,6	15–30	40–60
120–175	10–30	100
175–240	1–10	60–100
240–400	1	20–50

Частота появления вспышек меняется в широких пределах в зависимости от фазы одиннадцатилетнего цикла. Их максимальное число наблюдается в годы максимума этого цикла, но даже на спаде бывают периоды обилия вспышек, в том числе и очень сильных. Физика солнечной вспышки состоит, по современным представлениям, в реакции солнечной атмосферы, в том числе ее внешней области — короны, — на незапный быстрый процесс выделения энергии, который приводит как к локализованному нагреванию хромосферы и короны, так и к появлению сильно ускоренных корпускулярных потоков.

Система классификации оптических вспышек была принята в 1955 г., а ее новый, улучшенный вариант (в линии H_{α} 6563 нм) действует по настоящее время с 1 января 1966 г. Различают четыре балла вспышек. Номер балла соответствует площади вспышечной области в порядке ее возрастания. Кроме четырех баллов имеется добавочный класс субвспышек (обозначенный буквой S). Поверхностная яркость вспышки, изменяющаяся для каждого балла в широких пределах, указывается добавкой к номеру балла одной из трех букв: F — слабая, N — нормальная и B — яркая. Таким образом, наименее слабая субвспышка имеет обозначение SF, а наиболее сильная вспышка — 4B.

С 1960 г. налажен непрерывный патруль со спутников серии СОЛРАД за потоком рентгеновского излучения Солнца.

Измерения проводятся фильтровым методом обычно в диапазонах 0,05—0,3; 0,1—0,8; 0,8—2 и 4,4—6,0 нм, выбор которых обусловлен исключительно возможностями изготовления соответствующих фильтров. На основе этих данных проанализированы результаты по огромному набору рентгеновских сол-

Таблица 1.6

Международная классификация для рентгеновских солнечных вспышек по значению потока в диапазоне 0,1 ÷ 0,8 нм

Класс вспышки	Поток энергии, 10^{-10} Вт/см ²
С (1—9) М (1—9) Х (1—9 и более)	$1 \div 9$ $10 \div 90$ $(1 \div 9) \cdot 10^2$ и более

нечных вспышек, в результате чего с 1969 г. введена так называемая Боулдеровская классификация (табл. 1.6). Эта классификация существенно дополнила характеристику оптического излучения вспышки в баллах (в линии H_{α}), поскольку любые косвенные оценки потока рентгеновского излучения вспышки пока не способны заменить их измерения. Известно, что оптические баллы и ионосферные возмущения хотя и возрастают в среднем от класса С к классу Х, но нередки и исключения: например, небольшие вспышки и даже субвспышки могут сопровождаться потоками рентгеновского излучения класса Х, и наоборот, большие оптические вспышки иногда имеют слабые возрастания рентгеновского потока. Есть также случаи регистрации солнечных рентгеновских вспышек в отсутствие оптической вспышки.

Таблица 1.7

Классификация протонных солнечных вспышек

Класс вспышки	Интенсивность потока протонов с $E > 10$ МэВ, см ⁻² ·с ⁻¹ ·ср ⁻¹	ППШ на частоте 30 МГц, дБ	Прирост скорости счета нейтронными мониторами, %
-3	$10^{-3} - 10^{-2}$	—	—
-2	$10^{-2} - 10^{-1}$	—	—
-1	$10^{-1} - 10^0$	—	—
0	$10^0 - 10^1$	Не измерено	Не измерено
1	$10^1 - 10^2$	1,5	3
2	$10^2 - 10^3$	1,5—4,5	3—10
3	$10^3 - 10^4$	4,6—15	10—100
4	10^4	15	100

Боулдеровская классификация основана на измерениях потока в диапазоне длин волн $0,1 \div 0,8$ нм, но для оценки классов рентгеновских вспышек используются также наблюдения в диапазоне $0,05 \div 0,3$ нм. В этом случае классу X соответствует поток $> 10^{-9}$ Вт/см².

Установлено, что корреляция оптических баллов с классом рентгеновского излучения улучшается, если вспышки расположить так: SF, SN, 1F, SB, 1N, 2F, 1B, 2N, 2B и т. д. Введена и классификация протонных солнечных вспышек (восемь классов, табл. 1.7). Здесь отрицательные индексы (классы) используются для случаев, когда потоки протонов не обнаружимы наземными средствами (по эффектам поглощения в полярной шапке (ППШ) и нейтронными мониторами), а их интенсивность может регистрироваться только со спутников [184].

Наконец, предложен так называемый обобщенный вспышечный индекс $CFI = A + B + C + D + E$, учитывающий поток ионизирующей радиации (*A*), балл оптической вспышки (*B*), радиопотоки (*C + E*) и эффекты в динамическом радиовсплеске (*D*). Значение обобщенного вспышечного индекса изменится от 0 до 15—17 у наиболее сильных вспышек.

Важное обстоятельство определяет интенсивность отдельных компонентов вспышечной радиации Солнца. За проявления вспышечной активности в различных диапазонах спектра ответственны процессы, идущие в разных областях солнечной атмосферы — фотосфере (оптические вспышки), хромосфере, переходной зоне и короне. Энергетический потенциал этих областей существенно отличается, и поэтому вспышка может сопровождаться кратковременным (буквально в несколько минут) усилением в два раза и более потока коротковолнового излучения в линиях, испускаемых в хромосфере и переходной области, и на порядки величины — в корональных эмиссионных линиях.

Для верхней атмосферы Земли наиболее важными являются сведения о поведении в период солнечной вспышки не отдельных линий, а довольно широких интервалов спектра. Это связано, как правило, с монотонным характером зависимости сечений поглощения и ионизации атмосферных газов от длины волны. Такое положение существенно облегчает построение эмпирических моделей УФ и рентгеновского излучения вспышки для целей изучения их воздействия на состояние ионосферы [240].

Взаимосвязь динамических процессов вспышки в различных областях солнечной атмосферы очень сложна, но их проявление во времени в различных диапазонах коротковолнового спектра подчиняется довольно определенным закономерностям (рис. 1.21) [275]. На рисунке представлены данные по диапазону 1–103 нм на основании наблюдений за SFD (внезапными девиациями частоты) и данные по рентгену со спутников OSO и OGO. Из этого рисунка следует:

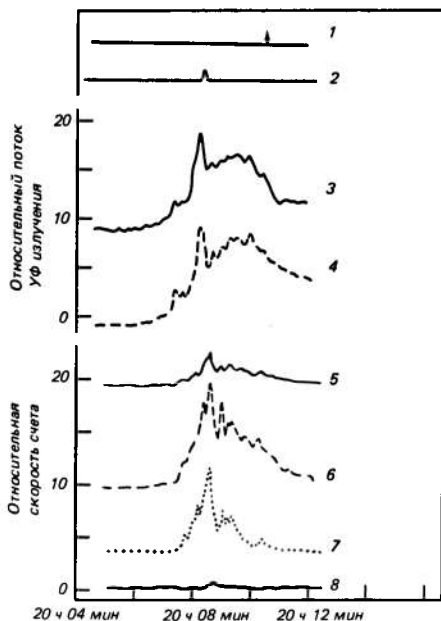


Рис. 1.21. Вариации потоков ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца в период солнечной вспышки 3В 21 апреля 1969 г. [275]. 1 — максимум (стрелка) и продолжительность вспышки в H_α ; 2 — пик потока и продолжительность радиоизлучения на частотах 5,8 и 15 ГГц; 3, 4 — УФ излучение в области 76–103 нм (по данным спутника OSO-5) и в области 1–103 нм (по SFD-данным); 5, 6 — рентгеновское излучение с энергией в диапазонах (кэВ): 14–28 (5), 28–55 (6), 55–141 (7), 141–254 (8).

— начало оптической вспышки (в H_α) и микроволнового всплеска не сопровождается заметными изменениями в УФ диапазоне, мягком и жестком рентгеновском излучении;

— начало увеличения потока коротковолнового (УФ и рентгеновского) излучения происходит через 2–3 мин после начала вспышки в H_α , но за несколько минут до максимума этой (оптической) вспышки;

— УФ излучение вспышки резко (импульсивно) возрастает и также резко начинает уменьшаться, при этом сильно выра-

женный максимум возникает за 2–3 мин до максимума в H_{α} , но почти одновременно с максимумом в рентгеновском излучении, как в жестком, с $\lambda = 0,05$ нм, так и в очень мягком, с $\lambda > 1,0$ нм. Пик в УФ излучении совпадает с пиком микроволнового излучения;

– рентгеновское излучение в диапазоне энергий 9,6–19,2 кэВ обычно также имеет небольшой пик, совпадающий с пиком УФ излучения, но в отличие от других диапазонов (19,2–80 кэВ) этот пик не основной, за ним следует больший пик медленного, теплового компонента вспышки;

– УФ излучение и рентген с энергией 10–50 кэВ в импульсной фазе имеют почти линейное соотношение для широкого интервала интенсивностей. В работе [260] при одновременных наблюдениях линии H_{α} , жесткого рентгеновского излучения и радиовсплеска было получено, что в импульсной фазе возрастания интенсивности потока оптического, рентгеновского и радиоизлучения происходят одновременно (в пределах временного разрешения, составляющего $1 \div 10$ с).

Продолжительность импульсного возрастания УФ и мягкого рентгеновского излучения (в диапазоне 1–103 нм) составляет около 10 с, а в случае ансамбля всплесков — до нескольких минут, в некоторых условиях — до нескольких десятков минут [240]. В этот период начинаются сильные возмущения в F -области. На следующем, «медленном» этапе вспышки наблюдается наиболее сильное возрастание рентгеновского излучения в диапазоне 0,05–1,0 нм [186], и поэтому происходит возмущение самой нижней части D -области и E -области ионосферы. В этот же период (в пике медленного этапа) интенсивность УФ излучения довольно велика и может продолжать создавать возмущение F -области. В работе [240] на основе большого числа (более 2000) наблюдений в Боулдере с 1960 по 1974 г. за внезапными возмущениями в ионосфере в виде SFD сделаны следующие выводы:

– минимальные уровни возрастания потока коротковолнового излучения во время вспышки, при котором наблюдается внезапное ионосферное возмущение (ВИВ), для D -области составляют около $2 \cdot 10^{-10}$ Вт/см² (в диапазоне 0,1–0,8 нм), для E - и F -областей около 10^{-9} Вт/см² (1,0–0,8 нм);

– за ВИВ в E - и D -областях ответственно излучение Солнца в диапазонах 0,1–9 и 91,1–103 нм, а в F -области 9–91,1 нм;

— интенсивность импульсного возрастания УФ излучения вспышки зависит от положения вспышечной области на диске Солнца, причем наибольшие потоки, а следовательно, и сильные ВИВ наблюдаются преимущественно от вспышек, происходящих вблизи центра Солнца. Это, вероятно, является результатом влияния на интенсивность вспышечного потока УФ излучения степени его поглощения при выходе из солнечной атмосферы. Для рентгеновского излучения вспышек такой

Таблица 1.8

Частота появления солнечных вспышек различной интенсивности [240]

Класс вспышки	Импульсный компонент $\Delta F_{\text{макс}}$ (0,05–103 нм), Вт/см ²	Частота появления	Медленный компонент $\Delta F_{\text{макс}}$ (0,1–0,8 нм), Вт/см ²	Частота появления
С (1–9)	$> 10^{-9}$ 10^{-8}	3 в 1 ч 2 в 1 сут	$(1 \div 9) \cdot 10^{-10}$	~ 5 в 1 ч
М (1–9)	10^{-7}	1 в 1 мес	$(1 \div 9) \cdot 10^{-9}$	~ 1 в 1 + 2 сут
X1 и более	10^{-6}	1–2 в 1 год	10^{-8}	~ 2–3 в 1 мес

Примечание. Исключены годы минимума солнечной активности ($F_{10,7} < 80$ ед.).

строгой зависимости не отмечено, что связывается с расположением источника рентгена во внешней области солнечной атмосферы — короне;

— частота появлений солнечных вспышек, создающих возмущения в ионосфере, зависит от их интенсивности (табл. 1.8). Для регистрации импульсных всплесков использованы данные по SFD, а по медленной фазе — данные СОЛРАД-9.

На основе анализа собственных данных по SFD и спутниковых измерений вспышечных потоков ионизирующего солнечного излучения в [240] предложено пять вариантов моделей спектра УФ и рентгеновской радиации Солнца в период импульсного компонента вспышки и три модели для периода медленной вариации интенсивности (табл. 1.9). При этом использованы результаты измерений на спутниках серии OSO и СОЛРАД [227, 237, 241, 254, 277, 285].

Из табл. 1.10 хорошо видно, что основное приращение интенсивности в период импульсной фазы вспышки приходится на диапазон длин волн выше 9 нм, т. е. на ту область спектра, которая создает возмущение в F- и E-областях ионосферы.

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В период тепловой (медленной) фазы уже более 50% добавочного излучения в период вспышки по моделям, предлагаемым в [240], излучается в диапазоне длин волн 9—0,05 нм. Этот вывод не расходится с последними результатами [263, 264] прямых измерений на спутнике СОЛРАД-11 фильтровым методом потоков УФ, мягкого и жесткого рентгеновского излучения по четырем вспышкам (3 августа и 17 сентября 1976 г., 11 февраля и 12 апреля 1977 г.).

Таблица 1.9

Увеличение (%) потоков УФ и рентгеновского излучения Солнца во время вспышек разных баллов. По [241]¹

$\Delta\lambda$, нм	Ионосферная область	Модели возрастания потоков в спектре вспышек							
		импульсная фаза					медленная фаза		
		A	B	C	D	E	X	Y	Z
103—91,1	E	14,6	9,9	18,2	14,4	9,5	1	2	5
91,1—79,6	E, F	6,8	4,7	14,4	6,7	4,6	2	3	6
79,6—28,0	F	32,1	21,8	32,3	32,5	25,6	3	6	14
28,0—20,0	F	15	19	12	15	20	5	9	8
20,0—9,0	E, F	23	31	17	23	30	9	16	15
9,0—6,0	E	5	9	3	5	6	6	10	9
6,0—3,1	E	3	4	2	3	4	10	19	30
3,1—2,0	E	1	1	1	1	1	6	4	2
2,0—0,8	E						26	23	10
0,8—0,4	D, E						22	6	1
0,4—0,05	D						10	2	—
Дата (время UT)	27.03.67 (21.15)	27.03.67 (21.28)	22.03.67	12.03.67	21.04.69	12.03.69	01.08.67	18.09.71	
H _α -вспышка (класс рентгеновской вспышки), баллы	1B	1B	3B	2B	3B	2B(X25)	2B(X1)	SB(M1)	
$\Delta\Phi_{\text{макс}}$ (0,1—103 нм), 10 ⁻⁷ Вт/см ²	0,49	0,44	≈ 0,3	4,4	2,7				
Источник	[241]	[241]	[254]	[277]	[277]	[277]	[227,285]	[237]	

Примечание. В приведенных в таблице источниках имеются данные по более узким участкам спектра.

Измерения УФ излучения проводились в диапазонах 103—70, 80—50 и 50—10 нм, мягкого рентгена — в 0,3—0,05, 0,8—0,1 и 2,0—0,8 нм, а жесткого рентгена — в интервале энергий 15—150 кэВ [262]. Результаты измерений пиковых приростов интенсивности для ионизирующего верхнюю атмосферу из-

лучения (103—0,05 нм) приведены в табл. 1.10, при этом пики в рентгене достигаются на 1—3 мин раньше, чем в УФ области. Эти данные относятся к тепловому медленному компо-

Таблица 1.10

Увеличение потоков УФ и рентгеновского излучения Солнца

(10^{-7} Вт/см² (%)) в медленную фазу во время вспышек разных классов (C2—X5) [263]

$\Delta\lambda$ нм	Балл H_{α} -вспышки (класс рентгеновской вспышки)		
	1B (X5)	1N (M5)	SF (C2)
	12.04.77	11.02.77	03.08.76
103—70	0,5 (110)	0,10(20)	0,007 (1,5)
80—50	0,2 (110)	0,04 (20)	0,003 (1,5)
50—10	1,1 (55)	0,19 (10)	0,010 (0,5)
130—10	1,8	0,3	0,02
2—0,05	1,1	0,1	0,01
Поток до вспышки $\Delta\lambda = 103-10$ нм		2,6	

ненту вспышки. Из табл. 1.10 следует, что по абсолютной величине в тепловом компоненте вспышки основной прирост энергии излучения приходится на УФ диапазон, хотя для X5-класса уже 38% добавочного излучения регистрируется в 0,05—0,2 нм. Это довольно близко к моделям, описанным в [240] (см. табл. 1.9), хотя такое сопоставление несколько условно, поскольку в табл. 1.10 и в работах [263, 264] отсутствуют сведения об изменениях потока излучения в области длин волн 10—2 нм. А в данном диапазоне иногда наблюдается наибольший рост интенсивности излучения. В [245] это получено на основе анализа данных измерений N_e в ионосфере на высоте 100—250 км методом некогерентного рассеяния радиоволн. В табл. 1.11 приведены данные для двух сильных вспышек 21 и 23 мая 1967 г., а также полученный из ионосферного анализа поток перед вспышкой. Видно, что все потоки достигали слишком больших значений, впрочем они не превышали для спокойных условий данных по 21-му циклу. К тому же значения потоков из работы [245] для вспышки 23 мая 1967 г. подтверждены в [113], а при обсуждении деталей спектра в [142], тоже на основе оценок по ионосферным данным.

Возможность косвенной проверки моделей спектра вспы-

шек имеется для вспышек 2В 25 февраля 1969 г. и 27 декабря 1968 г. благодаря спутниковым данным о возрастании интенсивности спектра фотоэлектронов в моменты этих вспышек [106, 314, 371]. Фотоэлектронные спектры несут богатую информацию об энергетическом распределении ионизирующего солнечного излучения, а их регистрация возможна с меньшими ошибками. Основные методические ошибки при измерении фотоэлектронов со спутников обсуждались в [372], а также в [1].

Таблица 1.11

Увеличение потоков (10^{-7} Вт/см²) УФ и рентгеновского излучения Солнца во время сильных вспышек 2В–3В по ионосферным данным [245]

$\Delta\lambda$ нм	Балл H_{α} -вспышки		Поток до вспышек $F_{10,7} = 175$ ед.
	2В 21.05.67, 19 ч 20 мин UT	3В 23.05.67 18 ч 35 мин UT	
121,6*		1,0	4,8
103–91,1	0,06	0,06	0,62
91,1–79,6	0,07	0,07	0,71
79,6–28,0	0,32	0,40	2,69
28,0–20,5	0,29	0,16	0,65
20,5–13,8	1,61	2,25	1,87
13,8–6,2	0,95	1,16	0,82
6,0–1,2	1,5	2,7	0,41
1,2–0,2**	0,18	0,65	0,002
Полный поток, $\Delta\lambda = 103 - 0,2$ нм	12,6	15,0	7,8

* Оценки сделаны в [113].

** Данные спутниковых измерений по [245].

Для вспышки 2В 25 февраля 1969 г. данные по спектру фотоэлектронов в широком диапазоне энергий (10–400 эВ) представлены в [371] (рис. 1.22). Интегральный ($E > 9,5$ эВ) энергетический поток фотоэлектронов во время вспышки возрос на 74%, полное число фотоэлектронов – на 33%, при этом наибольшее увеличение интенсивности (в 10 раз и более) наблюдается при энергиях фотоэлектронов выше примерно 100 эВ. Ниже 80 эВ оно не превышает 1,5–2 раза. Это означает, что основное увеличение ионизирующего излучения Солнца в период этой вспышки произошло в диапазоне длин волн короче 11 нм, а в интервале спектра более 13 нм поток в период вспышки возрос в 1,5–2 раза. Это соответствует моделям,

представленным в табл. 1.9 и 1.10 для теплового компонента вспышки, если принять, согласно [289], что класс рентгеновской вспышки равен X. К сожалению, именно в период этой

$\Phi \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{эВ}^{-1}$

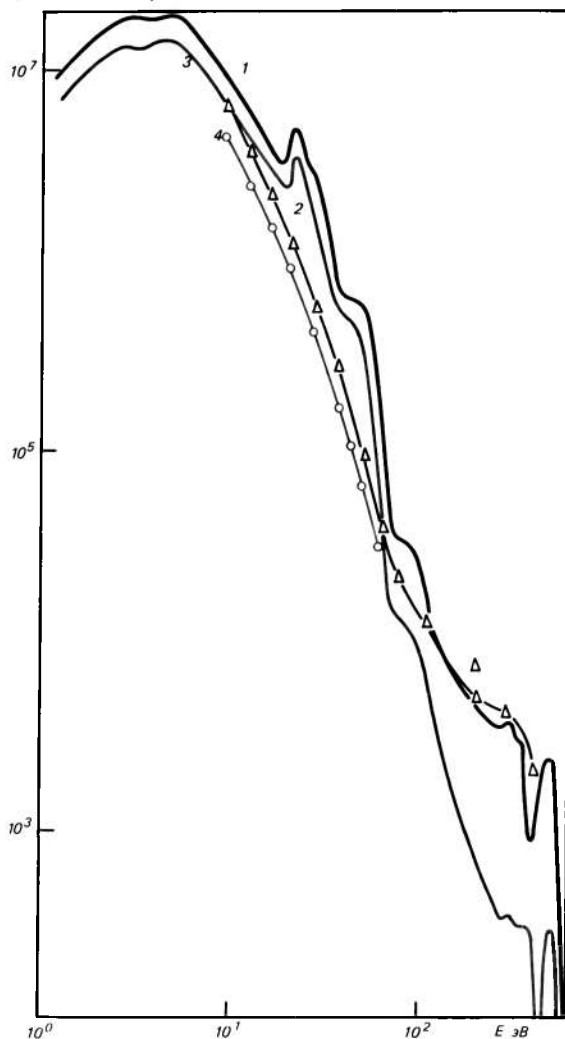


Рис. 1.22. Спектры фотоэлектронов, измеренные в [371], во время вспышки (2) и в спокойных условиях (4), а также расчет [10] с учетом эффекта Оже для той же вспышки (1) и в спокойных условиях [3].

вспышки с 9 по 21 ч был перерыв в измерениях на спутнике СОЛРАД-9 [341].

Поэтому по вспышке 25 февраля 1969 г. имеются только данные измерений со спутника ESRO-2 в диапазонах 0,1–1,8 и 4,4–5,5 нм [223]. В начале вспышки (в H_α начало приходится на 09 ч 03 мин UT [289]) спутник был в тени Земли и только начал выходить из нее.

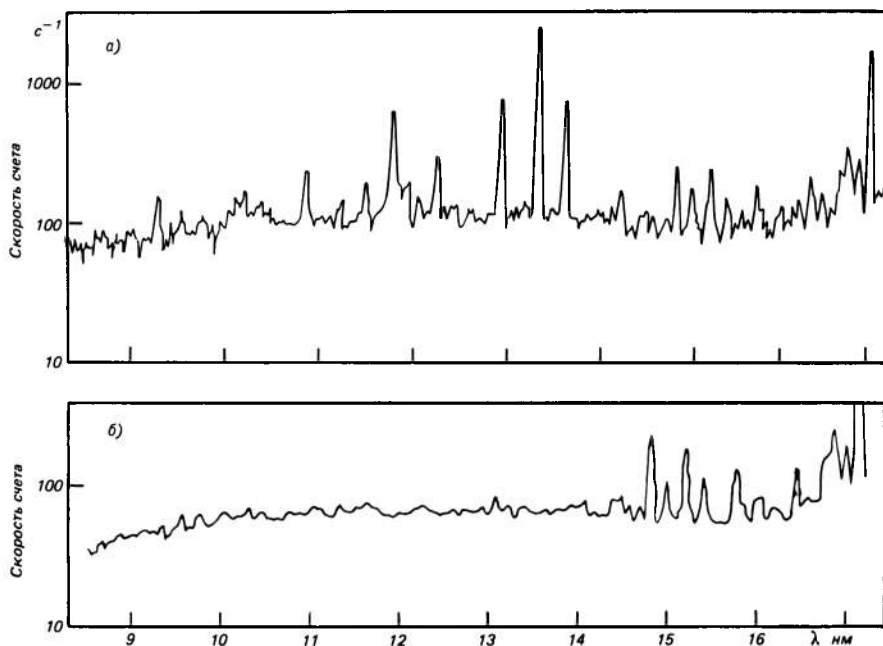


Рис. 1.23. Спектры излучения Солнца во время вспышки 2В 25 февраля 1969 г. (а) и в спокойных условиях в тот же день по данным спутника OSO-5 (б) [276].

По данным [223], эта вспышка относится к классу M5 (с потоком в $\Delta\lambda = 0,1-0,8$ нм $5 \cdot 10^{-9}$ Вт/см²), а не X [289]. Согласно модели [263] (табл. 1.10), для класса M5 поток $\Delta\lambda = 10-103$ нм может увеличиться в 1,1–1,2 раза. Это меньше увеличения по спектру фотоэлектронов для этого диапазона длин волн [371]. Для вспышки 25 февраля 1969 г. имеются

также результаты прямых спектральных измерений со спутника OSO-5 в диапазоне 6,6–17,1 нм [276]. Сканы в период этой вспышки и до нее (длительностью около 4 мин каждый) представлены на рис. 1.23. Видно, что в период вспышки поток возрос не менее чем в 10 раз (см. также [118]), а в отдельных линиях (11,718; 12,874; 13,283 и 13,573 нм) он в $57 \div 230$ раз выше, чем до вспышки. Это уже совсем не со-

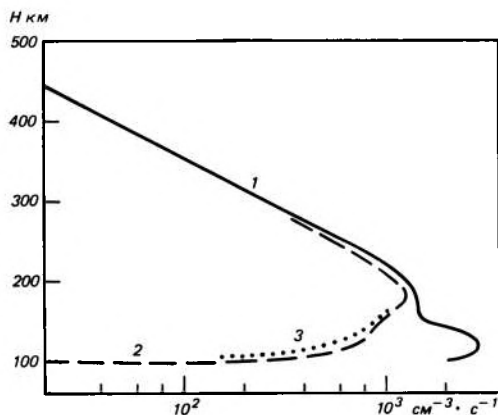


Рис. 1.24. Скорости добавочной ионизации фотоэлектронами во время солнечной вспышки 25 февраля 1969 г., рассчитанные тремя методами: с учетом Оже-электронов (1), без их учета (2) и с учетом источника фотоэлектронов, ограниченном по энергии до 300 эВ (3).

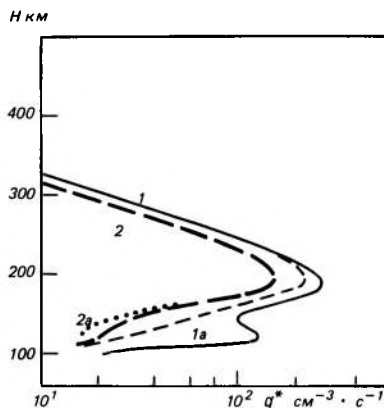
ответствует данным по спектру фотоэлектронов (см. рис. 1.22) в период той же вспышки. По нашему мнению, в данном случае авторы работ [276] и [118] допустили ошибку из-за неправильной градуировки шкалы ординат в [276], занижающей в 10 раз потоки спокойного Солнца. Правильной надо считать шкалу, приведенную на рис. 1.23, а реконструкцию спектра в [118] в области 10–17 нм для вспышечного уровня завышенной в 10 раз.

В период вспышки 2В 27 декабря 1968 г. непосредственные измерения потоков излучения Солнца проводились на спутнике СОЛРАД-9 [341], а потоков фотоэлектронов — на ИСЗ «Космос-261» [106]. Одновременно на спутнике OGO-4 регистрировалось дневное излучение верхней атмосферы в системе полос Лаймана — Бэрджа — Хопфильда. Патруль солнечного излучения велся только в рентгеновском диапазоне, причем в интервале $\Delta\lambda = 0,1 - 0,8$ нм поток во время вспышки возрос в 500 раз, а в интервале $\Delta\lambda = 0,8 - 2,0$ нм — в 100 раз. Потоки фотоэлектронов, по данным ИСЗ «Космос-261», возросли при

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

энергии 60 эВ в 1,5 раза, а при 120 эВ — в несколько раз. Это опять вполне соответствует модели [263] для вспышки класса X, в которой увеличение потока в диапазоне 10–50 нм (включающем область спектра солнечного излучения, ответственного за образование фотоэлектронов с энергией 60 эВ), достигает 1,55 раза. Близкие результаты получены и при оценке степени увеличения потоков фотоэлектронов в период этой

Рис. 1.25. Скорости возбуждений фотоэлектронами молекулы азота во время солнечной вспышки 27 декабря 1968 г. (1) и в спокойных условиях (2) с учетом эффекта Оже. 1а и 2а — то же, но без учета эффекта Оже.



вспышки по данным измерения интенсивности свечения системы полос Лаймана — Бэрджа — Хопфильда, $\Delta\lambda = 136 \div 160$ нм [314], которое возросло в 1,6 раза. Абсолютный прирост УФ излучения в $\Delta\lambda = 6 \div 60$ нм в [314] оценен примерно в $2 \cdot 10^{-7}$ Вт/см², что также хорошо соответствует модели [263]. Интересно, что повышение интенсивности излучения атмосферы по времени больше коррелирует с ростом потока мягкого рентгеновского излучения 0,8–2 нм в тепловую, медленную фазу вспышки, чем с импульсной фазой роста УФ излучения [314]. Это еще раз свидетельствует о важной роли эффекта Оже в формировании вспыхивающих фотоэлектронных спектров. Действительно расчеты спектров фотоэлектронов во время вспышки, приведенные на рис. 1.22 [10], и определение высотных профилей ионообразования и возбуждения системы полос Лаймана — Бэрджа — Хопфильда [9] с помощью рассчитанных спектров показывают существенный вклад Оже-электронов во время вспышки (рис. 1.24, 1.25).

Прежде чем подвести итоги настоящего рассмотрения

и анализа данных по увеличению во время солнечных вспышек разных классов и баллов интенсивности потоков УФ и рентгеновского излучения, обратимся к сводной таблице известных данных по росту потока только в двух линиях спектра солнечной коротковолновой радиации — линии $L_{\alpha}\text{He}^+$, $\lambda 30,4$

Таблица 1.12

Относительное увеличение потоков излучения Солнца во время вспышек в линиях 30,4 и 58,4 нм (по данным спутников OSO-3, -4 и -6)

Дата	Балл H_{α} -вспышки	Отношение потоков в период пика вспышки к потокам перед вспышкой		Источник
		в линии 30,4 нм	в линии 58,4 нм	
22.03.67	2B	1,07	1,07	[254]
27.03.67	1B	1,08	1,05	[241]
01.08.67	2B	1,15	...	[227]
02.11.67	2B	1,25	...	[342]
27.10.67	SF		1,74	[346]
31.10.67	SF		1,22	[346]
	SF	1,80		[346]
	SF	1,22		[346]
	SN	1,78		[346]
	1F	1,55		[346]
	2B	3,8		[346]
03.11.67	1N		1,47	[346]
	SF	1,55		[346]
04.11.67	SF	1,70		[346]
08.11.67	SN		1,24	[346]
12.11.67	SF		1,16	[346]
25.11.67	SF	2,40		[346]
29.11.67	SF	1,87		[346]
06.09.69	Не отмечено		2,0	[346]
08.09.69	»		3,3	[346]
09.09.69	SN		7,5	[346]
Среднее *		2,7/1,8	4,3/2,45	[342]

* В числителе — по трем наиболее сильным увеличениям, в знаменателе — по всем измерениям, опубликованным в [346].

нм и линии $L_{\alpha}\text{He}$, $\lambda 58,4$ нм (табл. 1.12). Из этой таблицы следует, что потоки в обоих, наиболее интенсивных линиях солнечного спектра ионизирующего излучения возрастают в разных вспышках по-разному — от 1,05 до 7,5 раза, в среднем в 2—3 раза. При этом прямой зависимости от балла H_{α} -вспышки не наблюдается и часто возрастание потока в этих линиях происходит при самых слабых вспышках в H_{α} (до 2,4 раза в линии 30,4 нм). В целом вспышка в линии 58,4 нм обычно несколько интенсивнее, чем в линии 30,4 нм, вплоть до 1,4—1,6 раза [342, 346]. Данные [241] свидетельствуют при этом, что в районе пика вспышки в $\Delta\lambda = 103-10$ нм (по SFD-

данным) поток в линии 58,4 нм примерно в 1,2 раза больше возрастания во всем интервале $\Delta\lambda = 103 - 10$ нм, а в линии 30,4 нм в 1,1–1,2 раза меньше. На основании этого результата можно делать оценки степени возрастания обеих линий по известной из ионосферных измерений (SFD) величине $\Delta\Phi_{\text{макс}}$ (103–10 нм). Согласно [241], на начальной фазе роста импульса излучение в линиях 30,4 и 58,4 нм хорошо следует за возрастанием всего потока $\Delta\lambda = 103 - 10$ нм. Однако поскольку точность определения абсолютных приращений потока в $\Delta\lambda = 103 - 10$ нм по SFD очень невысока (до множителя 4 [240]), то, конечно, прямые данные о линиях 30,4 и 58,4 нм во время вспышек являются предпочтительнее (см. табл. 1.12). Отметим также очень большой интервал вариаций в период вспышек потока отдельных линий в $\Delta\lambda = 108,5 - 190$ нм (от 10 до 1800 раз) [229, 342].

По представленным сведениям о вариациях потоков УФ и рентгеновского ионизирующего излучения Солнца во время вспышек можно сделать следующие выводы:

- абсолютные измерения потоков и ионосферные оценки проводятся с точностью до множителя 2 или хуже;
- патрульные измерения потоков ионизирующего излучения Солнца налажены только для рентгеновского диапазона спектра, а в УФ области такие данные имеются лишь для отдельных вспышек;
- относительное увеличение потоков ионизирующего излучения при вспышке происходит в $10 - 10^4$ раз в рентгеновском диапазоне ($\Delta\lambda = 0,1 - 2$ нм), в несколько раз в диапазоне 4–6 нм, от нескольких процентов до нескольких сотен процентов в УФ области (10–103 нм) и 1–20% в линии L_{α} , $\lambda 121,6$ нм;
- в целом по ряду вспышек выявлена определенная корреляция приращения потока УФ излучения вспышки с ее классом в рентгеновском диапазоне, хотя при этом в линиях 30,4 и 58,4 нм прямой корреляции с баллом в H_{α} не обнаружено.

Солнечная вспышка воздействует на земные процессы не только благодаря увеличению потоков коротковолнового ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Зачастую не меньший, а по ряду параметров и более ощутимый вклад в изменения условий в околоземном космическом пространстве — «космической погоды» — вносят вариации (возрастания) мощности потоков заряженных частиц, испускаемых Солнцем, прежде всего в виде так называемого солнечного ветра. Замет-

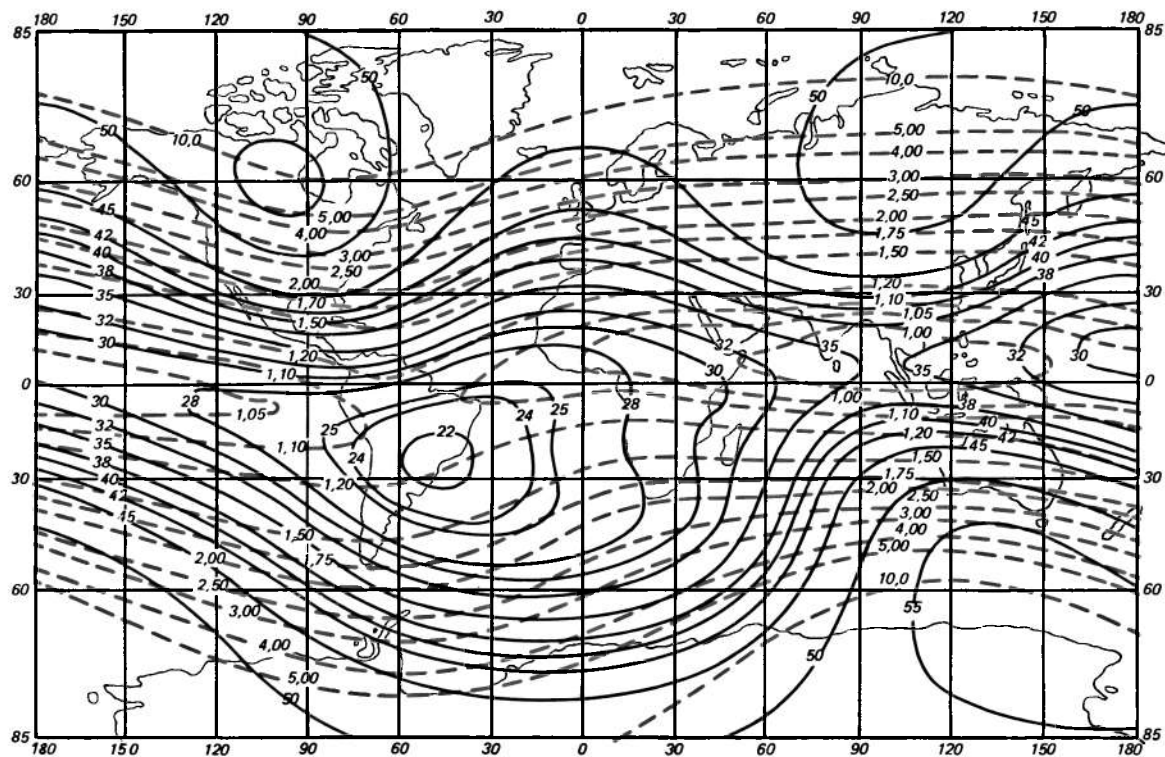
ную роль в развитии ряда геофизических явлений (в полярной ионосфере, в озонном стратосферном слое [171]) играют солнечные космические лучи, также генерируемые во время вспышек. Недавно [309] обнаружена корреляция появления космических лучей (протонов с энергией более 10^6 эВ и скоростью около 10^8 м/с) с наличием относительно большого времени угасания мягкого рентгеновского излучения солнечной вспышки с длиной волны 0,4—1,7 нм.

Солнечный ветер — это направленный от Солнца поток плазмы (в основном электронов и протонов) с замороженным в него магнитным полем, связанный с непрерывным расширением, истеканием высокотемпературной наружной части солнечной атмосферы — короны. Средняя скорость этого ветра составляет около $4 \cdot 10^5$ м/с, но в активные, вспышечные периоды она возрастает до 10^6 м/с. Именно это возрастание наряду с ростом плотности самой плазмы и характеризует степень возмущенности солнечного ветра и величину тех последствий, которые она оказывает на процессы в земной атмосфере. Следует подчеркнуть, что свободное проникновение солнечных заряженных частиц к земной верхней атмосфере возможно в основном в сравнительно небольших зонах около магнитных полюсов Земли — в области полярных шапок. Во всех остальных случаях прямое прохождение практически любых потоков заряженных частиц — от солнечного ветра до космических лучей — ограничивается воздействием со стороны земной магнитосферы на траектории их движения к Земле.

Магнитосфера обязана своим происхождением геомагнитному полю, основной источник которого расположен внутри земного шара. В целом магнитное поле Земли можно представить в виде дипольного поля гигантского магнита, расположенного внутри земного эллипсоида и сдвинутого на расстояние около 500 км от центра к востоку, что привело к появлению хорошо выраженных магнитных аномалий: отрицательных (Бразильской и Южно-Атлантической) и положительной (Восточно-Сибирской). Ось диполя, кроме того, повернута примерно на 11° к оси вращения Земли, поэтому магнитные полюса и магнитный экватор не совпадают с географическими. К тому же Северный магнитный полюс находится в Антарктике, а Южный — в Арктике.

Магнитное поле в магнитосфере по мере удаления от земной поверхности уменьшается, но даже на очень больших рас-

Рис. 1.26. Распределение линий равных I и B на высоте 300 км.



стояниях (в десятки тысяч км) дипольный характер поля сохраняется. На основании этого в 1961 г. для описания движения заряженных частиц в магнитосфере Земли были введены особые L , B -координаты. Размеры магнитосферы столь велики, что в качестве масштабного расстояния удобно пользоваться единицами, выраженными в радиусах Земли ($R_3 = 6370$ км). Величина L означает одновременно номер магнитной оболочки, удаленной от центра геомагнитного диполя в экваториальной плоскости на L земных радиусов. Эта оболочка образована совокупностью силовых линий, на которых в дипольном приближении с учетом реальностей в конфигурации магнитного поля заряженная частица (точнее, центр ее ларморовского вращения) находится в процессе всех движений. Параметр B характеризует магнитную индукцию. Карта L , B -координат для высоты 300 км над земной поверхностью представлена на рис. 1.26.

Форма магнитосферы определяется не только дипольным характером геомагнитного поля, но и влиянием скоростных потоков солнечного ветра, которые, во-первых, поджимают солнечную (дневную) часть магнитосферы, во-вторых, образуют на ночной стороне длинный хвост (рис. 1.27). Естественно, что L , B -координаты эффективны только во внутренней части магнитосферы (до нескольких земных радиусов), не возмущенной влиянием солнечного ветра. Из-за наличия собственного, «вмороженного» магнитного поля у плазмы солнечного ветра, а также особенностей магнитной топологии, в хвостовой части возможно проникновение частиц солнечного ветра в глубь магнитосферы и их ускорение при последующем движении к земной атмосфере. Здесь магнитосферу можно уподобить гигантской фокусирующей иммерсионной (ускоряющей) линзе [14]. Ее диаметр по крайней мере раз в десять больше диаметра земного шара, а площадь — в 100 раз.

Наибольшее число вторжений («высыпаний») заряженных частиц, прежде всего электронов, в верхнюю атмосферу происходит в районе низкоширотных границ полярных шапок, в авроральных зонах, т. е. зонах полярных сияний. Эти зоны расположены на геомагнитных широтах около 67° ночью и 75° днем, а их ширина достигает нескольких градусов в спокойных геомагнитных условиях, т. е. составляет не менее нескольких сотен км. Авроральные высыпания происходят почти постоянно, вызывая полярные («северные») сияния на тех же

широтах. В средних широтах выпадения значительно (в 10—1000 раз) слабее. Но в определенные периоды, во время сильных магнитосферных возмущений — мировых геомагнитных бурь — проникновение сильных потоков электронов и протонов в верхнюю атмосферу происходит вплоть до приэкваториальных широт.

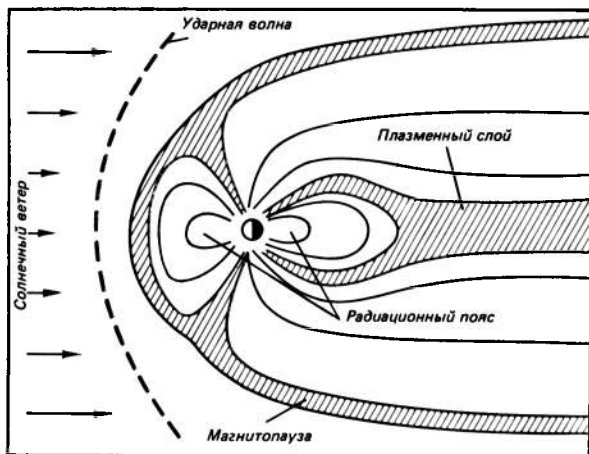


Рис. 1.27. Схема магнитосферы Земли, меридиональное сечение.

Заряженные частицы в магнитосфере участвуют в трех типах движений: ларморовском вращении вокруг силовой линии, колебательном перемещении по винтовой траектории вдоль силовых линий между северным и южным полушариями и дрейфовом движении по магнитной оболочке в долготном направлении вокруг Земли (электроны на восток, протоны на запад). Соответствующие периоды таких движений: T_b , T_k и T_d , пропорциональные, соответственно R_3^3 , R_3 и R_3^{-1} , где R_3 — радиус Земли) приведены на $L = 4$ для захваченных частиц в табл. 1.13. Захваченные частицы в отличие от выпадающих не проникают в верхнюю атмосферу из-за отражения в магнитном поле. Но при увеличении степени геомагнитной активности число выпадающих частиц растет, а захваченных уменьшается. Эта активность характеризуется различными параметрами, но наиболее общепринятым является индекс планетарной геомагнитной активности K_p . Его значение рассчитывается по данным непрерывных наблю-

дений за трехчасовой период двенадцати определенных среднеширотных станций и меняется от 0^+ до 9° по 28-балльной шкале с точностью до $1/3$, при этом степень активности возрастает по логарифмическому закону.

По результатам многолетних геофизических наземных и космических исследований получены многие характеристики выпадающих потоков заряженных, а также нейтральных ча-

Таблица 1.13

Характерное время движения захваченных частиц в магнитном поле Земли [370]

Частицы	T_v с	T_k с	T_d ч
Электроны			
1 кэВ	$7,4 \cdot 10^{-5}$	4,0	184
10	$7,5 \cdot 10^{-5}$	1,3	18,4
100	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0,46	1,5
1000	$2,2 \cdot 10^{-4}$	0,27	0,061
Протоны			
1 кэВ	0,14	172	184
10	0,14	54,5	18,4
100	0,14	17,2	1,8
1000	0,14	5,45	0,18

стиц (табл. 1.14). Днем потоки в среднем в 10 раз больше [251], за исключением авроральных широт, где ночные потоки немного превышают дневные. Обычно основное число выпадающих частиц составляют электроны, но по энергии потока в ночной зоне почти половина приходится на протоны [251]. Это связано с тем, что масса протона в 1836 раз больше массы электрона.

Для электронов с энергией более 100 кэВ обнаружено существование двух поясов выпадений с максимумом на $L = 1,4$ и 2,6, где выпадает до $10^3 - 10^4$ электронов/(см² · ср · с) [32]. С высотой на $L = 2,6$ потоки линейно растут, но ниже $H = 400$ км поток выпадающих электронов сильно зависит от уровня геомагнитной активности и при наличии возмущения может возрастать в десятки и сотни раз. Для электронов с энергией более 40 кэВ поток до 40–60 электронов/(см² · ср · с) наблюдается при $K_p = 3$ на $L = 2,7$ и $K_p = 4 - 5$ на $L = 2,1$ [32].

Особые условия возникают в районе отрицательных маг-

1. АТМОСФЕРА И СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Таблица 1.14

Основные характеристики высыпаний в ночной зоне при средней геомагнитной возмущенности [363]

Параметр	Приэкваториальная зона	Низкие широты	Средние широты
<i>L</i> -оболочка в центре зоны	Геомагнитный экватор	1,4	2,6
Геомагнитные широты, ...°	± 20	± 15	± 10
Тип частиц	Ионы, нейтралы	Электроны	Ионы, нейтралы, электроны (до 0,1 от потока протонов)
Энергия, кэВ	5 ÷ 100	< 20	10 ÷ 100
Высота проникновения, км	170	100	130
Питч-угол, ...°	90	≈ 90	≈ 80
Поток энергии на $H = 200$ км, 10^{-10} Вт/см ²	1	0,5	5
Вариации за 10 мин	Стабильные	Стабильные	Стабильные
Свечение атмосферы, рэлей (длина волны, нм)	1 (486,1)	0,5 (391,4)	1 (391,4) 500(630)

Параметр	Авроральная зона		Южная Атлантика
	протоны	электроны	
<i>L</i> -оболочка в центре зоны	4	5	≈ 1,4
Геомагнитные широты, ...°	± 10	± 10	
Тип частиц	Ионы, нейтралы	Электроны	Электроны, ионы, нейтралы
Энергия, кэВ	1 ÷ 100	1 ÷ 200	1 ÷ 200
Высота проникновения, км	100	70	70
Питч-угол, ...°	Изменчивый	Изменчивый	Изменчивый
Поток энергии на $H = 200$ км, 10^{-10} Вт/см ²	500	1000	10
Вариации за 10 мин	Изменчивые	Изменчивые	—
Свечение атмосферы, рэлей (длина волны, нм)	1000 (486,1) водородные дуги	2000 (391,4) авроральные дуги	20 (391,4)

нитных аномалий. Здесь геомагнитное поле слабее, и поэтому захваченные частицы проникают в верхнюю атмосферу Земли, а внутренний протонный радиационный пояс (с энергией протонов порядка десятков мэВ) заметен вплоть до высоты 400—600 км. Поэтому измерять вклад выпадающих частиц в районах Южной Атлантики и Бразилии сложно. В [249] получено, что в основном выпадаются электроны и средний поток составляет при этом $3 \cdot 10^{-10}$ Вт/см² в диапазоне энергий 0,2—26 кэВ.

В последние годы обсуждается вклад выпадений энергичных атомов, прежде всего водорода и ионов O^+ , в верхнюю атмосферу [284, 351, 356]. Они образуются, в частности, при перезарядке вторгающихся из магнитосферы частиц и могут вносить большой вклад в добавочное ионообразование. Обычно энергии таких частиц не превышают 20 кэВ, и они проникают только в *F*-область ионосферы [284, 356].

Наиболее сильному воздействию магнитосферных потоков верхняя атмосфера Земли подвергается в периоды сильных геомагнитных возмущений — магнитосферных мировых бурь.

Магнитосферная буря образуется последовательностью суббурь — элементарных магнитных возмущений, состоящих в свою очередь из трех основных фаз:

1) начальная (подготовительная) (или фазы зарождения), когда энергия, необходимая для возникновения суббури, постепенно отбирается от солнечного ветра и накапливается в хвосте магнитосферы;

2) главной (активной, или взрывной), которая характеризуется тем, что накопленная в хвосте магнитосферы энергия быстро высвобождается, при этом возникают сильные магнитные возмущения на земной поверхности, полярные сияния в умеренных широтах, а также атмосферно-ионосферные возмущения;

3) фазы восстановления, когда магнитное поле на поверхности Земли возвращается к исходному уровню.

Отдельные бури могут и не иметь всех этих признаков. Как правило, буря возникает после солнечной вспышки и связана с воздействием на магнитосферу солнечного ветра резко увеличенной мощности (с возрастанием скорости примерно до 1000 км/с и большей плотностью). После солнечной вспышки до внезапного начала геомагнитных бурь проходит в среднем 43 ч [208]. В случае последовательных вспышек, когда вторая

и следующие генерируют ударные волны, последние распространяются много быстрее и время до начала бури сокращается до 23 ч. Имеются мировые бури, перед которыми не зарегистрированы солнечные вспышки.

Детальные исследования поведения среднеширотных высыпаний на входе в земную ионосферу, на высоте 1000 км успешно проводились во время мировой магнитной бури 14–15 декабря 1970 г. на ИСЗ «Космос-381» с помощью фильтровой многоканальной аппаратуры [169]. Впервые были получены данные о временном поведении высыпающихся и захваченных потоков электронов с энергией 2–100 кэВ в средних широтах отдельно по магнитным оболочкам $L = 2-3$ и $3-4$ при K_p -индексе вплоть до 8^+ . Аппаратура позволяла работать в 11 спектральных интервалах и большом динамическом диапазоне интенсивностей. Основные выводы, сделанные в работе [169]:

1) потоки электронов во время бури увеличиваются, но это происходит далеко не одинаково и не постоянно;

2) до внезапного начала бури на всех исследуемых широтах ночные потоки меньше дневных;

3) самое раннее возрастание наблюдается у ночных потоков (примерно через 2 ч после внезапного начала, в южном полушарии иногда сразу после начала), при этом появляются высыпающиеся потоки;

4) перед появлением высыпающихся потоков обычно наблюдается резкое уменьшение существующих потоков вплоть до порога регистрации (в конце начальной фазы);

5) в центре главной фазы (на период до 2 ч) происходит очень резкое возрастание интенсивности потоков (особенно высыпающихся). Это возрастание еще в пределах главной фазы быстро сменяется столь же резким, но не столь глубоким спадом;

6) в фазе восстановления значения потоков варьируют и иногда уменьшаются до порога регистрации. Эти изменения квазисофазны.

В северном полушарии максимальная интенсивность потоков в период главной фазы достигает $2 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$, а в южном они еще больше. Через 1 ч эти потоки (см. п. 5) могут уменьшиться в 200 раз и более, а еще через 1–2 ч они снова начинают возрастать. Упомянутые пороги чувствительности равны $1,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ для электронов с энергией более 2,5 кэВ и $10^7 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ для электронов

с энергией более 25 кэВ. Спектр потоков во время бури становится более мягким и удовлетворительно описывается аппроксимирующей формулой вида $C(E/E_0)^{-\alpha}$, где α меняется от 1,4 до 2,5 в зависимости от широты и времени суток [169].

Из этих данных следует, что в период сильных магнитных бурь в средних широтах возможно появление высыпаний электронов с энергией потока, весьма обычной для зоны полярных сияний. Это и обеспечивает появление последних вплоть до низких широт, что постоянно наблюдается с борта пилотируемых орбитальных научных станций [14, 89, 125]. Временные особенности высыпаний также хорошо подтверждаются при визуальной регистрации среднеширотных полярных сияний космонавтами. Наиболее неожиданный результат, полученный по данным ИСЗ «Космос-381» [169] — резкое уменьшение интенсивности вторжения на начальной фазе бури (в течение примерно 1 ч) — позднее был полностью подтвержден данными спутников ГЕОС-1 и АТС-6 [52, 283].

В ряде работ (например, [32]) обсуждается возможность появления послебуревых эффектов через несколько дней, даже через неделю и более после магнитной бури, в течение которых регистрируется повышенная корпускулярная ионизация в нижней ионосфере. Представляется, что это пока не полностью доказано. На наш взгляд, они могут быть связаны с действием других переменных источников ионообразования, например рассеянного излучения геокороны. Этому вопросу будет посвящен п. 4.4.

Как выясняется в последние годы, высыпания магнитосферных частиц могут быть связаны и с такими метеорологическими событиями, как грозы, и с антропогенными воздействиями, например радиоволн, особенно ОНЧ диапазона [41].

Важным аспектом солнечно-земных связей является состояние межпланетного магнитного поля (ММП). Оно существует благодаря распространению от Солнца солнечного ветра с вмороженным магнитным полем. Таким образом, все вариации ММП также определенным образом связаны с колебаниями параметров ветра, которые возбуждаются различными процессами в атмосфере Солнца [80]. Очень быстрые изменения параметров ММП происходят после протонных вспышек. ММП имеет секторную структуру и прохождение Земли через границы секторов воздействует на магнитосферу и ионосферу,

так что именно в это время появляются аномальные потоки частиц, особенно протонов с низкой энергией.

Направление полного вектора ММП не совпадает с направлением Земля — Солнце, поэтому все его три компонента: радиальный B_x (от Солнца и к Солнцу), азимутальный B_y и вертикальный B_z — имеют ненулевые значения. Особенно важным с точки зрения геофизической активности является знак компонента B_z . Возникновение магнитных бурь и соответствующие сильные среднеширотные высыпания связаны преимущественно с большими отрицательными значениями B_z . Эффект смены знака B_y исследован мало [102]. Из-за определенности закономерности в топологии ММП наблюдается статистическая связь между знаками B_x и B_y ($+B_x$ соответствует $-B_y$). В субавроральной и авроральной зонах повышенная активность наблюдается при положительном B_y .

С параметрами ММП связаны не только магнитосферно-ионосферные явления. Ряд явлений, связанных с секторной структурой ММП, обнаружен и в нижних слоях атмосферы, в том числе в тропосфере [107]. Это грозовая активность и другие метеорологические явления, изменения электрических параметров атмосферы. Они связываются с проникновением из магнитосферы электрических полей.

Все солнечно-магнитосферно-ионосферные эффекты, рассмотренные выше, проявляются в оптических характеристиках верхней атмосферы, что хорошо наблюдается даже визуально с борта пилотируемого космического аппарата [8, 12, 14, 170]. Основные результаты таких исследований будут описаны ниже.

1.4. Проблемы прогноза состояния ионосферы

Орбиты современных пилотируемых космических кораблей и долговременных орбитальных станций расположены в самой сердцевине ионосферы — в ее главном максимуме ионизации. Поэтому важным и актуальным является как знание текущего состояния ионосферной плазмы, так и возможность прогноза всей геофизической обстановки на орбите. Гелиогеофизическая активность может не только влиять на самочувствие и здоровье экипажа космонавтов, но и на выполнение ими поставленных задач. Появлению различных нарушений

и аномалий в работе оборудования космического аппарата (КА) способствует накоплению заряда на его поверхности и элементах конструкции. Серьезной проблемой при проведении бортовых астрофизических экспериментов является наличие оптического свечения различных ионосферных областей, в том числе расположенных выше орбиты. Дело в том, что ионосферная плазма излучает довольно многочисленные характеристические линии и полосы в обширной области спектра, в том числе в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Поэтому при планировании и проведении различных прецизионных внеатмосферных астрономических наблюдений с борта пилотируемого низкоорбитального КА необходимо учитывать наличие сильно зависящего от состояния ионосферы фонового излучения ионосферных компонентов. В последние годы (см. п. 4.1) обнаружено наличие дополнительного оптического свечения у самой поверхности КА, обусловленного возбуждением окружающей среды. Очевидно, что и интенсивность этой оптической помехи, настолько сильной, что ее видно невооруженным глазом, определяется состоянием окружающих слоев ионосферы. Наконец, проблема достижения высокой точности прогнозирования распространения радиоволн для целей радиосвязи, радионавигации и радиолокации также неотделима от знания состояния ионосферы. Исследование ионосферных процессов, создание различных моделей ионосферы с целью прогноза ее состояния есть задача физики ионосферы.

В современной физике ионосферы существует ряд настоящих проблем. Весьма актуальна проблема источников ионообразования, прежде всего в ночных условиях. Такие работы для среднеширотной ионосферы появляются постоянно, при этом для E -области, например, рассматриваются две возможности: корпускулы (преимущественно электроны, высыпающиеся из магнитосферы) и ультрафиолетовое солнечное излучение, резонансно рассеянное в геокороне на ночную сторону, а также ультрафиолетовая радиация от звезд. В ряде работ по исследованию вклада в ионообразование наблюдаемых на спутниках потоков вторгающихся электронов (например, [251]) подтверждается существенная роль корпускулярного источника. При этом в спокойных условиях он вносит вклад в D - и E -области, а в возмущенных и в нижней части F -области. До недавнего времени считалось, что ночной источник

ионизации в F_2 -области отсутствует. Однако наблюдения, проводимые второй основной экспедицией на орбитальной научной станции «Салют-6», позволили обнаружить (см. п. 4.4), что в некоторые геофизические периоды солнечные вспышки вызывают заметную дополнительную ионизацию и свечение F -области ночной среднеширотной ионосферы [14, 144, 145, 170]. В [8, 14, 170] это было интерпретировано как воздействие излучения солнечной вспышки, резонансно рассеянного в геокороне, на ночную сторону в линиях He , He^+ и особенно O^{++} . В таких случаях возможно усиление процессов возбуждения и ионизации и в нижней ионосфере, в том числе за счет вклада радиации водородных линий солнечной вспышки, резонансно рассеянных на атомах водорода в геокороне. Важно отметить, что обнаружение реакции ночной верхней атмосферы на солнечные вспышки позволяет определять те пороговые условия, которые необходимы для возмущения различных слоев ионосферы. Ведь до сих пор, например, малые (до $\pm 20\%$) флуктуации критической частоты слоя F объяснения не имеют [18].

Рассеянное геокороной излучение — не единственный канал связи дневной и ночной частей верхней атмосферы и ионосферы. Ультрафиолетовое излучение в молекулярных полосах азота и кислорода посредством многократного рассеяния также может проникать на ночную сторону. Согласно [231], многократное рассеяние в полосах Лаймана — Бёрджа — Хопфильда и Бёрджа — Хопфильда, распространяясь преимущественно на высоте около 100 км, способно, по-видимому, достигать ночной ионосферы. Здесь особую роль играет степень колебательного возбуждения верхнеатмосферных молекул азота. На принципиальную возможность подобного механизма распространения ультрафиолетовой радиации указывалось Бейтсом (см. [203]) для условий авроральной ионосферы. Такое излучение участвует в оптическом возбуждении, фотодиссоциации и разогреве различных областей ионосферы [14, 375]. Активная роль этого излучения в ионосферных процессах приводит к резкому уменьшению светимости верхней атмосферы в ультрафиолетовой области [375]. В [14] предложено учитывать это излучение при объяснениях предсумеречного усиления линий 630 и 557,7 нм, механизмы которого до сих пор не ясны [217]. В частности, независимость этого эффекта для 630 нм от номера магнитной оболочки плохо согласуется с гипо-

тезой о приходе плазмы либо электронов из сопряженной ионосферы, уже освещенной Солнцем [239].

В аэронемии дневной ионосферы постоянно обсуждается энергетическая проблема, т. е. вопрос о нехватке ионизирующих потоков солнечной энергии, необходимой в рамках существующих представлений для объяснения наблюдаемой степени ионизации верхнеатмосферных компонентов. Эта проблема связана как с недостатком наших знаний об эффективности ионосферных процессов, так и с отсутствием до настоящего времени адекватной информации об абсолютных величинах потоков коротковолновой солнечной радиации.

Такое положение с нашими знаниями о потоках ионизирующего излучения Солнца постоянно приводит к появлению работ, в которых на основании решения обратной задачи делается оценка потоков, необходимых для поддержания измеряемой ионизации. И хотя в основном получается, что общепринятых величин солнечных потоков не хватает [141, 269, 271, 331], во многих работах обсуждается необходимость уточнения самих ионосферных расчетов [2, 49, 76, 188, 224, 324]. В работе [2] предлагается до получения адекватной информации об абсолютных величинах солнечных ионизирующих потоков основной упор сделать на улучшение методов ионосферного моделирования.

Важным проблемным вопросом ионосферного моделирования является оценка степени точности приближенного метода расчета полной скорости ионообразования под действием коротковолновой части ионизирующей радиации Солнца через введение понятия эффективного сечения.

Метод эффективного сечения ионизации является основным в физике ионосферы. Потоки солнечного излучения, которые образуют в атмосфере энергичные фотоэлектроны, способные вновь ионизовать атмосферные газы посредством ударной ионизации, составляют по энергии более 60% всего ионизирующего ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца [51]. Поэтому учет вторичной ионизации фотоэлектронами совершенно необходим даже в спокойных условиях и тем более в периоды вспышек на Солнце. Вместе с тем развиваемые в последние два десятилетия точные методы расчетов скорости ионообразования с получением спектров фотоэлектронов и вторичных электронов считаются (и это вполне соответствует действительности) слишком сложными.

Следовательно, весьма актуальной задачей становится выявление погрешности, вносимой в ионосферное моделирование при введении приближения эффективного сечения. Это можно сделать, если проводить одновременно расчеты скорости ионизации фотоэлектронами. Такая задача ранее ставилась [13], но была решена без учета Оже-электронов [6] и энергичных фотоэлектронов (с энергией более 300 эВ).

В работах [9, 178] роль Оже-электронов и энергичных фотоэлектронов в ионообразовании была определена как в спокойных условиях, так и во время солнечных вспышек. При этом в [9] было показано, что уже в спокойных условиях (при средней солнечной активности) добавочное ионообразование электронами превышает вклад прямой фотоионизации полным потоком коротковолнового излучения Солнца. Ионизация электронами становится определяющей даже при средних солнечных вспышках.

В настоящее время расчеты добавочного ионообразования через эффективное сечение проводятся, как правило, с использованием двух модификаций выражения для скорости ионизации:

$$\Delta q(H) = \sum_i N_i \int \Phi_\lambda \cdot \sigma_\lambda^i \left(\frac{38,7}{\lambda} - 1 \right) d\lambda, \quad (1)$$

$$\Delta q(H) = \sum_i N_i \int \Phi_\lambda \cdot \sigma_\lambda^i \left(\frac{38,7}{\lambda} - 0,5 \right) d\lambda, \quad (2)$$

причем обычно ограничиваются интегрированием по $\lambda \leq 25,0$ нм (1). Величина $38,7/\lambda$, где λ в нанометрах означает, что на один акт ионообразования затрачивается постоянная порция энергии (W), равная 32 эВ. В формулах (1) и (2) остальные обозначения обычные: N_i — концентрация i -й составляющей по данной высоте (H), Φ_λ — дошедший до этой высоты поток солнечного излучения и σ_λ^i — сечение прямой фотоионизации, равное сечению фотопоглощения.

Замена в формуле (2) в скобках единицы на 0,5, предложенное в [77] для области длин волн около 10,0 нм, связывается с предположением, что на один акт фотоионизации тратится в среднем не 32 эВ, а 16 эВ. Это, однако, не вполне справедливо, особенно в рентгеновской области спектра и противоречит смыслу метода эффективного сечения. Действительно, значение W определяется в лабораторных экспериментах, исходя из

числа образованных ион-электронных пар в расчете на полную энергию кванта, а не фотоэлектрона.

Оценим среднюю энергию фотоионизации на примере атома кислорода. При длинах волн ионизирующего излучения вблизи порога ионообразования парциальное сечение фотоионизации самого наружного $2p$ -электрона целиком определяет полное сечение фотоионизации. Однако по мере роста энергии

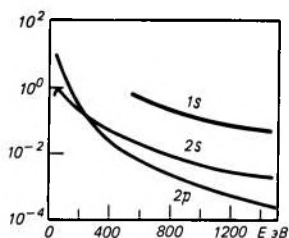


Рис. 1.28. Сечения фотоионизации различных оболочек атома кислорода. По [374].

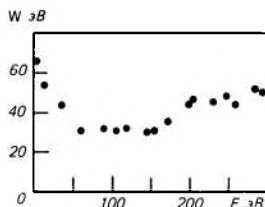


Рис. 1.29. Зависимость энергии, идущей на один акт ионизации W , от энергии электронов. По [222].

кванта сечение ионизации $2p$ -электрона быстро падает и при длине волны короче 7,0 нм становится меньше сечения фотоионизации внутренней $2s$ -подоболочки наружной оболочки (рис. 1.28). Далее сечение фотоионизации $2s$ -электрона с потенциалом ионизации около 29 эВ все более определяет полное сечение фотоионизации атома кислорода, составляя в области 2,6–2,3 нм 75 % всего сечения. Кроме фотоионизации в основном состоянии иона O^+ в процессе испускания $2s$ -электрона, начиная с энергии кванта 50 эВ, происходит образование преимущественно возбужденного иона в состоянии 2P , энергия которого (относительно основного уровня атома кислорода) составляет около 40 эВ. Поэтому энергия, идущая на один акт в фотоионизации атома кислорода излучением с длинами волн 7,0–2,3 нм составляет 25,5–31 эВ. На самом деле она еще примерно на 5 эВ больше, если принять во внимание существование процесса двукратной фотоионизации атомарного кислорода [3]. Сечение этого процесса составляет около 0,1 от сечения однократной фотоионизации при $\lambda \sim 12,0$ нм, а пороговая энергия равна 48,7 эВ. Фактически заметный вклад (2 эВ и более) процесса двукратной фотоионизации в полную энергию фотоионизации наблюдается от 20,0 нм и ниже. Поэтому, например, при 10,0 нм полная энергия фотоионизации равна 28 эВ, а не 16 эВ, как предполагалось в [77]. Наконец, при длине волны короче K -скачка поглощения ситуация меняется,

и энергия, идущая на фотоионообразование одной ион-электронной пары, уменьшается. Действительно в данной ситуации в подавляющем числе случаев образуются двухзарядные положительные ионы (через эффект Оже), т. е. две ион-электронные пары. На образование иона O^{++} идет 48,7 эВ, а ионов N_2^+ и O_2^+ соответственно 42,7 и 35,5 эВ. Более половины этих ионов при эффекте Оже образуется в возбужденных состояниях, лежащих выше основного на $4 \div 6$ эВ. Таким образом, при $\lambda \lesssim \lambda_k$ на образование одной ион-электронной пары при фотоионизации атомарного кислорода затрачивается около 28 эВ, для N_2 и O_2 соответственно около 25 и 20 эВ.

Аналогичные изменения энергии, идущей непосредственно на фотоионизацию, наблюдаются и для молекул азота и кислорода, но подробные данные важны только для атома кислорода — основной составляющей на тех высотах, где поглощается очень мягкое рентгеновское излучение. Именно в этом случае энергетика первого акта сказывается наиболее существенным образом на добавочном ионообразовании.

Основной характеристикой в методе эффективного сечения ионизации является энергия, идущая на образование одной ион-электронной пары (W). Ее исследования интенсивно проводились в первой половине нашего столетия; соответствующий обзор вышел в 1958 г. [358]. Из этих исследований для целей настоящей работы можно сделать следующее заключение. Во-первых, для рентгеновского излучения и электронов с энергией E более $4 \div 6$ кэВ величина W для воздуха составляет в среднем 31—35 эВ, причем для O_2 она меньше, а для N_2 больше, но в пределах $\pm 10\%$. В целом получена положительная корреляция между W и потенциалом ионизации. Предложены эмпирические формулы для функции $W(E)$, показывающие слабую обратную зависимость [248, 348]. Такие формулы экспериментально хорошо проверены лишь при энергиях более 20 кэВ [367]. Во-вторых, при первичной энергии E от 4 до 1 кэВ значение W начинает сильно возрастать, достигая при $E \sim 1$ кэВ 45 эВ [287, 288]. Наконец, для низких энергий (менее 1 кэВ) сведения неоднозначны [323], но по целому ряду данных вплоть до 200 эВ значение W постоянно достигает не менее 45 эВ [287] и лишь затем начинает падать, доходя до минимальных значений (для азота и воздуха) 30—34 эВ в диапазоне первичных энергий $165 \div 50$ эВ [222]. При совсем малых энергиях (по крайней мере, ниже 30 эВ) величина W снова постоян-

но растет [222]. Эти выводы хорошо иллюстрируются табл. 1.15.

Диапазон совсем малых энергий (ниже 200–300 эВ) дан на рис. 1.29.

Все эти экспериментальные результаты находятся в согласии с работами по ионизации электронным ударом. Согласно данным по ряду инертных газов [140, 315], для атома кислорода

Таблица 1.15

Значения W (эВ) в зависимости от E_e для воздуха по данным различных работ

Источник	E_e эВ							
	200	300	400	500	600	800	1000	2000
[323]	—	42,5	41,3	40,6	40,0	38,9	38,0	36,1
[287]	48,2	44,8	45,0	43,5	47,1	45,4	47,0	—
[288]	—	47,0	45,7	43,9	48,0	44,4	46,1	—

да следует ожидать максимума энергии вторичных электронов при энергии $E \sim 500$ эВ. Применив данные для наиболее изученного атома аргона к атому кислорода, с учетом соотношений парциальных сечений ионизации и возбуждения можно получить значения W , приведенные в 1-й строке табл. 1.16.

Таблица 1.16

Теоретические значения W (эВ) при малых значениях E_e

Вещество	E_e эВ							
	18	20	30	40	50	80	100	500
Атом О	45,0	35,0	26,2	24,7	24,5	—	27,9	31,5
Атом О по [13]	48,0	35,8	25,0	24,6	24,6	24,6	—	—
N ₂ по [13]	70,0	50,0	—	33,5	33,5	33,5	—	—
O ₂ по [13]	22	23	—	27,3	28,0	29,0	—	—

В следующих строках этой таблицы представлены результаты расчетов W по работе [13]. Согласие всех данных между собой и с эмпирическими результатами, обсужденными ранее, вполне удовлетворительное.

Резко отличаются от этих данных результаты работы [278], которые следует признать завышенными примерно в 1,5 раза как для О, так и для N₂ и O₂ (в диапазоне энергии менее 150 эВ). Однако для молекул N₂ и O₂ есть согласие данных

[278] с экспериментом при $E_c = 200 - 3000$ эВ, где значение $W \sim 45$ эВ. Надо подчеркнуть, что в ранних работах по моделированию процессов ионизации в верхней атмосфере Земли под действием рентгеновского излучения (например, [132]) последнее обстоятельство учитывалось путем введения эмпирических соотношений между W и энергией рентгеновских квантов (табл. 1.17).

Таблица 1.17

Средняя энергия W для рентгеновского излучения с $\lambda \leq 0,6$ нм [132]	λ нм	0,6	0,4	0,2	0,062	0,031	0,0124
	E кэВ	2,07	3,1	6,2	20	40	100
	W эВ	46,0	41,3	37,6	36,1	36,1	35,0

Однако в упрощенном варианте метода эффективного сечения, а именно при расчетах по формулам (1) и (2), эта зависимость $W(E)$ уже не учитывается. В [215] предлагалось вообще до длины волны 3,1 нм брать для атомарного кислорода $W \approx 50$ эВ. При больших энергиях квантов в [215] предложены следующие значения W :

L нм	7,0	5,0	3,5
E эВ	177	248	354
W эВ	59	52	50,7

Однако эти значения противоречат приведенным выше энергетическим оценкам в рамках физики электронно-атомного столкновения (с учетом энергии, идущей на ионизацию, возбуждение и переданной испускаемому электрону). Отметим также, что в среднем значение W по всему спектру энергии ионизирующего излучения действительно составляет 35 эВ, поэтому при расчетах интегральной (в столбе ионосферы) скорости ионообразования ошибка, связанная с пренебрежением зависимостью $W(E)$, ярко проявляющаяся в высотном профиле $\Delta q(H)$, в целом несколько нивелируется.

Рассмотрим результаты одновременных расчетов Δq приближенным (по формулам (1) и (2)) и точным (с определением полного спектра фотоэлектронов до энергии, равной 600 эВ) методами на высоте средней ионосферы 250–95 км (рис. 1.30). В этой высотной зоне в дневной ионизации активно участвует рентгеновское излучение с длиной волны короче 30,0 нм, т. е. с энергией квантов более 40 эВ, где, согласно проведенному рассмотрению, значение W может наиболее сильно отличаться от традиционного значения, равного 32 эВ. На рис. 1.30 приве-

дены высотные профили скоростей добавочного ионообразования фотоэлектронами, включая Оже-электроны (кривая $1a$), по формуле (1) с интегрированием по $\lambda \leq 38,7$ нм (кривая $1b$), по формуле (1) с интегрированием по $\lambda \leq 25,7$ нм (кривая $1в$), по формуле (2) с интегрированием по $\lambda \leq 25,7$ нм (кривая $1z$), а также скорость прямой фотоионизации (кривая 2). Расчеты проводились для зенитного угла Солнца 70° , $F_{10,7} = 210$, зимнего солнцестояния.

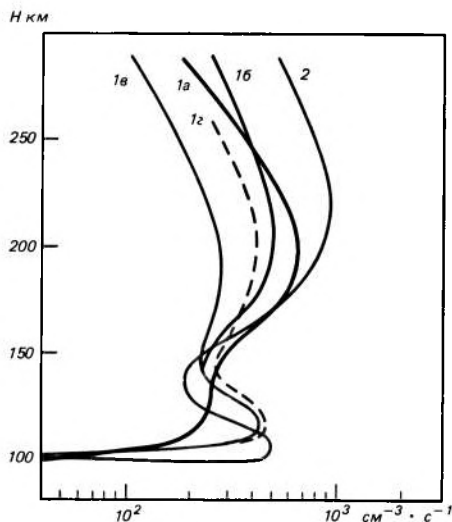


Рис. 1.30. Высотный профиль ионообразования, рассчитанный различными способами с использованием метода эффективного сечения.

Из рис. 1.30 следует, что приближенный метод завышает Δq в 1,5–2 раза на высоте области E (ниже $130 \div 150$ км) и занижает на высоте области $F1$ ($150–250$ км). Причем это занижение наиболее сильно для расчетов по формуле (1), если интегрирование ограничено длиной волны 25,0 нм. Если же используется формула (2) (см., например, [13, 77]), то обычный предел интегрирования ($\lambda = 25,0$ нм) дает более точные значения наверху рассматриваемой области и еще более завышенные внизу (кривая $1z$). Ближе всего к точному расчету выше уровня 150 км оказывается кривая $1b$, но и эта скорость ионообразования занижена по сравнению с точным расчетом примерно в 1,4 раза.

Надо подчеркнуть, что наиболее ценной и однозначной на

рис. 1.30 является качественная сторона информации о погрешностях метода эффективного сечения ионизации. Ведь количественные соотношения скоростей ионообразования при точном и приближенном методах расчета будут различаться в зависимости от нейтрального состава, местного времени и солнечного спектра. Все качественные выводы, а именно занижение в существующем методе эффективного сечения скорости ионизации выше 150 км и сильное завышение внизу по сравнению с точным методом расчета на основе определения полного (включая фото- и Оже-электроны) спектра электронов ионизации в дневной ионосфере вплоть до энергии в 600 эВ [9, 178], подтверждают результаты проведенного выше анализа по зависимости $W(E)$. Действительно, наверху, где средняя энергия электронов, освобождаемая при ионизации, составляет 25–80 эВ, а основным компонентом является атомарный кислород, значение $W \sim 25$ эВ (см. табл. 1.16), т. е. примерно в 1,4 раза ниже традиционного значения 32 эВ, используемого в формулах (1) и (2). Ниже 130–150 км средняя энергия электронов достигает 100–300 эВ, а основной составляющей является молекулярный азот. В этом случае $W \sim 45$ эВ, т. е. в 1,4 раза выше, чем используемое до сих пор значение.

Итак, на основе проведенного анализа ошибок, вносимых в расчетный высотный профиль скорости ионообразования применением приближенного метода эффективного сечения фотоионизации, получены выводы о необходимости учета в такой методике существующей зависимости $W(E)$. Данные по совокупности сведений о значении W , а также об энергии фотоэффекта в различных диапазонах длин волн подтверждают возможность существенного снижения погрешности приближенного метода расчета добавочного ионообразования. При этом существующие приближенные значения скоростей ионообразования под действием рентгеновского излучения Солнца выше 130–150 км (в FI -области) занижаются в 1,5–2 раза, а ниже (в E -области) завышаются до двух раз по сравнению с результатами точного расчета [9], учитывающего как энергичные фотоэлектроны с $E > 300$ эВ, так и Оже-электроны из основных верхнеатмосферных составляющих.

ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

2.1. Особенности зрительного восприятия в космосе

В условиях космического полета существенно возрастает объем и значение информации, поступающей к космонавту через зрительную систему. Это объясняется тем, что в условиях невесомости отключается часть механорецепторов [202]. В наземных условиях через зрительную систему поступает около 90 % всей воспринимаемой человеком информации. При полете в космосе роль зрения как основного информационного канала человека-оператора становится еще более важной. Большая часть выполняемых в полете космонавтом операций осуществляется при активном участии зрительной системы. Это относится и к управлению космическим кораблем, и к операциям по контролю за показаниями приборов, и к визуальным наблюдениям атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли, звезд и планет, зодикального света и т. д. Даже простые двигательные акты и такие операции, как перемещение внутри корабля или в открытом космосе, выполняются с помощью зрительной системы. Это особенно характерно для периода адаптации к условиям невесомости, когда еще не восстановлена координация движений. По-видимому, можно считать, что в космосе зрение дает человеку-оператору около 95 % всей информации от внешнего мира [202]. Это свидетельствует об исключительной важной роли зрения космонавта при выполнении космического полета. Естественно, что зрительная система должна функционировать достаточно надежно, а поступающая через нее информация о внешнем мире должна быть столь же адекватной, как и в привычных земных условиях [97].

В связи с этим возникает необходимость изучить влияние условий космического полета на наиболее важные функции зрительной системы. Основными характеристиками функции зрительной системы являются частотно-контрастная при различных уровнях яркости, спектроэнергетические, обычно представляемые в виде пороговой чувствительности и кривых относительной видности монохроматического излучения при

различных условиях освещения, функции цветового зрения и инерция зрительной системы.

Сравнение зрения человека с известными в настоящее время оптическими системами позволяет выделить некоторые наиболее ценные характеристики зрительной системы человека [97, 202]:

а) высокая пороговая чувствительность зрительной системы человека в видимой области спектра, достигающая по

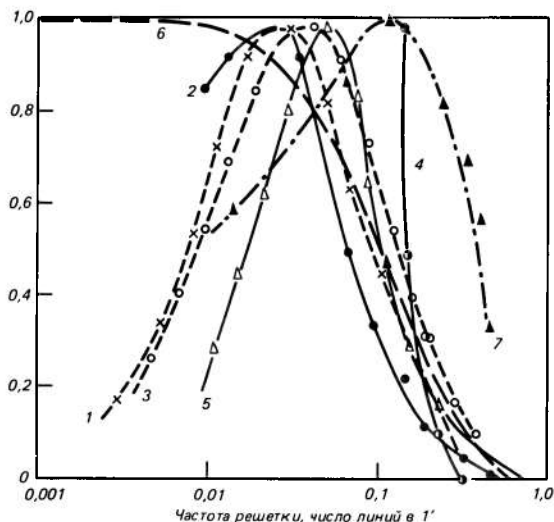


Рис. 2.1. Частотно-контрастная характеристика зрительной системы по данным разных авторов [163].

1 — при яркости фона адаптации 64 кд/м^2 ; 2 — при 32 кд/м^2 ; 3 — при 14 кд/м^2 ; 4 — при 68 кд/м^2 ; 5 — при 34 кд/м^2 ; 6 — частотно-контрастная характеристика оптической системы глаза; 7 — при измерении в условиях сверхпороговой различимости.

лучистому потоку 10^{-17} Вт в максимуме спектральной чувствительности ночного зрения для длины волны 510 нм (это соответствует потоку около 25 квант/с для этой длины волны);

б) большой динамический диапазон (более 200 дБ), характеризующийся способностью работать в условиях огромных изменений яркости (от 10^{-5} до 10^5 кд/м^2) и освещенности;

в) высокая контрастная чувствительность (лучше 10^{-2} при благоприятном уровне яркости и угловом размере объектов);

г) хорошая разрешающая способность в достаточно большом поле зрения (лучше $1'$ при благоприятных условиях освещения и высоком контрасте);

д) достаточно высокое цветоразличение (пороговое различение длин волн в видимой области спектра до 1 нм);

е) способность длительное время работать с предельной возможностью;

ж) малая инерционность (постоянная времени около 0,05–0,2 с, что сравнительно невелико при учете громадного объема одновременно обрабатываемой информации).

Особенно важно то, что эти исключительные качества сочетаются в одной зрительной системе. Можно создать оптическую систему с более высоким пространственным или спектральным разрешением, с более высокой пороговой чувствительностью по освещенности, но, по-видимому, невозможно создать оптическую систему, обладающую всеми перечисленными качествами одновременно, точно также не удастся создать оптическую систему с более высокой контрастной чувствительностью и с таким большим динамическим диапазо-

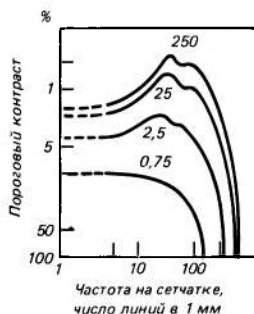


Рис. 2.2. Пороговые контрасты зрительной системы при яркости фона от 0,75 до 250 кд/м² [164].

ном. Уникальное сочетание столь выдающихся качеств позволяет надежно использовать зрительную систему космонавта как одно из важнейших средств исследования природной среды из космоса.

При анализе результатов визуальных наблюдений из космоса значительную роль играет частотно-контрастная характеристика зрительной системы и значения пороговых контрастов при различных условиях освещения и угловых размерах объектов. На рис. 2.1 приведены частотно-контрастные характеристики зрительной системы, полученные рядом авторов при уровнях яркости фона 14–68 кд/м², а на рис. 2.2 показана зависимость пороговых контрастов зрительной системы от угловых размеров объектов при уровнях яркости фона

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

0,75–250 кд/м² [164]. Как видно из рис. 2.1 и 2.2, пороговые контрасты имеют минимум, а частотно-контрастная характеристика достигает максимума для объектов с угловыми размерами $10' \div 30'$ при уровнях яркости фона, превышающих 2,5 кд/м². Пороговые контрасты зрительной системы резко ухудшаются при низких уровнях яркости и освещенности. На рис. 2.3 изображены кривые пороговых контрастов зрительной

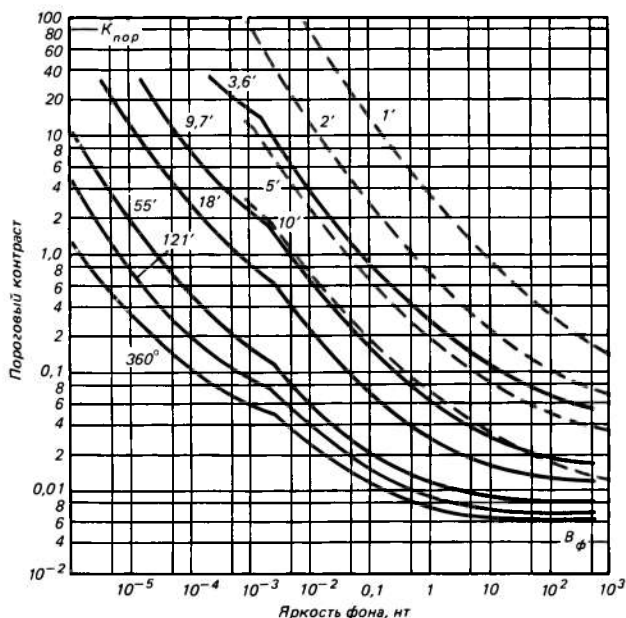


Рис. 2.3. Порог контрастной чувствительности зрительной системы при разных уровнях яркости фона и угловых размерах объекта [8].

системы в зависимости от яркости фона B_{ϕ} для различных угловых размеров объекта. Здесь контраст $K = \Delta B/B_{\phi}$, где ΔB — превышение яркости объекта относительно яркости фона [8]. При нормальных условиях освещения зрительная система человека обладает очень высокой контрастной чувствительностью, достигающей в наиболее благоприятных условиях наблюдения 1–2%. Для сравнения приведем значения пороговых контрастов оптической аппаратуры: у фотоаппаратов она не лучше 10–15%, у телевизионной аппаратуры — не лучше 20–25%. С уменьшением уровня яркости контрастная чув-

ствительность зрительной системы существенно ухудшается. При этом, в отличие от нормальных условий наблюдения, пороговые контрасты зрительной системы очень сильно зависят от индивидуальных особенностей зрительной системы наблюдателя.

Хорошо известно, что ночью одни наблюдатели лучше видят и различают предметы, а другие хуже. При этом неко-

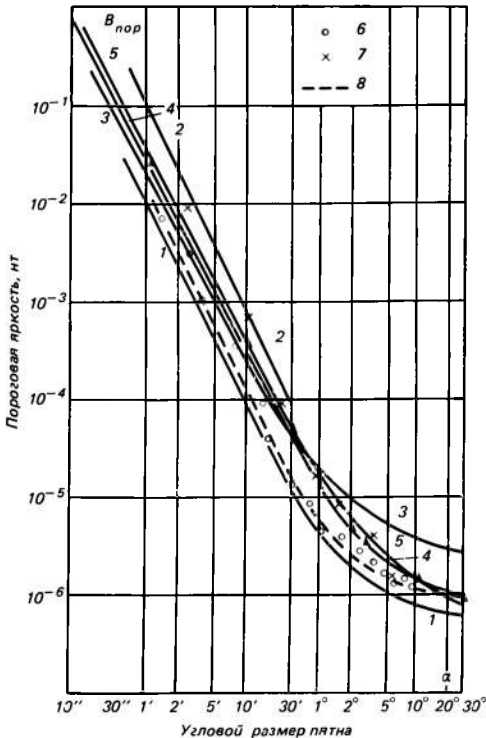


Рис. 2.4. Пороговая чувствительность зрительной системы в зависимости от угловых размеров объекта для разных наблюдателей [110].
1 — Арндт (1935—1939), 2 — Гельгофф и Шеринг (1919); 3 — Боума (1939); 4 — Самсонова (1946), 5 — Вайгель (1940—1942), 6 — Арпульф и Вайнштейн (1946), 7 — Ривс (1917), 8 — расчетная кривая по Муну и Спенсеру.

торые люди вообще не ориентируются в условиях безлунной темной ночи. Возможно, что это связано с различными уровнями как пороговой чувствительности зрительной системы, так и пороговых значений контрастной чувствительности. В качестве примера на рис. 2.4 показана зависимость пороговой чувствительности зрительной системы от углового размера объектов для разных наблюдателей [110]. Поэтому резуль-

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

таты визуальных наблюдений космонавтов на ночной стороне Земли могут быть различными. Это особенно характерно при визуальных наблюдениях самых слабых источников излучения, таких, как второй эмиссионный слой, зодиакальный свет и т. д. Так, например, одни космонавты отчетливо различали лучевую структуру как зодиакального света, так и второго эмиссионного слоя, другие же различали ее не во всех случаях. Некоторые космонавты вообще не различали каких-либо структурных образований ни в зодиакальном свете, ни во втором эмиссионном слое.

Спектральная чувствительность зрительной системы также зависит от уровня яркости и освещенности. Максимум спектральной чувствительности зрительной системы при уменьшении уровня яркости смещается в сторону коротких длин волн. Эта зависимость положения максимума спектральной чувствительности зрительной системы от яркости и освещенности носит название эффекта Пуркинье. В табл. 2.1 приведены значения относительной видности монохроматических излучений для значений яркости адаптации в интервале от 10^{-5} до 10^2 кд/м². Если при дневном освещении максимум спектральной чувствительности зрительной системы находится около

Таблица 2.1

Относительная видность монохроматических излучений в зависимости от яркости адаптации [104]

Длина волн, нм	Относительная видность при яркости адаптации, кд/м ²							
	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2
380		0.000589						0.0000
400		0.00929		0.00929	0.002	0.0007	0.0005	0.0004
420		0.0926		0.097	0.022	0.008	0.006	0.004
440		0.328		0.310	0.087	0.031	0.027	0.023
460		0.567		0.510	0.240	0.077	0.068	0.060
480		0.793		0.710	0.480	0.180	0.160	0.139
500		0.982		0.900	0.750	0.430	0.370	0.323
520		0.935		0.995	0.960	0.810	0.760	0.710
540	0.650	0.650	0.680	0.890	0.985	0.984	0.970	0.954
560	0.329	0.350	0.370	0.600	0.860	0.970	0.987	0.995
580	0.121	0.130	0.180	0.330	0.590	0.810	0.840	0.870
600	0.0331	0.043	0.076	0.170	0.320	0.550	0.590	0.631
620	0.00737	0.013	0.029	0.068	0.150	0.310	0.350	0.381
640	0.00150	0.0039	0.010	0.026	0.055	0.130	0.150	0.175
660	0.000313	0.0009	0.0024	0.0063	0.019	0.042	0.056	0.061
680	0.0000715	0.0002	0.0006	0.0016	0.004	0.011	0.014	0.017
700	0.0000178	0.00005	0.0001	0.0004	0.001	0.0027	0.0033	0.0041
720	0.0000048							0.00105
740	0.0000014							0.00025
760	0.0000004							0.00006
780	0.00000014							0.000015

555 нм, то при ночном он расположен около 510 нм, а для сумеречных условий около 530—540 нм [104].

Условия космического полета существенно отличаются от нормальных условий жизнедеятельности человека, в том числе и от привычных условий работы зрительной системы. В условиях космического полета на человека-оператора и его зрительную систему оказывают влияние невесомость, длительная изоляция экипажа, повышенная эмоциональная напряженность, особенно во время старта и посадки космического корабля, недостаток или избыток яркости и освещенности, сравнительно частое чередование адаптации к свету и темноте, быстрая смена контрастов, в том числе и цветовых, и т. п. Все эти факторы, по-видимому, отрицательно действуют на основные функции зрения космонавта. Вместе с тем вполне возможно, что отдельные функции зрения изменяются не только в худшую, но и в лучшую сторону, что в некоторых случаях может способствовать частичной или даже полной компенсации изменения некоторых функций зрения.

Состояние невесомости может вызвать дискоординацию движений глаз и нарушение мелких движений глаз, существенных для опознавания объектов небольших размеров, а также повлиять на разрешающую способность и контрастную чувствительность зрительной системы. Невесомость приводит и к изменению кровоснабжения мозга, в том числе и коркового конца зрительного анализатора, сетчатой оболочки. А это может повлиять на зрительные функции, так как при этом меняется питание нервных клеток. На зрение космонавтов определенное влияние оказывают эмоциональные факторы космического полета и вестибулярные раздражители.

В сложных условиях космического полета нет возможности проводить исследование влияния отдельных стрессоров на функции зрительной системы. В связи с этим при исследовании зрения космонавтов определялись функциональные показатели зрительной системы, такие, как разрешающая способность (острота зрения), контрастная чувствительность, функции цветового зрения, и некоторый обобщенный показатель — оперативная зрительная работоспособность — учитывающий одновременно частотно-контрастную характеристику и инерцию зрения, а также ошибки, допускаемые оператором при выполнении заданного теста [202].

Исследования влияния условий космического полета на

зрительную систему космонавтов проводились методом сравнения основных функций зрения в различных условиях: на учебном космическом корабле, на стартовой позиции и в космическом полете. При этом определялись как количественные показатели, так и направление изменения исследуемых функций зрительной системы на разных этапах подготовки и полета. Функции зрения у космонавтов можно изучать как с помощью специальных приборов и тестов, так и по субъективным впечатлениям космонавтов при визуальных наблюдениях. Однако результаты визуальных наблюдений могут дать только ориентировочные сведения качественного характера. Они могут дополнить результаты объективных методов исследования с помощью приборов и тестов.

Полученные в первых полетах на космических кораблях «Восток» результаты визуальных наблюдений позволили качественно оценить влияние условий космического полета на основные функции зрительной системы. По субъективным впечатлениям космонавтов оказалось, что в космосе, во всяком случае при кратковременных полетах, основные функции зрения не претерпевают заметных изменений.

В дальнейшем были проведены объективные исследования основных функций зрительной системы (остроты зрения, контрастной чувствительности, оперативной зрительной работоспособности, цветового зрения) при полетах на космических кораблях «Восход» и «Союз». Эти исследования показали, что разрешающая способность зрения у всех космонавтов практически оставалась без изменений, в то же время заметно снижалась оперативная зрительная работоспособность, исследования которой проводились по результатам измерений времени работы над тестом, по сложности мир, выбранных для подсчета штрихов, и по числу допущенных ошибок [202]. В условиях невесомости, по-видимому, нарушается не только общая координация движений, но и координация группы глазодвигательных мышц, что и вызывает снижение уровня оперативной зрительной работоспособности. В этих условиях усилие глазодвигательных мышц изменить направление наблюдения и точку фиксации оказывается избыточным, поэтому взор как бы проскакивает нужное направление и точку фиксации, что особенно характерно при наблюдении объектов небольших размеров. При визировании крупных объектов подобное явление не наблюдается.

Исследования контрастной чувствительности зрительной системы при комфортных условиях освещения проводились экипажами космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» во время их совместного полета в январе 1969 г. [202]. Результаты исследований на этих кораблях показали, что контрастная чувствительность зрительной системы монотонно уменьшалась на протяжении 50 витков полета и снизилась на 15–20%. При этом не было выявлено какой-либо тенденции к переходу в фазу стабильной работоспособности. Результаты исследований на кораблях «Союз-4» и «Союз-5» показали также, что время, затраченное на выполнение теста, увеличилось более чем на 30% по сравнению с временем, затраченным в земных условиях.

Пока мы не располагаем данными о влиянии условий космического полета на возможность наблюдения точечных источников излучения. В связи с этим можно воспользоваться экспериментальными зависимостями пороговой освещенности

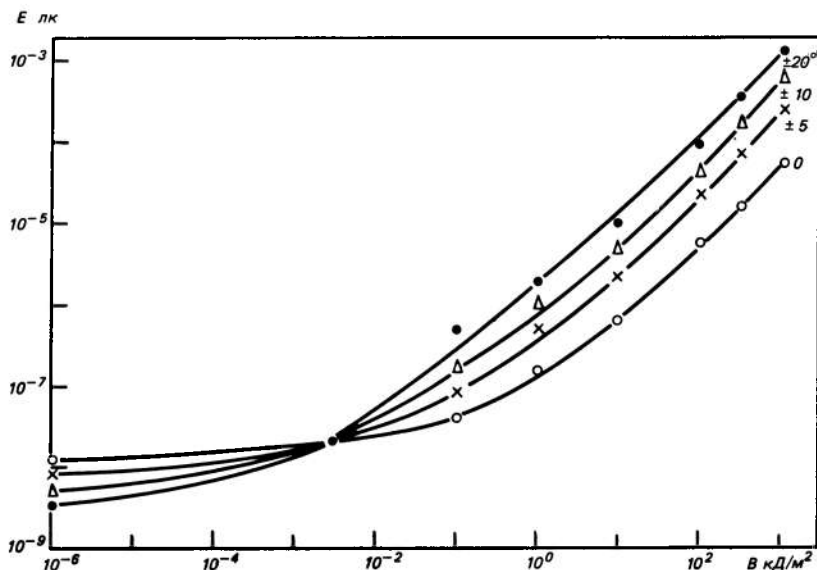


Рис. 2.5. Зависимость пороговой освещенности на зрачке от яркости фона для разных участков сетчатки глаза [165].

E_{σ} от яркости фона B_{ϕ} для различных участков сетчатки глаза (рис. 2.5), полученными в лабораторных условиях [165].

Кривые пороговой освещенности для разных участков сетчатки глаза пересекаются при яркости фона, которая равна $3 \cdot 10^{-3}$ кд/м² и при которой $E_{\sigma} = 2 \cdot 10^{-8}$ лк не зависит от участка сетчатки.

В космосе чаще всего приходится наблюдать движущиеся источники, при визуальном наблюдении которых пороговая освещенность E_{σ} зависит не только от яркости естественного или искусственного фона B_{ϕ} , но и от угловой скорости движения источника v . При угловых скоростях $v \geq 10^{\circ}/\text{с}$ величину E_{σ} , по-видимому, можно оценить по эмпирической формуле, полученной по данным лабораторных исследований [98]:

$$E_{\sigma} = K(B_{\phi}) E_0(B_{\phi}) \left(1 + \frac{v}{v_0} \right),$$

где $E_0(B_{\phi})$ — пороговая освещенность от неподвижного точечного источника при яркости фона B_{ϕ} ; $K(B_{\phi})$ — поправочный множитель, зависящий от яркости фона B_{ϕ} ; $v_0 = 1^{\circ}/\text{с}$.

В работе А. И. Лазарева и Н. И. Пинегина [98] приведены следующие экспериментально полученные значения $E_0(B_{\phi})$ и $K(B_{\phi})$:

B_{ϕ} кд/м ²	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$K(B_{\phi})$	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$E_0(B_{\phi})$ лк	...	...	...	...	...	...	...	...	...

2.2. Динамика изменения функций зрения в космическом полете

Объективные (тестовые) исследования в условиях космического полета показали одновременное изменение всех изучаемых функций зрительной системы. Наиболее заметные изменения наблюдались в период адаптации космонавтов к условиям полета в течение первых суток полета (1–17-й витки) [202].

В следующей фазе — фазе стабильной работоспособности — функции зрительной системы восстанавливались, но не достигали предполетного уровня. При этом одна из важнейших функций зрения — контрастная чувствительность, — исследования которой проводились во время полета космических кора-

2.2. Динамика изменения функций зрения в космическом полете

блей «Союз-4» и «Союз-5», не достигала стабильного состояния и продолжала ухудшаться по крайней мере в течение первых четырех суток полета.

При анализе динамики изменения функций зрения в условиях космического полета были использованы результаты исследований, выполненных 15 космонавтами, входившими в экипажи космических кораблей «Восход», «Восход-2», «Со-

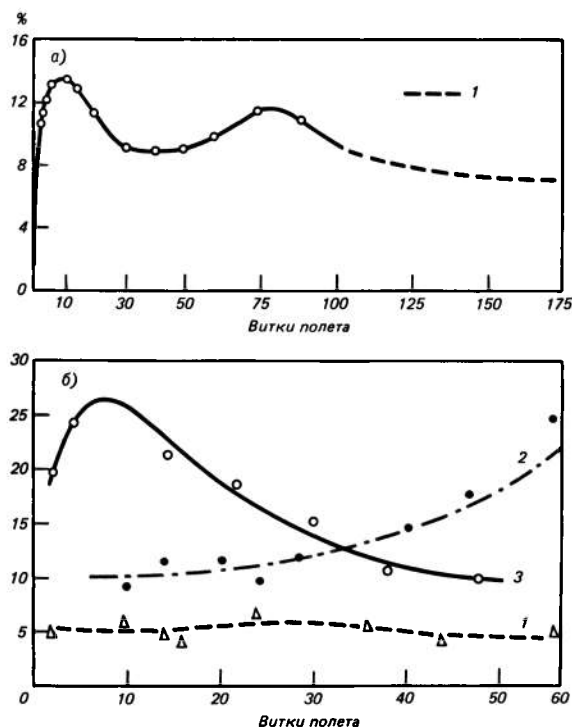


Рис. 2.6. Изменение (%) обобщенной функции зрения (а) и основных зрительных функций (б) во время космического полета [202].

а — средние данные по полетам космических кораблей «Восход» и «Союз», 1) $p < 0.8$; б: 1 — острота зрения, 2 — контрастная чувствительность, 3 — оперативная зрительная работоспособность.

юз-3, -4, -5, -6, -7, -8, -9» [202]. Наиболее заметные изменения функций зрительной системы были зарегистрированы в течение первых двух суток полета, когда зрение ухудшалось на 5—30%. Позднее, на витках 30—60 наблюдалось их восстановление и приближение к дополетным значениям. Возможно, что это свидетельствует о наличии в организмах космонавтов некоторых адаптационных или компенсационных механизмов.

Начиная с витков полета 40—50 процесс восстановления функций зрения приостанавливается и снова начинается снижение функций зрения, продолжающееся до 70—80 витков полета. После этого наблюдается вторичное улучшение функций зрения, которое оказывается более устойчивым, чем в период между витками 30 и 60. Изменение обобщенной функции зрения, а также отдельных функций зрительной системы в зависимости от времени полета по результатам исследования экипажей космических кораблей «Восход» и «Союз» показано на рис. 2.6 [202]. Наличие у кривой изменения обобщенной функции зрения двух максимумов (см. рис. 2.6 а) обусловлено тем, что максимальное снижение оперативной зрительной работоспособности происходит в первые сутки полета, а максимальное снижение контрастной чувствительности (см. рис. 2.6) на пятые-шестые сутки полета.

Как показали результаты космических экспериментов острота зрения космонавтов изменяется незначительно. А ухудшение оперативной зрительной работоспособности, учитывающей изменение остроты зрения, контрастной чувствительности и способности космонавта вести подсчет мелких предметов, наблюдалось с самого начала полета. Уже на втором витке она уменьшалась почти на 20%, а к витку 8—10 это уменьшение достигало максимального значения (около 26%). Затем происходит постепенное улучшение оперативной зрительной работоспособности. К виткам 40—50 она оказывается на 10% ниже дополетного значения. Наиболее существенно в условиях космического полета ухудшается контрастная чувствительность зрительной системы. Снижение контрастной чувствительности на 10% наступает практически сразу после перехода в состояние невесомости. А зарегистрированное в ряде полетов максимальное снижение контрастной чувствительности приходилось на пятые сутки полета и составляло около 40% [202].

При анализе результатов визуальных наблюдений из космоса следует учитывать и влияние эмоциональных впечатлений, а также степень ознакомления космонавтов с наблюдаемой из космоса яркой и красочной картиной Земли, ее атмосферы и космоса. В начальный период полета необычность наблюдаемой картины вызывает много эмоциональных впечатлений, что мешает проведению целенаправленных детальных исследований акватории и поверхности Земли, атмос-



Гималаи. Индия, штат Пенджаб.

ферно-оптических явлений и космоса. В дальнейшем при продолжении полета эмоциональные впечатления космонавтов постепенно ослабевают. Космонавты запоминают и быстро узнают уже знакомые картины отдельных регионов поверхности Земли, моря и океаны, формы облачного покрова, атмосферный ореол Земли и т. д. Запоминаются и картины ночного и сумеречного горизонта Земли, полярных сияний, сербристых облаков, звезд и планет, зодиакального света. Через некоторое время космонавты быстро и уверенно определяют соответствующие объекты и образования. Это позволяет приступить к детальному изучению природных ресурсов и природной среды, выполняемых по различным программам в интересах геологии, картографии, океанологии, гляциологии, сельского хозяйства, физики атмосферы и астрофизики [90, 97].

Время, необходимое для запоминания наблюдаемой из космоса картины природной среды, зависит как от индивидуальных способностей космонавта и его подготовки к проведению оптических исследований, так и от программы полета. Так В. В. Коваленок после 140-суточного полета на орбитальной станции «Салют-6» в июне — ноябре 1978 г. считал, что для запоминания наблюдаемой из космоса картины Земли, атмосферы и космоса ему потребовалось около двух месяцев. Очень образно рассказывает об этом В. В. Рюмин в «Космическом дневнике»¹:

«Четыре месяца мы живем в космосе. Привыкли к невесомости, сжились со станцией. Что самое ценное сейчас? Начинаем лучше видеть Землю. Длительный полет, оказывается, наделяет космонавтов прекрасным качеством — обладанием взглядом. Раньше смотришь то в иллюминатор, то на карту, а нужный объект уплывает. А сейчас в считанные секунды успеваем «ухватить» объект, определить, что и где происходит. Результаты оптических исследований зависят также и от опыта предыдущих полетов. Как правило, во втором и последующих полетах космонавты быстрее запоминают картины Земли, атмосферы и космоса, более уверенно проводят оптические исследования и получают более полные, надежные и детальные результаты [90].

¹ Загадки звездных островов. — М., 1982.

2.3. Динамические характеристики деятельности космонавта во время проведения визуальных наблюдений

При проведении оптических исследований в космическом полете одним из наиболее распространенных видов двигательной деятельности космонавтов является наведение оптических приборов, кино- и фотоаппаратуры на интересующие исследователя природные образования или объекты человеческой деятельности и их последующая съемка. Действие невесомости и повышенная эмоциональная возбудимость в начале полета до некоторой степени служат помехой при выполнении этих операций. Для иллюстрации этого положения можно привести результаты наблюдений и деятельности А. Г. Николаева во время его первого полета на космическом корабле «Восток-3» в августе 1962 г. [131]. Недалеко от берегов Африки А. Г. Николаев в первые сутки полета обнаружил кильватерную колонну морских судов. Правда, самих судов не было видно — они обнаруживались по бурунам. По зрительному впечатлению космонавта колонна морских судов напоминала пунктирную линию, где точками определялись суда, а затухающим пунктиром их кильватерные следы. На кильватерную колонну через иллюминатор космического корабля был направлен бинокль. Для того чтобы наблюдаемая картина оказалась в центре поля зрения А. Г. Николаев немного сдвинул бинокль, но при этом вся кильватерная колонна вышла за пределы поля зрения бинокля, так как примененное космонавтом усилие, рассчитанное на вес рук и бинокля оказалось завышенным. На вторые и последующие сутки полета такие явления больше не замечались. Из космоса также были видны морские пирсы, однако визуально обнаружить причаленные к ним суда оказалось затруднительным. По всей вероятности, это связано с снижением контраста между пирсом и корпусами морских судов, а также с некоторым снижением контрастной чувствительности зрительной системы космонавта во второй и последующие дни полета.

В программу второго полета А. Г. Николаева на космическом корабле «Союз-9» в июне 1970 г. было включено проведение специальных экспериментов по оценке точности фотоприцеливания [131]. Эксперименты проводились с помощью фотокамеры. Это позволило оценить количественно изменения качества деятельности космонавта при проведении при-

цельных фото- и киносъемок в космическом полете. До полета на космическом корабле «Союз-9» А. Г. Николаев прошел необходимую специальную подготовку по прицельному фотографированию. Благодаря этой подготовке перед полетом А. Г. Николаев проводил прицельное фотографирование с минимальной ошибкой 10–18'. Выполненные в условиях космического полета эксперименты по фотоприцеливанию показали, что на надежность этой операции влияет не только невесомость, но и безопорность положения. Так, при закреплённом в ложементе положении тела средняя ошибка фотоприцеливания в условиях невесомости увеличивалась почти в 3,5 раза. А при безопорном положении тела в невесомости эта ошибка возрастает более чем в 6 раз.

На космическом корабле «Союз-9» проводились также исследования динамических характеристик деятельности оператора на основе выявления зависимости между частотой входного сигнала и качеством работы с ним [131]. Результаты этих исследований необходимы при разработке систем управления космическим кораблем, в том числе и блоков визирных и астронавигационных систем. Выполненные членами экипажа космического корабля «Союз-9» А. Г. Николаевым и В. И. Севастьяновым исследования дали практически одинаковые результаты. Наилучшее качество слежения наблюдалось на частоте около 0,2 Гц, т. е. примерно в том диапазоне, который был отмечен и в работе экипажа корабля «Восход-2».

Представленные в п. 2.1–2.3 результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что изменения основных функций зрительной системы в условиях космического полета сравнительно невелики: для различных функций зрения они составляют от 5 до 40% и оказываются недостаточными для того, чтобы космонавты заметили их на основании возникающих в космосе субъективных впечатлений. «Отсюда можно сделать общий вывод, что зрение в космосе столь же надежно, как и на Земле. Это позволяет широко использовать зрение для проведения научных исследований и управления космическим кораблем...

Учитывая, что зрительный канал связи и динамические реакции космонавта-оператора являются психофизиологической основой визуальных наблюдений, можно считать, что космонавт является достаточно надежным звеном в полуавтоматических и ручных системах визуального наблюдения» [97].

2.4. Цветовое зрение

Различия в изменении цветоразличения зрительной системой подтверждаются отчетами космонавтов о результатах визуальных наблюдений. Во всех сообщениях космонавты говорят о широкой цветовой гамме космических пейзажей. Индивидуальные различия восприятия цветowych картин, возможно, связаны как с внешними условиями освещения, прозрачности атмосферы и иллюминаторов, так и, видимо в большей степени, с индивидуальными особенностями цветоощущения в результате воздействия условий космического полета.

Исследования функций цветового зрения, выполненные на космических кораблях «Восход-2», «Союз-3, -4, -5», показали заметное снижение субъективной яркости наблюдаемых космонавтами цветов, в среднем на 20–25%. Наибольшее снижение субъективной яркости наблюдалось для пурпурного цвета, оно достигало примерно 48% по отношению к фоновому уровню. Для красного цвета снижение составило 28%, для зеленого 24%, для голубого 19%, для синего 7%, для желтого около 5% [97].

В связи с тем что с пилотируемых космических кораблей широко проводятся визуальные наблюдения слабосветящихся источников излучения, таких, как эмиссионное излучение ночной атмосферы, полярные сияния, зодикальный свет, рассмотрим особенности восприятия цветов в условиях малых яркостей. Такие исследования проводились в лабораторных условиях для диапазона яркостей от $5,8 \cdot 10^{-4}$ до $1,3 \cdot 10^{-1}$ кд/м². Хотя их результаты несколько отличались от результатов отдельных наблюдений в космосе, но в целом они вполне определены. При малых уровнях яркости наблюдатели обычно путают следующие цвета: зеленовато-желтый с серым и розово-красным, желтовато-зеленый с голубовато-фиолетовым, оранжевый с красновато-пурпурным. При уровнях яркости, превышающих $(5 \div 10) \cdot 10^{-2}$ кд/м², наблюдатели хорошо различают зеленый и красный цвета [8].

Напомним, что при спокойных геомагнитных условиях яркость эмиссионного свечения ночной атмосферы при наблюдении из космоса не превышает 10^{-2} кд/м², поэтому различить визуально цвета этого свечения довольно трудно. В полярных сияниях, интенсивность которых превышает II балла, хорошо различимы желто-зеленый и красный цвета. Особенно кра-

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

сочные цветовые картины создают области свечения интенсивных полярных сияний III—IV балла. Поэтому при наблюдении ночной атмосферы из космоса наблюдатель различает цвета только при достаточно большой степени возбуждения компонентов верхней атмосферы. В частности, космонавты отмечают, что при спокойных геомагнитных условиях первый эмиссионный слой, яркость которого при наблюдении из космоса составляет $(1 \div 2) \cdot 10^{-2}$ кд/м², имеет неопределенный цвет — пепельный с легкой примесью коричневатого. Но при повышенном возбуждении ночной атмосферы он приобретает зеленоватый оттенок, а иногда и зеленый цвет, что объясняется прежде всего излучением линии 557,7 нм.

В свечении возбужденной ночной атмосферы часто наблюдаются смешанные цвета, что связано с большим числом процессов, вызывающих свечение атмосферных газов. Довольно часто, особенно в свечении *F*-слоя ночной атмосферы, наблюдается смешение двух линий атомарного кислорода: зеленой 557,7 нм и красной 630 нм. Цвета, которые фиксирует средний наблюдатель при смеси излучения этих линий в разных соотношениях, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Визуальные пороги регистрации цвета и цветовые ощущения при смеси излучения двух линий атомарного кислорода [255]

$I_1 : I_2$	Эквивалентная длина волны, нм	Цветовые ощущения	Цветовой порог для эквивалентной длины волны, крэлен	Интенсивность излучения линии 630 нм при пороге цветоощущения, крэлен
0 : 1	557,7	Желто-зеленый	17	—
1 : 1	574,0	Желтовато-зеленый	19	14
2 : 1	583,0	Желтый	21	24
3 : 1	589	Натриево-желтый	22	28
5 : 1	596,5	Красновато-желтый	25	28
7 : 1	601,0	Оранжевый	28	43
10 : 1	606,0	Красно-оранжевый	30	48
20 : 1	614,0	Оранжево-красный	38	55
50 : 1	622,0	Красный	47	60
	630,0	Красный	65	65

Примечание. I_1 и I_2 — интенсивность излучения линий 630,0 и 557,7 нм.

Из табл. 2.2 видно, что порог цветоощущения в условиях малой яркости составляет для зеленой линии 557,7 нм 17 крзлей, для красной линии 630,0 нм 65 крзлей. Это превышает значения световых порогов для этих длин волн. Поэтому

эмиссии невозбужденной ночной атмосферы и слабые полярные сияния I—II балла кажутся наблюдателю бесцветными.

2.5. Влияние атмосферы и иллюминаторов космических кораблей

На возможность наблюдения и регистрации из космоса акватории, облачного покрова и поверхности Земли существенное влияние оказывает пропускание и излучение атмосферы Земли и иллюминатора космического корабля, а при работе с оптическими приборами также пропускание и излучение оптического тракта прибора [14,88]. Иллюминаторы космических кораблей обычно изготавливаются в виде двух- или трехстекольных окон с тщательно герметизированной оправой.

Двухстекольные иллюминаторы обычно используются для орбитальных отсеков космических кораблей, а трехстекольные — для спускаемых аппаратов. Пропускание и фоновое излучение, рассеянное стеклами иллюминаторов космического корабля, зависит как от уровня освещенности, создаваемой внешними или внутренними источниками засветки, так и от состояния поверхностей стекол (их запыления, загрязнения, запотевания, обмерзания). При этом от состояния поверхностей иллюминатора особенно сильно зависит яркость их рассеянного излучения.

Здесь не рассматривается тепловое и люминисцентное излучение стекол иллюминаторов в связи с тем, что первое локализовано в ИК, а второе — в УФ областях спектра.

При длительном полете космических кораблей стекла их иллюминаторов постепенно (а иногда и достаточно быстро) запыляются, загрязняются, запотевают и обмерзают. Особенно быстро и интенсивно загрязняется, запотевают и обмерзают наружное стекло иллюминаторов. Внешняя поверхность наружного стекла загрязняется от собственной внешней атмосферы космического корабля (газопылевого окружения) и разрушается при соударении с микрометеоритами. Внутренняя поверхность наружного стекла довольно часто запотевает или даже обмерзает. Это объясняется тем, что температура наружного стекла ниже температуры внутренних стекол и оправы иллюминатора вследствие различия их теплового режима

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

[187]. Поэтому на внутренней поверхности наружного стекла происходит конденсация паров воды, находящихся в межстекольном пространстве. Через загрязненные, запотевшие или обмерзшие стекла иллюминаторов очень трудно, а иногда просто невозможно проводить визуальные наблюдения и тем более инструментальные оптические исследования. Большую часть наблюдений и инструментальных оптических исследова-



А. С. Иванченков проводит визуальные наблюдения с «Салюта-6».

ний космонавты проводят через сравнительно чистые иллюминаторы, поэтому оценки излучения и пропускания будут проведены для сравнительно чистых иллюминаторов.

При расчетах рассеянного излучения иллюминаторов для определенности будем считать, что все стекла иллюминатора (главным образом их поверхности) диффузно рассеивают $3 \div 5\%$ падающего на них излучения внутренних и внешних источников засветки. Нетрудно показать, что на безлунной ночной стороне Земли при выключенных внутрикабинных источниках излучения и при отсутствии мощных полярных сияний яркость иллюминаторов не будет превышать ни уровня яркости звездного фона, ни яркости ночного излучения атмосферы, облаков и поверхности Земли, что позволяет успешно проводить наблюдения и регистрацию самых слабых источников излучения окружающей природной среды. В лунные ночи, особенно при полной Луне, яркость рассеянного излучения иллюминаторов может достигать $(1 \div 2) \cdot 10^{-4}$ кд/м², что ухудшает возможность наблюдения и регистрации самых слабых источников излучения, таких, как второй эмиссионный слой, зодиакальный свет и т. д.

Яркость рассеянного излучения иллюминаторов в сумеречной зоне зависит от положения Солнца и ориентации иллюминатора относительно Солнца и сумеречного ореола атмосферы Земли. Ориентация иллюминаторов относительно Солнца и сумеречного ореола атмосферы Земли может быть самой различной. Для определенности выберем три иллюминатора, назовем их условно солнечный, противосолнечный и боковой. Ось солнечного иллюминатора направлена либо на Солнце, либо, если Солнце ниже горизонта, в сторону центра сумеречного ореола. Противосолнечный иллюминатор направлен в сторону, противоположную солнечному. Ось бокового иллюминатора перпендикулярна осям солнечного и противосолнечного и параллельна горизонту Земли. Солнечный иллюминатор будет иметь наиболее высокую яркость рассеянного излучения, которая будет определяться в основном углом погружения или возвышения Солнца относительно горизонта и высотой полета космического корабля. На боковой иллюминатор, так же как и на противосолнечный, прямой солнечный свет не попадает. Боковой иллюминатор освещается частью сумеречного ореола атмосферы Земли. Оценки яркости рассеянного излучения солнечного, противосолнечного и боко-

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

вого иллюминаторов для условий полета орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7» на высоте полета около 350 км приведены в табл. 2.3 [90].

Таблица 2.3

Оценки яркости рассеянного излучения солнечного, противосолнечного и бокового иллюминаторов орбитальных станций „Салют-6“ и „Салют-7“ на высоте полета 350 км при различных углах погружения или возвышения Солнца относительно горизонта Земли

Угол погружения или возвышения Солнца, ...°	Яркость иллюминаторов, кд/м ²		
	солнечный	боковой	противосолнечный
-8	10^{-3}	10^{-5}	10^{-5}
-5	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}
-3	10^{-1}	10^{-4}	10^{-5}
0	1	10^{-3}	10^{-4}
1	10	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
2	10^3	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-3}$
5	$1,5 \cdot 10^3$	10^{-1}	$3 \cdot 10^{-2}$
10	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-1}$	10^{-1}
20	$2 \cdot 10^3$	10	3
25	$2 \cdot 10^3$	10^2	50

Яркость рассеянного излучения иллюминаторов уже в сумеречной зоне на несколько порядков больше, чем на ночной стороне Земли, но она особенно велика на дневной стороне Земли, где яркость солнечного иллюминатора достигает нескольких тысяч кд/м², а бокового и противосолнечного иллюминаторов около 100 кд/м². Следовательно, яркость рассеянного излучения иллюминаторов, не защищенных от световых помех, может меняться в широких пределах, примерно на восемь порядков, в зависимости от участка траектории космического корабля. Спектральный состав рассеянного излучения кварцевых иллюминаторов в видимой области спектра практически целиком определяется спектральной плотностью освещенности от всех источников подсветки. Для солнечного иллюминатора, если Солнце над горизонтом, спектр излучения иллюминатора близок к спектру солнечного излучения с учетом его изменения в атмосфере Земли. Если Солнце под горизонтом, то спектр излучения солнечного иллюминатора близок к спектру излучения сумеречного ореола при соответствующем угле погружения Солнца под горизонт. Спектры излучения бокового и противосолнечного иллюмина-

торов близки к спектрам излучения подстилающей поверхности.

Таким образом, на ночной стороне Земли (при углах погружения Солнца за горизонт более 15°) яркость рассеянного излучения иллюминаторов, скорее всего, будет близка или меньше порога яркостной чувствительности зрительной системы, составляющего $10^{-6} \div 10^{-5}$ кд/м². А на дневной стороне Земли и в сумеречной зоне рассеянное излучение не защищенных от световых помех иллюминаторов значительно превышает порог яркостной чувствительности зрительной системы и является существенной помехой при визуальных наблюдениях или инструментальных оптических исследованиях слабосветящихся источников излучения, таких, как эмиссионное излучение верхней атмосферы Земли, зодиакальный свет, слабые звезды и планеты, кометы и т. д. С целью обеспечения возможности визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований на дневной стороне Земли и в сумеречной зоне необходима тщательная защита иллюминаторов от внешних и внутрикабинных источников излучения. Это может быть достигнуто с помощью светозащитных бленд и оптимальной ориентации иллюминаторов относительно наиболее мощных источников засветки: излучение Солнца и подстилающей поверхности.

Пропускание иллюминаторов зависит от материала стекол и покрытий, количества и толщины стекол, состояния их поверхностей и направления наблюдения. В видимой области спектра пропускание кварцевых иллюминаторов с незагрязненными поверхностями определяется в основном френелевским отражением от поверхностей стекол. Дело в том что в видимой области спектра поглощение кварцевого стекла первой категории невелико и обычно не превышает 0,2% на 1 см толщины. Потери на френелевское отражение могут быть определены по формулам Френеля по значениям показателя преломления n_d плавленого кварца, который в видимой области спектра составляет в диапазоне 400–750 нм соответственно 1,47–1,45. В видимой области спектра пропускание чистого двухстекольного иллюминатора в направлении оптической оси составляет около 85%, чистого трехстекольного иллюминатора – около 80%. Пропускание загрязненных иллюминаторов хуже, чем чистых, и количественно определяется степенью загрязнения. Особенно сильно уменьшается пропуска-

ние запотевших или обмерзших иллюминаторов. При очень сильном запотевании и особенно обмерзании иллюминатор практически полностью рассеивает падающее на него излучение, что не позволяет проводить через него ни визуальные наблюдения, ни тем более инструментальные оптические исследования. Для предотвращения запотевания и обмерзания стекол иллюминатора необходимо, чтобы их температура была выше точки росы атмосферы, непосредственно соприкасающейся с их поверхностями, что может быть обеспечено либо нагревом стекол иллюминаторов, либо снижением точки росы атмосферы. С целью предотвращения загрязнения наружной поверхности внешних стекол иллюминаторов иногда устанавливают защитные крышки, которые открываются только на время проведения экспериментов.

При наблюдении и регистрации с космических кораблей излучения ярких источников, таких как Солнце, Луна, яркие звезды и планеты, возможно появление бликов вследствие многократного френелевского отражения на поверхностях стекол иллюминаторов [14]. Наиболее вероятно появление бликов при наблюдении и регистрации ярких точечных источников излучения в направлениях, не совпадающих с осью иллюминаторов. Блики могут возникать также от ярких внутрикабинных источников излучения и на темном фоне космоса создавать иллюзорное впечатление присутствия вблизи космического корабля неопознанных летающих объектов (НЛО). Особенно сильные блики может создавать защитное стекло гермошлема скафандра при выходе космонавтов в открытый космос. Это объясняется тем, что защитное стекло гермошлема покрыто полупрозрачным металлическим слоем, имеющим большой коэффициент зеркального отражения (до 90%). Кроме того, кривизна защитного стекла гермошлема может изменять формы и размеры отраженных источников излучения, усиливая иллюзорное впечатление присутствия НЛО.

Прозрачность безоблачной атмосферы зависит от направления визирования и стратификации атмосферы, а для видимой области спектра в основном от влажности и содержания аэрозоля. Излучение атмосферы зависит от направления визирования и стратификации атмосферы, от зенитного угла Солнца, угла рассеяния и альбедо подстилающей поверхности. Для определенности рассмотрим наиболее часто встречающийся случай наблюдения и регистрации на дневной стороне Земли

в направлении надира, когда угол рассеяния будет либо немного меньше 90° , либо больше. Прозрачность безоблачной атмосферы существенно зависит от времени года (т. е. от стратификации атмосферы) и от высоты наблюдаемых участков поверхности Земли или объектов в атмосфере над уровнем океана. В качестве примера в табл. 2.4 приведены значения

Таблица 2.4

Пропускание безоблачной атмосферы при наблюдении в надир

Сезон	Высота наблюдаемых участков поверхности Земли, км			
	0	1	2	3
Лето	0.4	0.5	0.65	0.75
Весна, осень	0.5	0.65	0.75	0.8
Зима	0.75	0.8	0.85	0.9

пропускания безоблачной атмосферы в видимой области спектра при наблюдении из космоса в надир в средних широтах для различных сезонов года и нескольких значений высоты наблюдаемых объектов [116]. При наблюдении в других направлениях пропускание атмосферы будет меньше, чем в надир. Так, например, для летнего сезона пропускание атмосферы при наблюдении под углом 60° от надира для объектов, находящихся на поверхности Земли, составит около 0,15, на высоте 2 км — около 0,3. Появление дымки и особенно тумана резко ухудшает пропускание атмосферы.

Анализ экспериментальных данных по излучению атмосферы [16] позволил сделать общий вывод о том, что яркость безоблачной атмосферы может быть представлена в виде произведения трех функций, которые зависят: первая — от угла рассеяния, вторая — от зенитного угла направления визирования, третья — от прозрачности атмосферы и зенитного угла Солнца. При наблюдении из космоса в надир яркость безоблачной атмосферы будет зависеть в основном от прозрачности атмосферы и зенитного угла Солнца, так как при углах рассеяния намного меньше или больше 90° яркость безоблачной атмосферы не очень сильно зависит от угла рассеяния. В качестве примера в табл. 2.5 приведены значения яркости безоблачной атмосферы для двух значений пропускания атмосферы $\tau_{\text{атм}}$ и ряда значений зенитного угла Солнца Z_\odot [16].

2. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИЗ КОСМОСА

Влияние пропускания и излучения атмосферы и иллюминатора определяется передаточной функцией атмосферы и иллюминатора, которую иногда называют коэффициентом пере-

Таблица 2.5

Яркость (кд/м²) безоблачной атмосферы при наблюдении из космоса в надир [16]

$\tau_{\text{атм}}$	Z_{\odot}°						
	0	30	60	80	85	87	90
0.87	$3 \cdot 10^3$	$2.4 \cdot 10^3$	$1.2 \cdot 10^3$	720	330	230	90
0.80	$4 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^3$	$1.8 \cdot 10^3$	800	460	380	160

дачи контраста. Существуют различные способы представления контраста. Мы в качестве контраста примем следующее соотношение:

$$K = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}},$$

где B_{\max} и B_{\min} — максимальное и минимальное значения яркости двух соседних протяженных источников.

Нетрудно показать, что наблюдаемый через атмосферу и иллюминатор кажущийся контраст протяженных источников будет [14, 97]:

$$K' = \frac{K}{1 + \frac{\beta}{\tau_{\text{атм}} \tau_{\text{илл}}}}$$

Здесь

$$\beta = \frac{B_{\text{атм}} \tau_{\text{илл}} + B_{\text{илл}}}{B_{\max} + B_{\min}},$$

где $B_{\text{атм}}$ и $\tau_{\text{атм}}$ — яркость и пропускание атмосферы, $B_{\text{илл}}$ и $\tau_{\text{илл}}$ — яркость и пропускание иллюминатора.

Как показывают расчеты, при наблюдении из космоса в надир безоблачная атмосфера в зависимости от стратификации уменьшает видимые из космоса контрасты наземных объектов и образований в 1,5–3 раза, а при наблюдении в других направлениях еще сильнее. В частности, при наблюдении в направлении горизонта уменьшение контрастов столь велико, что из космоса практически не видно не только на-

земных объектов, но и края диска Земли. Поэтому видимый из космоса дневной горизонт находится на высоте нескольких километров от края диска Земли.

Влияние фазовых искажений, вносимых атмосферой и иллюминатором, при визуальных наблюдениях из космоса в надиры и в направлениях, близких к оптической оси иллюминатора, практически можно не учитывать [14, 97]. При наблюдении в направлениях, существенно отличающихся от надира и оптической оси иллюминатора, фазовые искажения в некоторых случаях могут превышать разрешающую способность зрительной системы.

2.6. Влияние взволнованной поверхности морей и океанов

Взволнованная поверхность морей и океанов заметно ухудшает возможность наблюдения с небольших высот подводных объектов и образований, в том числе и рельефа дна морей и океанов. Периодические изменения наклона взволнованной поверхности относительно направления визирования приводят к периодическому перемещению изображения подводных объектов и образований на сетчатке глаза наблюдателя и, следовательно, создают впечатление размытия изображения. Перемещение изображения на сетчатке глаза наблюдателя зависит как от изменения угла наклона взволнованной поверхности, так и от высоты, с которой проводится наблюдение. Рассмотрим более подробно смещение изображения подводных объектов и образований на сетчатке глаза при наблюдении через взволнованную поверхность морей и океанов с высоты полета орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7». С целью упрощения рассмотрим угловое смещение изображения при наблюдении в надыр.

Обратимся к рис. 2.7, на котором показан ход лучей от одной из точек подводного объекта O через взволнованную поверхность для двух положений наклона взволнованной поверхности относительно линии объект наблюдатель ON . Первый случай (рис. 2.7а), когда взволнованная поверхность в точке ее пересечения с линией ON горизонтальна и вертикальный луч I от объекта O проходит через границу раздела вода — воздух и попадает к наблюдателю N без изменения на-

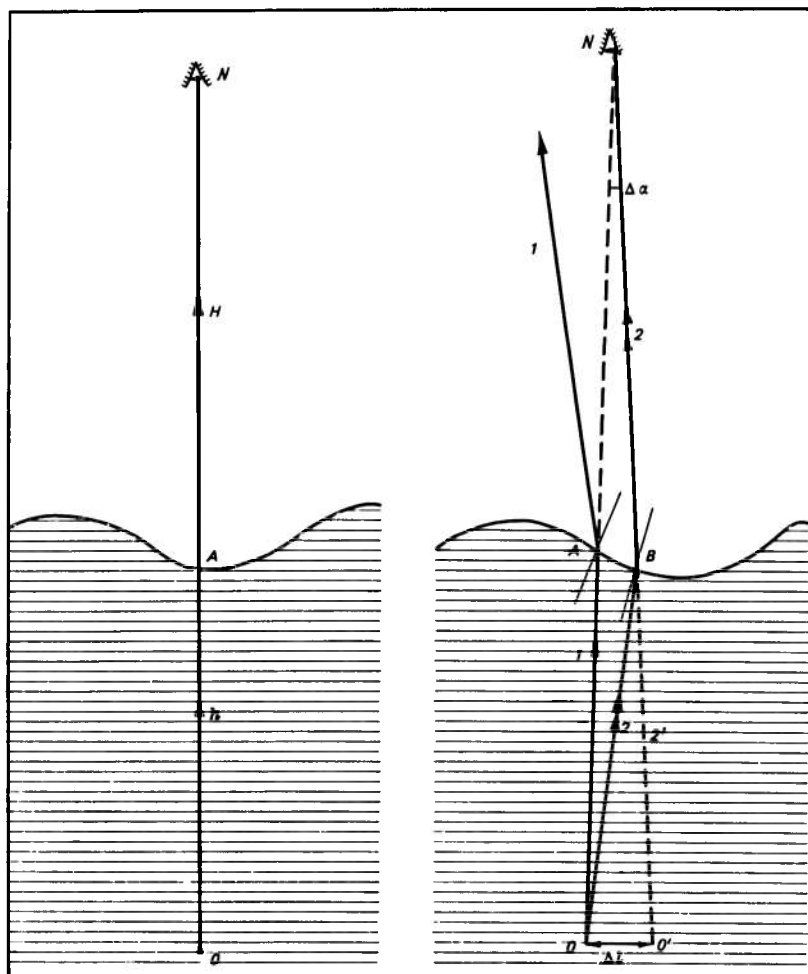


Рис. 2.7. Условия наблюдения подводных объектов и образований через взволнованную поверхность морей и океанов.

O — подводный объект или образования, N — наблюдатель, H — высота наблюдателя, h — глубина объекта или образования, A — точка пересечения линии ON с взволнованной поверхностью, Δl , $\Delta \alpha$ — кажущееся линейное и угловое смещение объекта или образования при наблюдении через наклоненный участок взволнованной поверхности; 1, 2 — лучи; 2' — кажущееся направление луча 2 в воде, B — точка пересечения луча 2 при наблюдении через наклоненный участок взволнованной поверхности.

правления. Второй случай (рис. 2.7 б), когда взволнованная поверхность в точке ее пересечения с линией ON имеет максимальный наклон относительно горизонта и вертикальный луч I от объекта O после преломления на границе раздела вода — воздух изменит свое направление и не попадет к наблюдателю N . В то же время к наблюдателю от объекта O попадет луч 2, преломившийся в точке B границы раздела вода — воздух. Это приводит к тому, что наблюдателю будет казаться будто бы объект O переместился на расстояние Δl в точку O' . Легко показать, что отрезок AB не превышает четверти длины волн L взволнованной поверхности. Из рис. 2.7 б видно, что линейное смещение и особенно угловое смещение зависят от глубины h объекта O и высоты H наблюдателя N . При наблюдении из космоса, когда $H \gg h$, величина Δl мало отличается от AB . Для верхней оценки при $H \gg h$ можно принять, что $\Delta l \leq L/4$.

Поскольку при наблюдении из космоса $H \gg \Delta l$, получим верхнюю оценку для углового смещения $\Delta\alpha \leq L/4H$. Максимальная длина волны взволнованной поверхности океана не превышает 400 м, следовательно, максимальное угловое смещение $\Delta\alpha \leq 1/10H$, где H в км. Таким образом, для высоты полета орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7» около 350 км угловое смещение при наблюдении через взволнованную поверхность океана $\Delta\alpha < 1'$. Поэтому при визуальных наблюдениях с высоты 350 км через взволнованную поверхность космонавт (без использования оптических приборов) не заметит смещения изображения подводного объекта или образования, так как при небольших значениях контраста, характерных для подводных объектов и образований, разрешающая способность зрительной системы значительно больше одной минуты. Следовательно, волнение морей и океанов не окажет существенного влияния на возможность наблюдения из космоса подводных объектов и образований, угловые размеры которых превышают разрешающую способность зрительной системы космонавта. Изображение этих объектов будет казаться космонавту неподвижным и неразмытым.

2.7. Наблюдение и регистрация из космоса атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли

Наблюдения и регистрация из космоса оптических явлений в атмосфере, облачном покрове, акватории и на поверхности Земли имеют ряд преимуществ по сравнению с наблюдениями и регистрацией этих явлений с поверхности Земли, надводных судов и даже с самолетов и вертолетов. Прежде всего космос позволяет проводить исследования крупномасштабных образований, таких, как циклоны и тайфуны, мощные океанические течения и вихри, большие разломы и кольцевые структуры на поверхности Земли, огромные по площади выносы больших рек в моря и океаны. Из космоса можно изучать крупномасштабные явления, происходящие в различных сферах Земли: в атмосфере, гидросфере, литосфере — и их взаимодействие. Космические методы очень удобны для изучения влияния крупномасштабной деятельности человека на окружающую среду. Преимущества космических методов позволяют широко использовать их при изучении крупномасштабных явлений и образований в атмосфере, облачном покрове, акватории и на поверхности Земли в интересах метеорологии, океанологии, геологии, охраны окружающей среды, картографии, гляциологии, сельского, лесного и рыбного хозяйства.

По рассказам космонавтов, визуально наблюдаемые из космоса картины атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли существенно отличаются от фотографий и особенно от телевизионных изображений. Это различие объясняется прежде всего различием пороговых значений световых и цветовых контрастов зрительной системы, фотографической и телевизионной аппаратуры. Здесь сказываются исключительные достоинства зрительной системы человека и особенно ее высокая контрастная чувствительность и хорошее цветоразличение. При дневном освещении и угловых размерах визируемых объектов 10—25' зрительная система способна различать контрасты до 1—2%. В то же время фотографическая аппаратура позволяет регистрировать контрасты, в лучшем случае превышающие 10%, а телевизионная аппаратура — превышающие 20%. Как было показано выше, на наблюдаемые из космоса контрасты природных образований и объектов деятельности человека оказывает большое влияние передаточная функция атмосферы и иллюминатора. При на-



Северо-западное побережье Мадагаскара.

блюдении или регистрации через чистую незамутненную атмосферу и чистый иллюминатор в нади́р контрасты между отдельными деталями акватории и поверхности Земли уменьшаются в 2 раза, а между отдельными участками тропосферных облаков — примерно в 1,5—1,8 раза в зависимости от высоты облаков. Тогда минимальные значения контрастов в акватории и на поверхности Земли, необходимые при благоприятных условиях для визуальных наблюдений в нади́р, составляют 2—4%, при фотографической регистрации 20%, при передаче телевизионного изображения около 40%. При наблюдении и регистрации тропосферных облаков минимальные значения контрастов при благоприятных условиях будут для зрительной системы 2—3%, для фотографической регистрации 15—18%, при передаче телевизионного изображения 30—35%. Естественно, что при наблюдении, фотографировании или передаче телевизионного изображения в других направлениях, отличающихся от нади́ра, влияние передаточной функции атмосферы на наблюдаемые или регистрируемые из космоса контрасты объектов и образований будет еще более существенным.

Столь существенно различие пороговых контрастов и приводит к различию картин облачного покрова, акватории и поверхности Земли, наблюдаемых космонавтами, зарегистрированных фотоаппаратурой или полученных в телевизионном изображении. С помощью фотографической или телевизионной аппаратуры невозможно зарегистрировать многие естественные и искусственные объекты и образования в акватории и на поверхности Земли, контрасты которых меньше 20% при фотографической регистрации и меньше 40% при передаче телевизионного изображения. А таких малоконтрастных объектов и образований в акватории и на поверхности Земли очень много, особенно много их в акватории морей и океанов. Это и океанические течения и вихри, скопления планктона, подводный рельеф дна, участки повышенного и пониженного уровня морей и океанов, которые космонавты условно называли «сводами», «валами», «ложбинами» и т. д. Немало мало-контрастных объектов и образований и на поверхности суши. Существенно отличаются и картины облачного покрова при визуальных наблюдениях, при фотографической и телевизионной регистрации. На фотографическом изображении не будут воспроизводиться элементы облачного покрова, контрасты

между которыми меньше 15–18%, а на телевизионном – меньше 30–35%.

Однако при выборе тех или иных методов изучения из космоса атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли следует учитывать, что фотографическое и телевизионное изображение обладает свойством документирования, а телевизионная регистрация еще и возможностью оперативной передачи изображения непосредственно в процессе исследования. В связи с этим изучение атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли с пилотируемых космических кораблей на дневной стороне Земли наиболее целесообразно проводить в следующем порядке. Начинать следует с визуальных наблюдений, затем наиболее интересные и достаточно контрастные объекты и образования надо зарегистрировать с помощью фотографической аппаратуры, а самые контрастные объекты и образования зарегистрировать или передать их изображение с помощью телевизионной аппаратуры.

Выше речь шла только о наблюдении или регистрации световых контрастов. Однако для этих целей могут быть использованы и цветовые контрасты отдельных объектов и образований. В частности, при фотографической регистрации из космоса широко используется цветное фотографирование и многозональная фотографическая аппаратура. Например, на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7» была установлена многозональная фотокамера МКФ-6М, позволяющая проводить съемку одновременно в шести диапазонах видимой и ближней ИК области спектра. Идея многозонального фотографирования состоит в том, что разные объекты и образования имеют различные контрасты в разных участках спектра. Используя сочетания изображений, полученных в ряде участков спектра, можно получить синтезированное изображение гораздо более богатое деталями, чем при фотографировании в одном участке спектра. Примерно эта же идея использована и в цветном телевидении и цветной фотографии, где цветное изображение создается из трех изображений в различных участках спектра. Многозональное фотографирование, цветное телевидение и фотографирование на цветную пленку значительно улучшают возможности черно-белой фотографии и черно-белого телевидения.

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

3.1. Наблюдения с первых космических пилотируемых кораблей

До полетов пилотируемых космических кораблей трудно было более или менее достоверно оценить действие условий космического полета и особенно состояния невесомости на человека и на основные функции его зрительной системы. Не представлялось также возможным предвидеть те оптические явления, наблюдения которых возможно только из космоса. Трудно даже было представить все возможности визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований для изучения атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли, звезд и планет, межпланетного и межзвездного пространства. Поэтому первый полет человека в космос и результаты этого полета ожидалось с огромным интересом. Можно было предполагать, что с началом полетов человека в космос откроются широкие перспективы для изучения нашей планеты в целом, многих явлений, недоступных для исследования с поверхности Земли, а также космического пространства, особенно в участках спектра, излучение которых не пропускает атмосфера Земли.

Полет Ю. А. Гагарина. 12 апреля 1961 г. свершилось великое событие — был осуществлен первый полет человека в космос. Юрий Алексеевич Гагарин на космическом корабле «Восток» за 108 мин совершил один виток вокруг Земли и в 10 ч 55 мин¹ благополучно возвратился на Землю. Через три дня после полета на пресс-конференции в Московском доме ученых Гагарин рассказал о том, что ему удалось увидеть из космоса [148]:

«Земля с высоты 175—300 километров просматривается очень хорошо. Вид поверхности Земли примерно такой же, как мы можем наблюдать при полете на больших высотах на реактивных самолетах. Очень хорошо различимы крупные горные массивы, большие реки, большие лесные массивы, бе-

¹ В этой главе время московское.

реговая линия, острова. Очень хорошо видны облака, покрывающие земную поверхность, тени от этих облаков на земной поверхности. Небо имеет совершенно черный цвет. Звезды на этом небе выглядят несколько ярче и четче... Земля имеет очень характерный, очень красивый голубой ореол. Этот ореол очень хорошо просматривается, когда наблюдаешь горизонт, плавный переход от нежно-голубого цвета через голубой, синий, фиолетовый в совершенно черный цвет неба. Очень красивый переход.

При выходе из тени пропало Солнце, и оно просвечивало через земную атмосферу. И здесь этот ореол принял немного другой цвет. У самой поверхности, у самого горизонта земной поверхности можно было наблюдать ярко-оранжевый цвет, который затем переходил во все цвета радуги: к голубому, синему, фиолетовому и черному цвету неба.

Вход в тень Земли осуществляется очень быстро. Сразу наступает темнота и ничего не видно, так как, очевидно, я проходил над океаном. Если бы были большие города, то, вероятно, были бы огни.

Звезды наблюдаются очень хорошо. Выход из тени также осуществляется очень быстро и резко».

Несмотря на кратковременность пребывания Гагарина в космосе, первый полет и первый взгляд из космоса имел огромное значение для дальнейшего развития космических исследований и экспериментов. Первый полет человека в космос позволил дать качественную оценку влияния условий космического полета на человека вообще и основные функции его зрительной системы в частности.

Полет Ю. А. Гагарина показал, что в космосе (во всяком случае, в течение кратковременного полета) человек может жить и работать, а основные функции зрительной системы не претерпевают заметных изменений. Кратковременность пребывания Гагарина в космосе не позволила провести детальные наблюдения атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли, звезд и планет, ближнего и дальнего космоса. Однако были получены первые сведения о том, как выглядит наша планета, ее облачный покров, дневной и сумеречный горизонт, звезды при наблюдении из космоса. Гагарин был поражен красотой нашей планеты из космоса. После прохождения плотных слоев атмосферы космонавт, увидев Землю и космическую зарю, воскликнул «красота-то какая!» Взгляд из

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

космоса на Землю обогатил и эстетическую сторону человеческих ощущений. Оказалось, что Земля из космоса значительно красочнее Земли, наблюдаемой с самолета. Космос подарил нам богатейшую палитру красок, необычные сочетания.

«Восток-2». Не прошло и четырех месяцев со времени полета Ю. А. Гагарина, как 6 августа 1961 г. в 9 ч был произведен запуск на орбиту космического корабля «Восток-2», пилотируемого Германом Степановичем Титовым. Полет Титова продолжался 25 ч 18 мин, за это время он пролетел по орбите около 700 000 км, совершив более 17 оборотов вокруг Земли, и 7 августа в 10 ч 18 мин благополучно возвратился на Землю. Полет Г. С. Титова значительно расширил представление о возможности визуальных наблюдений из космоса. На пресс-конференции, состоявшейся 11 августа 1961 г. в Актовом зале Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (МГУ), космонавт рассказал о своих впечатлениях [148]:

«Когда Солнце не попадало в иллюминаторы, можно было одновременно наблюдать и освещенную Солнцем Землю, и звезды — четкие и яркие точки на очень черном фоне...

...Перед выходом из тени можно было отличить Землю от неба. Земля, неосвещенная Солнцем, отличалась от неба своим сероватым светлым тоном...

Очень интересно наблюдать за Землей из космоса. Можно различать реки, горы, обработанные поля (поля сжатые, вспаханные, необработанные и т. д. отличаются цветом). Хорошо видны облака. Их легко отличить от снега — по тени, отбрасываемой ими на поверхность Земли. Иногда в иллюминатор попадает горизонт Земли — очень интересная картина — через все цвета радуги переход от освещенной Земли к черному небу, голубой ореол...

Перед спуском я не закрыл шторы иллюминаторов и с интересом наблюдал яркое свечение воздуха, обтекающего корабль при входе в плотные слои атмосферы, и изменение цветов этого свечения по мере изменения скорости и высоты».

В отчете о полете космического корабля «Восток-2» Г. С. Титов дал первое описание светящихся частиц [97]:

«В правом иллюминаторе пошел как будто снег. Если светящаяся частица проходит вблизи корабля, то заметны ее

большие размеры и размытая форма. На больших расстояниях от иллюминатора частицы воспринимаются как мелкие светящиеся точки-снежинки».

В начале второго витка Титов впервые в мире провел киносъемку из космоса. Короткими сеансами киносъемка проводилась на протяжении всего полета.

«Восток-3» и «Восток-4». Через год после полета Г. С. Титова 11 августа 1962 г. в 11 ч 30 мин на орбиту спутника Земли был выведен космический корабль «Восток-3», пилотируемый Андрияном Григорьевичем Николаевым. А через день 12 августа 1962 г. в 11 ч 02 мин на орбиту был выведен космический корабль «Восток-4», пилотируемый Павлом Романовичем Поповичем.

Уже на первом витке полета А. Г. Николаев сообщил: «Чувствую себя хорошо. На борту все нормально. В иллюминаторе хорошо видна Земля. Космонавт Николаев». А на четвертом витке полета он сообщил о том, что отчетливо видит горы, шоссейные дороги и реки. На пресс-конференции, состоявшейся 21 августа 1962 г. в Актном зале МГУ, А. Г. Николаев и П. Р. Попович более подробно рассказали о своих наблюдениях [148].

Результаты своих наблюдений А. Г. Николаев и П. Р. Попович опубликовали в статье «Как выглядит Земля из космоса?» (Природа, 1963, № 1). Они подметили много новых интересных деталей. В частности, оказалось, что при длительном полете легко определяются материки и океаны по характерному цвету, очертаниям и рельефу.

Космонавты хорошо различали города, горы, искусственные водохранилища, массивы лесов и возделанные поля. Крупные реки из космоса выглядят причудливо извивающимися желтыми лентами. При наблюдении морей и океанов четко видна береговая линия, а по изменению цвета выявляется переход от малых глубин к большим. При этом различные моря и океаны имеют характерные оттенки цветов. Николаев и Попович наблюдали белоснежные вершины гор Тянь-Шаня и Гималаев, долины и ущелья, светло-желтые реки, пустыни Гоби и Сахара, грозные явления, огни ночных городов. Они продолжили наблюдения светящихся частиц и ударного слоя при полете спускаемого аппарата в плотных слоях атмосферы. Интересны проведенные ими наблюдения поверхности Земли при полете на ночной стороне. Во время их полета было

полнолуние и на поверхности Земли, освещенной Луной, на фоне серой пелены виднелись освещенные города.

«Восток-5» и «Восток-6». Космический корабль «Восток-5», пилотируемый Валерием Федоровичем Быковским, был выведен на орбиту 14 июня 1963 г. в 15 ч. А 16 июня 1963 г. в 12 ч 30 мин на орбиту был выведен космический корабль «Восток-6», впервые в мире пилотируемый женщиной — Валентиной Владимировной Терешковой.

На пресс-конференции, состоявшейся 25 июня 1963 г. в МГУ, космонавты поделились наиболее яркими впечатлениями [148]. В. Ф. Быковский в своем выступлении, рассказал:

«Ведя наблюдения за Землей, я хорошо видел реки, моря, озера, океаны. Водная поверхность сильно отличается от суши. Вода в морях и океанах имеет различный цвет. Очень хорошо заметна кривизна горизонта Земли. Сам горизонт при выходе из тени Земли имеет красивую гамму красок, причем преобладают цвета красного оттенка. На Земле видны дороги, города. Особенно ярко видны города в ночное время».

С космического корабля «Восток-6» В. В. Терешкова сфотографировала дневной и сумеречный горизонт. Эти фотографии были использованы для оценки высотного распределения атмосферного аэрозоля и положили начало инструментальным исследованиям оптически-активных компонентов атмосферы с пилотируемых космических кораблей [177].

«Восход». Трехместный космический корабль «Восход», пилотируемый Владимиром Михайловичем Комаровым, Константином Петровичем Феоктистовым и Борисом Борисовичем Егоровым был выведен на орбиту 12 октября 1964 г. в 10 ч 30 мин. Через день после завершения полета на пресс-конференции, состоявшейся на космодроме Байконур 14 октября 1964 г., космонавты рассказали о том, что они видели из космоса [117]:

«...К. П. Феоктистов. Новое и необыкновенное, как я вам уже говорил, это верхний слой яркости. Он виден на освещенной стороне Земли, и не один, а даже несколько слоев яркости как бы прочерчивают атмосферу. Это явление нестабильно, изменчиво. И еще раз о полярных сияниях. Нам пришлось видеть их с высоты в несколько сотен километров, когда мы пролетали над Антарктидой. Представьте себе, что вдоль горизонта разворачиваются, как занавес, лучи света. На Земле полярное сияние выглядит не так...

3.1. Наблюдения с первых космических пилотируемых кораблей

Нам удалось несколько раз наблюдать заход и восход Солнца... Картина выглядит примерно так: вот темная поверхность Земли, затем голубой ореол, чем выше — тем он ярче.



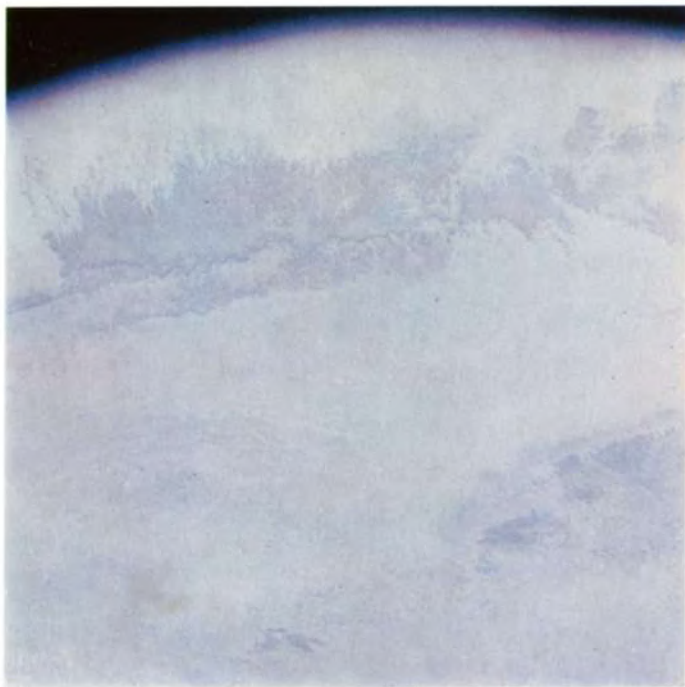
Гималаи. Индия, штат Пенджаб.

Позднее появляется оранжевая полоска. Наконец, резкая яркая черточка, вытянутая — это Солнце. Сначала Солнце выглядит так же, как и на Земле, — красным, а потом, когда оно выйдет из-за атмосферы, оно сияет ослепительным блеском. Любопытно то, что Солнце в момент восхода претерпевает

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

такие эволюции: вначале мы видим только яркую черточку, потом овал, и, наконец, когда оно восходит над атмосферой, диск. Все эти события разворачиваются очень быстро, буквально за несколько секунд, так как корабль наш двигался навстречу восходу.

Несколько слов еще о горизонте. Он светлый, беловатый, потом становится голубее. Затем мы видим тот самый слой



Пустыня Сахара.

яркости. Иногда их бывает несколько, правда, больше трех мы не наблюдали. Но когда мы видели три слоя, то атмосфера казалась похожей на слоеный пирог...

В. М. Комаров. К сожалению, большая часть поверхности Земли была закрыта облачным слоем, и днем не удавалось разглядеть что-либо знакомое. Зато ночью — ночью были хорошо видны огни городов. Вот сейчас я вспоминаю, что, когда мы пролетали над Австралией, мы видели несколько горо-

дов. Они выглядят, как красно-оранжевые созвездия. Очень четко очерчены границы городов. Еще запомнился мне вид индийского порта Калькутты. Мы пролетали почти над ним, и по нашему глобусу, когда увидели это блестящее созвездие, ограниченное линией моря, мы узнали, что это Калькутта.

К. П. Феоктистов. ...Пожалуй, самое любопытное, как мы с нашей высоты рассматривали Мадагаскар. Из-за океана как бы выплыл южный нос этого острова, а затем и весь он, видный вполне отчетливо.

В. М. Комаров. Несколько слов о полюсах Земли. Отлично видна их белая поверхность. Четкая граница между водой и льдом, различимы даже отколовшиеся от массива льдины, они выглядят как мелкие крошки, насыпанные на поверхность воды. А сама вода планеты различного цвета. Прибрежная часть, как правило, бело-серая, а дальше серо-голубая...

После возвращения в Москву на пресс-конференции, состоявшейся 21 октября 1964 г., К. П. Феоктистов подробно рассказал о наиболее интересных результатах наблюдений атмосферно-оптических явлений, проводившихся по заранее разработанной программе [148]:

«Как правило, на дневной стороне Земли наблюдается горизонт, как граница атмосферы Земли и «слой» голубого ореола с четкой верхней границей. Высота этого слоя ориентировочно составляет 15'. Мне верхняя граница этого ореола представлялась более четкой, чем видимая граница между Землей и атмосферой.

После захода корабля в тень Земли удавалось наблюдать слой яркости на высоте 60–100 км над границей между Землей и атмосферой. Этот слой хорошо наблюдается непосредственно под Луной, и постепенно яркость его падает по мере удаления района наблюдения от направления на Луну. Между слоем и поверхностью Земли хорошо видны звезды, хотя их яркость и заметно меньше под слоем. Яркость слоя близка к яркости наблюдаемой на горизонте поверхности Земли, освещенной Луной. Интересны наблюдения горизонта перед выходом корабля из тени Земли.

Задолго до выхода из тени можно наблюдать, как бледнеет верхний слой яркости (о котором я говорил ранее), над горизонтом появляется голубой ореол, постепенно бледнеющий и без резкой границы переходящий в черный цвет космического пространства. Высота этого ореола в несколько раз боль-

ше, чем на дневной стороне. Постепенно ореол становится все ярче. Наконец, внизу на границе Земли и атмосферы он становится красноватым. Этот нижний слой становится все ярче, и вдруг над горизонтом появляется сначала яркая красноватая черточка, быстро превращающаяся в сильно вытянутый овал, и затем над горизонтом появляется часть диска Солнца, затем показывается весь диск и через мгновение яркий солнечный свет заливает всю кабину. Это необычайно красочное зрелище.

Наибольшее впечатление на всех нас произвело полярное сияние, которое удалось нам наблюдать в районе Антарктиды за несколько минут перед выходом из тени. Картина была такая: горизонт, затем темное небо, затем верхний слой яркости, подсвеченный Луной, над ним лучи, перпендикулярные горизонту, высотой $6-8^\circ$ с интервалами примерно 2° . По горизонту полярное сияние занимало все видимые поля зрения...

Нам удалось наблюдать светящиеся частицы в иллюминаторы корабля. Обычно это бывало, когда направление наблюдения было перпендикулярно солнечным лучам. У нас всех было четкое ощущение небольшого расстояния до этих частиц — порядка нескольких метров. Мне кажется, что это пылинки, отделившиеся от корабля и освещенные Солнцем...).

Следует подчеркнуть некоторые, наиболее интересные результаты визуальных наблюдений, выполненных космонавтами во время полета космического корабля «Восход». К. П. Феоктистов специально готовился к проведению визуальных наблюдений атмосферно-оптических явлений. На дневном горизонте Земли Феоктистов первым обратил внимание на слои яркости — иногда их было несколько (до трех), которые впоследствии были интерпретированы как стратосферные аэрозольные слои, и отметил их нестабильность и изменчивость, наблюдал из космоса полярное сияние в южном полушарии, обратил внимание на изменение формы изображения Солнца в момент восхода вследствие рефракции в плотных слоях атмосферы. На теневой стороне Земли К. П. Феоктистов первым наблюдал из космоса эмиссионное свечение верхней атмосферы и даже оценил его яркость, как яркость наблюдаемой на горизонте поверхности Земли, освещенной Луной. Ему удалось также дать качественную оценку яркости ударного слоя, образующегося вокруг спускаемого аппарата при полете в плотных слоях атмосферы.

«Восход-2». Двухместный космический корабль «Восход-2», пилотируемый Павлом Ивановичем Беляевым и Алексеем Архиповичем Леоновым, был выведен на орбиту 18 марта 1965 г. в 10 ч.

На втором витке полета 18 марта 1965 г. в 11 ч 30 мин А. А. Леонов совершил выход в открытый космос и после успешного выполнения комплекса намеченных исследований благополучно возвратился в корабль. Президент АН СССР М. В. Келдыш в выступлении на пресс-конференции 26 марта 1965 г. после завершения полета космического корабля «Восход-2» сказал, что «осуществление проведенного эксперимента по выходу человека в космос — одно из самых замечательных свершений на пути освоения космоса» [148].

За короткое время полета «Восхода-2» (около 26 ч) зоркий глаз космонавта и художника сумел подметить ряд ранее неизвестных оптических явлений, наблюдение за которыми оказалось возможным, потому что апогей орбиты космического корабля «Восход-2», составлявший около 500 км, оказался выше, чем у других пилотируемых космических кораблей.

О своих первых впечатлениях о полете и выходе в открытый космос А. А. Леонов и П. И. Беляев рассказали на пресс-конференции, состоявшейся после их возвращения на космодром 21 марта 1965 г. [20]:

«А. А. Леонов. Я много слышал от моих товарищей, побывавших в космическом пространстве о том, как оно выглядит, читал научные труды, слушал лекции. И все-таки, то, что увидел, оказавшись в заатмосферном пространстве, меня удивило. Внизу Земля представляется плоской, и только на горизонте видна ее кривизна. Расстояние в сотни километров, на котором находился корабль, недостаточно для того, чтобы Земля могла казаться нам шаром вроде Луны. Прямо черное-черное небо. Звезды яркие, но не струятся, не мерцают. И Солнце не земное — без ореола, как бы впаянное в черный бархат. Непривычная картина...

П. И. Беляев... Ни один художник еще не рисовал картины необъятного космоса, которая открылась перед нашими глазами. Еще нет писателя, который дал бы художественное описание гигантского космоса. Даже самая смелая мысль фантаста не передаст всю грандиозность космического пространства. Нет, надо все увидеть самим, чтобы воссоздать хотя бы кусочек мироздания. Мы привыкли видеть звезды голубыми,

а нам посчастливилось наблюдать звезды цвета червонного золота. Они будто разбросаны небрежной рукой по черному небу.

А. А. Леонов. И они казались действительно яркими, в самом деле красноватыми, похожими на червонное золото. Я даже нарисовал их в своем бортовом журнале. Кстати, писать и рисовать в невесомости не так уж трудно, надо только карандаш потверже ставить на бумагу и почаще тренироваться.

П. И. Беляев. Все-таки потрясающее зрелище — Вселенная с ее мириадами звезд, Солнцем, разрывающем тьму. Мы внимательно наблюдали за тем, что было видно. Вдруг наше внимание привлек предмет, купающийся в солнечных лучах. Мы даже вскрикнули от удивления и радости. В стороне от корабля, примерно в километре, плыл искусственный спутник Земли. Эта встреча нас очень взволновала. Мне подумалось, что настанет время и встречи в космосе с другими посланцами Земли станут обычными...

А. А. Леонов неоднократно рассказывал о своих впечатлениях во время выхода в открытый космос. Приведем некоторые из этих рассказов [20].

«...Картина космической бездны так меня очаровала, захватила, что не осталось в душе места для каких-то других ощущений. Только успевай смотреть, поражаться да выполнять программу. Самое большое чувство, которое я испытал в космосе, — ошеломляющая необычность. Виды из космоса я представлял по рассказам товарищей. Но недаром говорят: лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. Увидел я бесконечный простор Земли, половину земного шара, а нашу страну — от Черного моря до Сахалина. Я уже говорил: над Черным морем вышел из корабля. Вгляделся: какая красота! Я люблю Черное море. Оно приятно мне в любую погоду. Когда-то часами сидел на берегу, смотрел на переливы красок. С высоты вода выглядит не такой, как с берега, — она однотонная, темно-синяя, с переходом в цвет воронового крыла. Видно «виновато» Солнце — обесцвечивало воду. Заметил в открытом море корабль. В какой-то фантастической книге, помню, герой разглядел из космоса флотилию кораблей. Все они отбрасывали на воду густые тени. Я не увидел теней — со всех сторон корабль освещался Солнцем. Будто он купался в потоке света.

3.1. Наблюдения с первых космических пилотируемых кораблей

В космосе намного больше видишь красок, чем на Земле. И на Земле, конечно, эти краски тоже встречаются, но они не так яркие. Я залюбовался закатом Солнца. Направо, налево, вверх повернул голову — чернота. А между землей и небом будто сияние — красная, палевая, желтоватая полосы. Тревожное зрелище. Чем-то сходное с картинами художника Куинджи. Только отчетливее, контрастнее и, пожалуй, могучее краски...»



Черноморское побережье Турции, г. Трабзон.

Яркие впечатления от полета и небольшие эскизы, выполненные А. А. Леоновым во время полета, легли в основу ряда красочных картин, написанных космонавтом после возвращения на Землю: «Утро в космосе», «Голубой пояс Земли», «На орбите — большая космическая станция» и др. На картинах

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

А. А. Леонов изобразил ряд оптических явлений, которые ему удалось наблюдать во время полета.

Детальный всесторонний анализ всех материалов, полученных во время полета «Восход-2», выявил неизвестные ранее атмосферно-оптические явления на ночном и сумеречном горизонте Земли. При этом некоторые неожиданные результаты удалось объяснить только на основе современных представлений атмосферной оптики [92].



Озеро Туз на территории Турции.

На картине «Утро в космосе» у горизонта Земли изображено восходящее Солнце, окруженное лучами его собственной короны. Анализ этого явления позволил существенно уточнить возможность наблюдений верхней атмосферы Земли

и солнечной короны у сумеречного горизонта Земли [101] и подсказал идею создания коронографа со слабо пропускающим экраном [88]. Было установлено, что условия наблюдения за этим явлением зависят от высоты Солнца над горизонтом и высоты полета космического корабля. Чем выше поднимается космический корабль, тем меньше становится угловой размер сумеречного ореола атмосферы, в то время как угловой размер солнечной короны остается постоянным. Поэтому на определенной высоте полета (у «Восхода-2» она достигала 500 км) солнечная корона будет замечена через слабо светящиеся слои верхней атмосферы Земли [91, 101]. Через десять лет после полета «Восхода-2» эта идея была использована во время второго полета А. А. Леонова на космическом корабле «Союз-19» по программе советско-американского полета «Союз» — «Аполлон» при выполнении эксперимента «Искусственное солнечное затмение» [83].

На ряде картин А. А. Леонова у сумеречного горизонта Земли изображены три резко очерченных цветных слоя — красный, желтый и голубой — без плавных переходов между ними, как это видели другие космонавты. Размер каждого из этих слоев составлял около 10', что с высоты 500 км соответствует 8 км. Дело в том, что с высоты 250 км цветовые слои сумеречного ореола имеют значительно большие угловые размеры (около 15'), поэтому космонавты видят и области плавных цветовых переходов между ними. С высоты 500 км из-за уменьшения угловых размеров слоев и переходных зон между ними взору Леонова предстала картина резко разделенных цветовых слоев [286].

На дневном горизонте космонавт обратил внимание на слои яркости, которые впоследствии были интерпретированы как стратосферные аэрозольные слои. На одном витке полета космического корабля «Восход-2» Леонов наблюдал резко очерченный слой серо-голубого цвета высотой около 80 км у ночного горизонта Земли. Через этот слой можно было видеть звезды и планеты, но цвет их менялся с белого на красный, когда наблюдения проводились сквозь этот слой. Можно предположить, что это изменение цвета звезд и планет связано с селективным ослаблением их излучения в серебристых облаках, которые обычно локализованы на высоте 80—85 км [28, 29]. Если предположение будет подтверждено, то это явление можно использовать для обнаружения и иссле-

дования серебристых облаков из космоса на ночной стороне Земли.

Еще одно интересное явление, наблюдаемое Леоновым с борта космического корабля «Восход-2», нашло отражение в картине «На орбите — большая космическая станция». По изображенному на этой картине восходу Солнца впервые было высказано предположение о способности атмосферы Земли создавать заметное зеркальное отражение под небольшими углами скольжения [91, 93]. В дальнейшем это явление было подтверждено наблюдениями и фотографиями с других космических кораблей [84]. Наблюдения за зеркальным отражением Солнца от атмосферы Земли натолкнули на мысль о возможности объяснения ряда атмосферно-оптических явлений зеркальным (френелевским) отражением как при входе световых лучей в плотные слои атмосферы, так и при выходе за ее пределы [97], а также о принципиальной возможности исследования зеркального отражения от атмосфер других планет и комет. Возможно, что зеркальным отражением при выходе лучей из плотных слоев атмосферы можно объяснить такие наблюдаемые на Земле явления, как таинственные огни Мпары, зеленый луч, зарницы, миражи и т. п. [100]. Появление в море миражей тоже может быть связано с заметным зеркальным отражением при выходе световых лучей за пределы плотных слоев атмосферы [63]. Во время выхода в открытый космос Леонов впервые наблюдал зеркально-диффузное отражение от мокрого весеннего снега с настом в виде солнечного блика в районе Волги и на полях Казахстана [83].

19 марта 1965 г. в 3 ч 30 мин при полете над Вьетнамом он впервые наблюдал грозовой фронт с десятками грозовых разрядов, которые освещали мощные кучевые облака, акватории морей, крупных рек и заболоченной местности.

С корабля «Восход-2» хорошо были видны шлейфы желтых дымов химических предприятий, связанных с производством азотной кислоты.

3.2. Оптические исследования с космических кораблей «Союз»

«Союз-3». Космический корабль «Союз-3», пилотируемый Георгием Тимофеевичем Береговым, был выведен на орбиту 26 октября 1968 г. в 11 ч 34 мин. Береговой одним из первых

наблюдал характерную картину пространственного распределения эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли после захода Солнца [97]. Результаты наблюдений космонавт записывал и зарисовывал на страницах боржурнала. В отчете о полете «Союза-3» Береговой отметил, что наблюдавшаяся им картина имела устойчивый характер и напоминала «вертикальные полосы дождя, если смотреть на него издали». Высота этого нитевидного свечения над горизонтом составляла



Южная Америка, район между 29 и 31° ю. ш.

2,5—3 высоты первого эмиссионного слоя. Однако анализ результатов этих наблюдений и их интерпретация как явления горизонтальной неоднородности эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли, проявляющейся в виде вертикально-лучевой структуры, были выполнены только в конце 1971 г. [24, 146] после анализа и интерпретации результатов визуальных наблюдений сумеречного горизонта, выполненных А. Г. Николаевым и В. И. Севастьяновым с космического корабля «Союз-9» в июне 1970 г. [26].

Во время полета на «Союзе-3» Г. Т. Береговой фотографировал облака, снежный покров и видимый горизонт Земли. После полета был выполнен фотометрический анализ снимков



Полуостров Камчатка.

дневного горизонта. По-видимому, Береговой впервые наблюдал из космоса пыльную бурю, циклоны и тайфуны, очаги лесных пожаров и грозовые явления. Он проводил исследования работоспособности зрительной системы в условиях космического полета [149].

«Союз-4», «Союз-5». Космический корабль «Союз-4», пилотируемый Владимиром Александровичем Шаталовым, был выведен на орбиту 14 января 1969 г. в 10 ч 39 мин. Космиче-

ский корабль «Союз-5», пилотируемый Борисом Валентиновичем Волиновым, Алексеем Станиславовичем Елисеевым и Евгением Васильевичем Хруновым, был выведен на орбиту 15 января 1969 г. в 10 ч 14 мин. На следующий день в 11 ч 20 мин была успешно осуществлена их стыковка. В этот же день Е. В. Хрунов и А. С. Елисеев через открытое космическое пространство перешли из космического корабля «Союз-5» в космический корабль «Союз-4».

С космического корабля «Союз-5» проводились визуальные наблюдения и спектрографирование облачного покрова и поверхности Земли, сумеречного и дневного ореола земной атмосферы [26, 61, 146], характерных геолого-географических образований земной поверхности, облачного и снежного покрова Земли, циклонов и тайфунов. 15 января 1969 г. Шаталов с «Союза-4» впервые наблюдал из космоса инверсионный след от ракеты-носителя, выводившей на орбиту космический корабль «Союз-5» [149]. С «Союза-5» впервые была сделана попытка определить высоту первого эмиссионного слоя ночной атмосферы по времени прохождения звезды Нат (β Тельца) через ночной святающийся слой [26, 146]. Впервые были получены спектры излучения атмосферы и поверхности Земли в видимой области спектра [129].

Во время перехода с космического корабля «Союз-5» в «Союз-4» Е. В. Хрунов и А. С. Елисеев осмотрели корабли, провели наблюдения звезд и планет, выполнили фото- и киносъемку. На пресс-конференции о своих впечатлениях во время перехода через открытый космос рассказал Е. В. Хрунов [149].

Во время полета космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» космонавты продолжили исследования влияния условий космического полета на некоторые функции зрительной системы [202]. По рассказам космонавтов, прозрачность атмосферы над различными географическими регионами Земли различна. Самая чистая атмосфера над Тихим океаном в районе Курильских островов и Камчатки. Над континентами атмосфера более мутная, чем над океанами. Очень чистая атмосфера над горными районами. Это наблюдение подтверждается фотографиями, полученными с космических кораблей. Е. В. Хрунов одним из первых обратил внимание на существенное различие картин земной поверхности, наблюдаемых с борта космического корабля, и их изображение на фотогра-

фиях. По его мнению, на фотографиях создается впечатление, что снимок сделан через какую-то рассеивающую среду, поэтому и контрасты отдельных деталей на фотоснимках всегда меньше, чем при визуальных наблюдениях.

В программу предполетной подготовки экипажей «Союза-4» и «Союза-5» было включено изучение особенностей распределения облачного и снежного покрова, ознакомление с образцами фотографий, с предполагаемыми районами наблюдения циклонов, тайфунов и ураганов. В полете космонавты наблюдали грозовые явления, циклоны, облачные вихри. Сообщения об этих наблюдениях позволили в ряде случаев уточнить положение циклонов и рассчитать скорость их движения. В Аравийской пустыне с космического корабля «Союз-4» хорошо были видны песчаные дюны, тянущиеся ровными рядами на сотни километров. С космического корабля «Союз-5», вероятно, впервые проводилось спектрофотометрирование отдельных участков поверхности Земли и облаков [201].

Групповой полет космических кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8». Космический корабль «Союз-6», пилотируемый Георгием Степановичем Шониным и Валерием Николаевичем Кубасовым стартовал 11 октября 1969 г. в 14 ч 10 мин. Космический корабль «Союз-7», пилотируемый Анатолием Васильевичем Филипченко, Владиславом Николаевичем Волковым и Виктором Васильевичем Горбатко, был запущен в космос 12 октября 1969 г. в 13 ч 45 мин, а еще через сутки 13 октября 1969 г. в 13 ч 29 мин на орбиту был выведен космический корабль «Союз-8», пилотируемый Владимиром Александровичем Шаталовым и Алексеем Станиславовичем Елисеевым. Программа группового полета космических кораблей предусматривала дальнейшее развитие визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований атмосферы и поверхности Земли, облачного и снежного покрова, циклонов, грозовых явлений, лесных пожаров, характерных геолого-географических образований [149]. Программа предусматривала также наблюдения звезд на ночной и дневной стороне Земли, наблюдения иллюминаторов, космических кораблей и световых индексов, исследования влияния условий космического полета на функции зрительной системы.

В программу научных исследований входило также изучение возможностей использования пилотируемых космических

кораблей в интересах различных отраслей народнохозяйственной деятельности. С этой целью проводились эксперименты по изучению характерных геологических участков и выявлению принципиальной возможности поиска полезных ископаемых из космоса. С этой же целью определялись границы распространения снежного и ледяного покрова, характеристики отражения лесных массивов, пустынь и других участков земной поверхности. С космического корабля «Союз-7» впервые был осуществлен совмещенный эксперимент по фотографированию отдельных участков территории Советского Союза с самолетов и из космоса. Фотографии, полученные при проведении совмещенного эксперимента, были использованы для отработки оптических методов исследований из космоса при решении различных народнохозяйственных задач, в том числе и для изучения влияния передаточной функции атмосферы на результаты оптических исследований из космоса.

Во время группового полета космических кораблей «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8» космонавты выполнили ряд метеорологических исследований. Они проводили наблюдения и фотографировали облачный покров, развитие и перемещение циклонов и тайфунов, изменения снежной обстановки в горных районах Советского Союза. Результаты этих наблюдений оперативно передавались на Землю. В частности, члены экипажа космического корабля «Союз-8» 17 октября 1969 г. наблюдали циклоны в районе Африки, в Атлантическом океане юго-восточнее Кубы и юго-западнее Англии, а также фотографировали тайфун у берегов Америки. На следующий день 18 октября 1969 г. они наблюдали и фотографировали мощный циклон у берегов Камчатки и в районе Сахалина [149]. С космического корабля «Союз-7» было проведено спектрографирование атмосферы и облачного покрова, в южном полушарии космонавты неоднократно наблюдали грозовые явления.

В ходе полета и маневрирования космические корабли «Союз-7» и «Союз-8» сближались до расстояния 500 м, что позволило экипажам визуально наблюдать друг друга и осуществлять связь с помощью световых индексов. Через иллюминаторы космонавты ясно различали панели солнечных батарей, антенны и другие детали космических кораблей. Во время сближения космонавты проводили фотографирование и кино съемку космических кораблей с целью определения видимо-

сти объектов на различных расстояниях. Результаты этих исследований были необходимы для последующего решения ряда задач по отработке операций по сближению и стыковке при создании долговременных орбитальных станций. В ходе этих маневров космонавты определяли расстояние до кораблей и параметры относительного движения — скорость сближения и угловую скорость смещения линии визирования. Космонавты В. А. Шаталов и А. С. Елисеев с космического корабля «Союз-8» наблюдали за выполнением маневрирования и закрутки на Солнце космического корабля «Союз-7». Ручная ориентация космических кораблей осуществлялась либо по солнечным теневым индикаторам, либо с помощью оптического визира, имеющего два поля зрения: одно для ориентации относительно местной вертикали, другое для ориентации по курсу. Оптический визир использовался и при сближении космических кораблей, причем по достижении визуальной видимости кораблей оптический визир переводился в положение, параллельное продольной оси корабля [97].

В процессе полета космических кораблей «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8» отработывалось несколько методов космической навигации, основанных на измерении как высоты звезд над горизонтом, так и положения корабля относительно наземных ориентиров. В связи с этим корабли были оснащены астроориентаторами, автоматическими звездными датчиками, секстантами и другими оптическими приборами. Точность навигационных приборов в экспериментах по звездной ориентации оценивалась методом измерения угловых расстояний между звездами с помощью секстанта, а также посредством автоматического астроориентатора. При проведении этих экспериментов космонавты через иллюминаторы орбитального отсека и спускаемого аппарата проводили опознавание звезд и созвездий на ночной стороне Земли и наблюдения звезд на дневной стороне. По рассказу В. Н. Волкова, «на дневной стороне четко видны звезды первой и второй величины» [149]. По этим данным можно было оценить яркость рассеянного излучения иллюминаторов в несколько кд/м². Экипажи космических кораблей «Союз-7» и «Союз-8» продолжали исследования влияния микрометеоритной эрозии и других условий космического полета на состояние иллюминаторов и оптических систем кораблей.

О результатах визуальных наблюдений с космического ко-

рабля «Союз-6» очень образно рассказал командир экипажа Г. С. Шонин: «...За ними (иллюминаторами — *Прим. ред.*) на фоне черного неба масса белых частичек, которые движутся вместе с кораблем. Они самых различных размеров, движутся хаотически и постепенно отстают...



Горы Куньлунь и пустыня Такла-Макан.

Подплываю к иллюминатору и вижу красивейшую картину: поблескивая в лучах Солнца и оставляя за собой длинный спиралеобразный шлейф из сливающихся компонентов топлива, летит, медленно вращаясь, последняя ступень ракеты-носителя.

Я знал, что над Землей одновременно бушуют тысячи гроз, но не мог себе этого представить. А там, в космосе уви-

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

дел их воочию. Отблески зарниц сопровождали нас все время, пока мы летели в тени. С сожалением отмечали, что почти все уголки планеты охвачены пожарами. На Аравийском полуострове, в долине Тигра и Ефрата ночью видно много ярких



Горы Куньлунь и пустыня Такла-Макан.

факелов — очевидно, горели выходы природного газа. В Африке, Южной Америке, Индонезии горели леса. Такие пожары легко обнаруживались даже днем по длинным шлейфам дыма.

По темным коричневым полосам, нанесенным ветром с Атласских гор на желтый песок Сахары, можно судить о господствовавших там ветрах. Пустыня Такла-Макан представлялась мне сверху ровным дном высохшего моря, окаймленного скалистыми берегами. Крымский полуостров в лучах вечернего Солнца выглядел почти так же, как на цветной карте учебника географии».

«Союз-9». Космический корабль «Союз-9», пилотируемый Андряном Григорьевичем Николаевым и Виталием Ивановичем Севастьяновым стартовал 1 июня 1970 г. в 22 ч. Визуальные наблюдения и инструментальные оптические исследования, выполненные во время 18-суточного полета космического корабля «Союз-9», дали много новых материалов для изучения природной среды из космоса. Николаев и Севастьянов обнаружили ряд новых атмосферно-оптических явлений, анализ и интерпретация которых позволили существенно уточнить пространственно-временное распределение областей излучения верхней атмосферы. В качестве примеров в работе [97] приведены результаты ряда наблюдений космонавтов, зарегистрированные в виде записей и рисунков на страницах бортовых журналов.

В программу научно-технических исследований и экспериментов экипажа «Союза-9» были включены визуальные наблюдения и фотографирование геолого-географических объектов и образований, поверхности суши и океанов в различных регионах земного шара. Программой также предусматривалось проведение визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований атмосферных образований, снежного и ледяного покрова Земли в интересах оперативного и долгосрочного метеорологического прогнозирования [149].

В первые дни полета А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов наблюдали и фотографировали геолого-географические объекты на земной поверхности, анализировали загрязнение иллюминаторов и наблюдали световые эффекты при работе двигательной установки, определяли размеры светящихся частиц и различных предметов вблизи иллюминаторов, выполняли исследования по изменению контрастной чувствительности зрительной системы при работе с приборами. На освещенной стороне Земли космонавты фотографировали облачный покров планеты, наблюдали циклоны и шторм, причем хорошо были видны волны берегового прибоя.

Впервые по рекомендации Центра управления полетом корректировалась методика проведения некоторых экспериментов, что дало возможность провести эти эксперименты более качественно с учетом изменявшихся условий [149].

Программой полета «Союза-9» предусматривалось проведение ряда совмещенных экспериментов. Фотосъемка отдельных районов Европейской территории СССР, Казахстана

и Западной Сибири проводилась одновременно с борта «Союза-9» и с самолетов аэрогеологической разведки. Над акваторией Индийского океана был осуществлен уникальный эксперимент по одновременному фотографированию облаков с космического корабля «Союз-9», метеорологического спутника «Метеор» и научно-исследовательского судна «Академик Ширшов».

С помощью ручного спектрофотометра РСС-2 космонавты провели фотографирование и спектрометрирование сумеречно-го и дневного горизонта Земли, характерных облачных и снежных образований. По времени прохождения через ночной светящийся слой Венеры и Юпитера определялась высота этого слоя. Космонавты провели испытания нового автоматического звездного датчика ориентации, обеспечивающего точную и уверенную ориентацию космического корабля на фоне сильных световых помех. Были продолжены наблюдения звезд на дневной стороне Земли. Через противосолнечный иллюминатор 6 июня космонавты наблюдали одновременно освещенную Землю, созвездие Южного Креста и некоторые яркие звезды: α и β Центавра, Канопус, Сириус и другие. По результатам этих наблюдений можно было оценить яркость противосолнечного иллюминатора космического корабля «Союз-9». Она составляла несколько десятков кд/м^2 [97].

Наиболее интересные наблюдения экипаж космического корабля «Союз-9» выполнил на сумеречном горизонте Земли и при полете в районе терминатора. Наблюдения светящихся столбиков и «разлохмачивания» верхней границы эмиссионного излучения верхней атмосферы в сумеречной зоне позволили обнаружить неизвестное ранее явление горизонтальной неоднородности эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли в сумеречной зоне, проявляющегося в виде вертикально-лучевой структуры [207]. При полете в зоне терминатора с космического корабля «Союз-9» впервые была обнаружена характерная для сумеречной зоны картина пространственного распределения излучения атмосферы, которую космонавты называли «эффектом усов» [26, 146, 173, 182]. Подробный анализ и интерпретация этого явления была предложена одним из авторов этой книги в 1974 г. после детального и всестороннего обсуждения результатов наблюдений с экипажем космического корабля «Союз-9» [95, 96]. Было показано, что пространственная картина излучения атмосферы в виде «усов» связана

с нависанием освещенного Солнцем сумеречного слоя верхней атмосферы с находящимися в тени и излучающими вследствие многократного рассеяния плотными слоями нижней атмосферы. При этом яркость сумеречного излучения верхней атмосферы и яркость плотных слоев нижней атмосферы заметно превышает яркость расположенного между ними слоя средней атмосферы. Этот вывод имеет большое значение для правильного понимания пространственного распределения сумеречного излучения земной атмосферы и, в частности, при интерпретации результатов измерений с Земли, самолетов и аэростатов сумеречного излучения атмосферы.

9 июня 1970 г. экипаж космического корабля впервые наблюдал на сумеречном горизонте Земли еще одно оптическое явление, которое было интерпретировано как серебристые облака [137]. В настоящее время трудно проверить справедливость такой интерпретации этого явления. Если она справедлива, то это наблюдение впервые показало принципиальную возможность исследования серебристых облаков из космоса на сумеречном горизонте Земли.

При полете над сумеречной зоной и над дневной стороной Земли Николаев и Севастьянов часто наблюдали инверсионные следы самолетов, которых особенно много над Европой и Северной Америкой.

После завершения полета В. И. Севастьянов высказал свое мнение о преимуществах визуальных и инструментальных оптических исследований из космоса [151]:

«...Появление космических снимков, на которых объекты исследования уменьшены в миллионы раз, привело к возникновению нового качества — ультрагенерализации деталей земной поверхности. В этом случае начинают проявляться такие черты строения земной коры, которые обусловлены наиболее общими, глобальными причинами.

Чем выше над Землей поднимается точка наблюдения, тем лучше просматривается глубинное строение нашей планеты. Через чехол рыхлых отложений как бы просвечивает строение глубинных горизонтов земной коры.

Каждому из нас известны Уральские горы. И то, где они начинаются и где кончаются. Однако сейчас, опираясь на новые материалы исследований, геологи достаточно обоснованно говорят о том, что подвижная зона смятия и разломов Уральской складчатой системы продолжается далеко на юг...

Во время полета на «Союзе-9» мне неоднократно приходилось наблюдать рельеф дна в прибрежных руслах рек, когда-то впадавших в моря и океаны. За много километров от берегов сквозь толщу морской воды просматриваются устья таких рек, как Нил, Амазонка, видно, как постепенно, уступами опускается в океан Южно-Американский континент.

С самолета, конечно, тоже можно разглядеть строение дна, но наблюдениям сильно мешает волнение моря, рябь на его поверхности. А с космической высоты они уже не служат помехами...

Многие космонавты заметили, что в начале полета они видят меньше объектов на Земле, чем в конце полета. Буду говорить о себе. В первые дни я мало что различал с космической высоты. Потом стал замечать суда в океане. Затем суда у причалов. В середине полета обнаружил поезд, подходящий к мосту. Первое время возле дороги виднелись какие-то квадратички. Через несколько дней заметил, что это приусадебные участки. Вскоре стал различать, какие из них вспаханы, а какие нет. В конце полета уже видел постройки на этих участках.

В чем тут дело? Видимо, это естественный процесс ориентации на незнакомой местности. Не последнюю роль здесь, очевидно, играют эмоции, вызываемые необычными условиями полета. На первых порах они отвлекают, а может быть, и каким-либо образом влияют на остроту зрения...

Уже в первых полетах космонавты видели с высоты такие вещи, которые видеть-то теоретически не могли. До этого считалось, что разрешающая способность человеческого глаза — одна угловая минута. Но вот стали летать в космос, и оказалось, что с орбиты видны предметы, угловая протяженность которых меньше минуты...»

«Союз-10». Космический корабль «Союз-10», пилотируемый Владимиром Александровичем Шаталовым, Алексеем Станиславовичем Елисеевым и Николаем Николаевичем Рукавишниковым, стартовал 23 апреля 1971 г. в 2 ч 54 мин, 24 апреля в 4 ч 47 мин «Союз-10» был состыкован с орбитальной станцией «Салют», совместный полет продолжался 5 ч 30 мин.

При возвращении на Землю впервые в истории пилотируемых полетов спускаемый аппарат космического корабля «Союз-10» вошел в плотные слои атмосферы и совершил мягкую посадку на ночной стороне Земли 25 апреля 1971 г. в 2 ч

40 мин. Это позволило космонавтам впервые обнаружить слабое свечение, возникающее вокруг космического корабля при полете в ионосфере на высотах более 100 км [150].

«Союз-12». Космический корабль «Союз-12», пилотируемый Василием Григорьевичем Лазаревым и Олегом Григорьевичем Макаровым был запущен 27 сентября 1973 г. в 15 ч 18 мин. С борта корабля «Союз-12» космонавты, по-видимому, впервые визуально обнаружили некоторые особенности пространственного распределения ночного эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли. При полете в экваториальной зоне они наблюдали над первым эмиссионным слоем ночной атмосферы отдельные области свечения атмосферы, вытянутые в горизонтальном направлении [316]. Впоследствии эти области свечения были интерпретированы как второй эмиссионный слой ночной атмосферы. Космонавты продолжили спектрографирование земной поверхности. Они неоднократно наблюдали и явление эффекта «усов».

В соответствии с программой во время второго дня полета с космического корабля «Союз-12» впервые в Советском Союзе была проведена спектрозональная съемка отдельных участков поверхности Земли из космоса. Космонавтами было получено около 100 фотографий в различных диапазонах спектра от видимого до инфракрасного. По этим снимкам были уточнены картографические характеристики шельфа северо-восточного побережья Каспийского моря и выявлены структуры, перспективные для поиска нефти и газа [97].

«Союз-13». Космический корабль «Союз-13», пилотируемый Петром Ильичем Климуком и Валентином Витальевичем Лебедевым, запущен 18 декабря 1973 г. в 14 ч 55 мин. Программой полета предусматривалось проведение ряда оптических исследований [151], в том числе исследование спектров излучения звезд в ультрафиолетовой области спектра с помощью аппаратуры «Орион-2», многозональное фотографирование отдельных участков поверхности Земли, спектрометрирование атмосферы и поверхности Земли. Орбитальная астрофизическая обсерватория «Орион-2» позволяла проводить спектрографирование слабых звезд и туманностей в диапазоне 200—300 нм со спектральным разрешением 0,6—2,8 нм [43]. При проведении исследований с аппаратурой «Орион-2» командир корабля П. И. Климук ориентировал космический корабль относительно некоторого среднего положения. Борт-

инженер В. В. Лебедев наводил обсерваторию «Орион-2» в заданную область звездного неба и управлял ее работой. Он осуществлял захват сначала первой, затем второй опорной звезды с помощью визирной системы. В результате этого обсерватория нацеливалась на нужную область неба, а дальше ее ориентация осуществлялась в режиме автоматического управления. Спектрографирование звезд проводилось с различными экспозициями от 1 до 18 мин.

С помощью «Ориона-2» было получено около 10 тысяч спектрограмм звезд, пригодных для фотометрической обработки. Подавляющее число спектрограмм получено для сравнительно слабых звезд, блеск которых превышал 10-ю звездную величину. При максимальной экспозиции 18 мин удалось зарегистрировать спектры некоторых горячих звезд почти до 13-й звездной величины [43, 44]. Анализ полученных с помощью аппаратуры «Орион-2» спектрограмм позволил уточнить известные и выявить новые закономерности в ультрафиолетовых спектрах излучения горячих звезд. По спектрам излучения холодных звезд удалось обнаружить хромосферу у звезд поздних спектральных классов. При этом по спектрограммам холодных звезд был сделан вывод о том, что относительная интенсивность хромосферы у очень холодных звезд на несколько порядков больше по сравнению с относительной интенсивностью хромосферы Солнца. С помощью «Ориона-2», по-видимому, впервые получена спектрограмма планетарной туманности IC 2149 и ее ядра в ультрафиолетовой области спектра и зарегистрированы в ультрафиолетовом спектре этой туманности эмиссионные линии алюминия и титана [43].

Экипаж «Союз-13» продолжил работы по многозональному фотографированию поверхности Земли в интересах решения ряда народнохозяйственных задач. На корабле был установлен девятиобъективный фотоаппарат с тремя различными типами пленок. Одна из этих пленок была чувствительна в ближней ИК области спектра, а две — в видимой области. Этот фотоаппарат, во всех девяти объективах которого были установлены различные светофильтры, позволял получить изображения одних и тех же участков поверхности Земли в девяти диапазонах видимой и ближней ИК области спектра [151].

Аппаратурой РСС-2 было продолжено спектрографирование атмосферы и поверхности Земли и получено большое

число спектров в видимой области. В частности, спектры сумеречного ореола атмосферы Земли были использованы при определении цветовых координат и чистоты цвета сумеречного ореола [86]. Каналом фотопривязки прибора РСС-2 при исследовании излучения сумеречного ореола во время восхода Солнца было сфотографировано прямое и зеркально отраженное от атмосферы Земли изображение края диска Солнца при небольших углах скольжения. Подобную картину П. И. Климук наблюдал и визуальнo во время восхода Солнца [22].

«Союз-15». Космический корабль «Союз-15», пилотируемый Львом Степановичем Деминым и Геннадием Васильевичем Сарафановым, был запущен 26 августа 1974 г. в 22 ч 58 мин. Во время полета космонавты провели ряд интересных наблюдений светящихся частиц, полярных сияний, облачного покрова, поверхности Земли и рельефа морского дна [47]. При наблюдении светящихся частиц космонавты заметили, что некоторые частицы напоминают по форме чешуйки, мелкие клочки рваной бумаги и короткие обрывки нити. Это наблюдение еще раз подтвердило, что одним из источников светящихся частиц является разрушающаяся поверхность космического корабля. При полете над Северной Америкой космонавты в районе, близко примыкающем к северному авроральному овалу (58°N и $\Lambda 226^{\circ}$), наблюдали мантийное сияние с ярко выраженными лучистыми формами. По рассказу космонавтов, внизу было видно «светящееся облако», из которого исходили светящиеся столбы. При наблюдении с поверхности Земли это сияние, скорее всего, наблюдалось бы как однородная диффузная область свечения без ярко выраженных дискретных форм. В то же время при наблюдении из космоса хорошо видны и лучистые формы свечения в виде светящихся столбов и складок, которые Л. С. Демин и Г. В. Сарафанов наблюдали из космоса впервые. Они обратили внимание также на то, что ширина светящихся столбов увеличивалась снизу вверх.

В статье [47], опубликованной после завершения полета, космонавты высказывают свои соображения о возможных ошибках в оценках остроты зрения при визуальных наблюдениях из космоса:

«Если наблюдение редкой облачности производилось над океаном и возникала «иллюзия» самолетной высоты полета,

то при появлении в иллюминаторе земной поверхности иллюзия некоторое время сохранялась. Отдельные искусственные сооружения и крупные природные образования на земной поверхности воспринимались как при полете на самолете, и взгляд невольно отыскивал на Земле детали, которые должны быть видны с «самолетной» высоты. Так, при соответствующем освещении крупный горный хребет можно было принять за отдельную гору, большой город — за маленький, огромный лесной массив — за рошу. И только явная несоизмеримость размеров прерывала иллюзию. Некоторые космонавты рассказывали, что они видели на земной поверхности объекты, размеры которых лежат за пределами разрешающей способности глаза. Может быть, описанная иллюзия каким-то образом «повинна» в повышении остроты зрения?»

Над экваториальной частью океана космонавтам удалось заметить процесс возникновения облачности и ее структуру в области восходящих и нисходящих потоков. Экипаж наблюдал как «сплошную ровную облачность, занимавшую все видимое пространство в иллюминаторе», так и «облачность, напоминавшую лунную поверхность, изрытую кратерами». Кратеры — это просветы в облаках. Были видны и ровные гряды кучевых облаков, напоминавших шапки. Расстояния между облаками в отдельных грядах были почти одинаковыми, облачные гряды также отстояли друг от друга приблизительно на равных расстояниях.

При полете корабля к о. Мадагаскар Л. С. Демин и Г. В. Сарафанов наблюдали рельеф дна в северной части Мозамбикского пролива, отделяющего Мадагаскар от Африки. Наблюдения проводились при безоблачной атмосфере, а Солнце светило из-за пролива со стороны острова. По мере удаления от берега Африки вода становилась более темной, затем посветлела. Стало видно дно, покрытое тянущимися вдоль залива «песчаными» валами. Рельеф дна в проливе был примерно такой же, как у песчаного дна мелкой речушки. Естественно, что размеры валов в проливе значительно больше, однако определить их размеры не представлялось возможным. Ближе к острову вода снова потемнела, и вскоре уже была видна прибрежная зона [97].

«Союз-16». Космический корабль «Союз-16», пилотируемый Анатолием Васильевичем Филиппченко и Николаем Николаевичем Рукавишниковым, был запущен 2 декабря

1974 г. в 12 ч 40 мин. Программа орбитального полета предусматривала испытания бортовых систем корабля, модернизированных в соответствии с требованиями совместного советско-американского полета «Союз» — «Аполлон», а также наблюдение и фотографирование атмосферы и отдельных участков поверхности Земли [152]. На пятые сутки полета космонавты фотографировали дневной горизонт в поляризованном свете на трассе протяженностью около 30 тыс. км. В этот же день проводилось фотографирование выбранного участка звездного неба с целью проверки оборудования для запланированного в совместном полете эксперимента «искусственное солнечное затмение». А. Ф. Филиппенко, Н. Н. Рукавишников проводили также исследования световых эффектов вокруг корабля, возникающих в его газопылевом окружении [152].

Программа «Союз» — «Аполлон». Космический корабль «Союз-19», пилотируемый Алексеем Архиповичем Леоновым и Валерием Николаевичем Кубасовым, был запущен 15 июля 1975 г. в 15 ч 20 мин 17 июля в 19 ч 12 мин была осуществлена стыковка советского космического корабля «Союз-19» и американского корабля «Аполлон».

Во время полета «Союза-19» и «Аполлона» были проведены совместные научные эксперименты «искусственное солнечное затмение» и «ультрафиолетовое поглощение» и исследование газопылевого окружения вокруг «Аполлона». Эксперимент «искусственное солнечное затмение» проводился с космического корабля «Союз-19» при полете над сумеречной зоной от восхода Солнца до пересечения линии терминатора одновременно с исследованием газопылевого окружения космического корабля «Аполлон». Этот эксперимент, а также исследование газопылевого окружения «Аполлона» проводились 19 июля 1975 г. на 29-м витке полета «Аполлона» и 36-м витке полета «Союза-19». Перед началом эксперимента корабли в стыкованном состоянии ориентировались продольной осью на Солнце и в этом положении стабилизировались. В заданный момент времени (15 ч 02 мин) корабли расстыковались, сохраняя направление своих осей в пространстве, и постепенно разошлись со скоростью около 1 м/с на расстояние 220 м. Эксперимент проводился при полете над сумеречной зоной, когда для кораблей Солнце уже взошло, а на Земле еще были сумерки, что существенно уменьшило уровень засветки иллюминатора от подстилающей поверхности. В это

время тень от «Аполлона» падала на тот иллюминатор «Союза-19», через который осуществлялась фотосъемка солнечной короны и газопылевого окружения «Аполлона». Для контроля положения тени с «Аполлона» проводилась киносъемка «Союза-19». Фотографирование солнечной короны и газопылевого окружения «Аполлона» осуществлялось автоматически фотокамерой, установленной за иллюминатором, находящимся в крышке люка с интервалом 3 с. На фотокадрах зарегистрировано изображение солнечной короны (точнее зодиакального света) на фоне рассеянного излучения газопылевого окружения «Аполлона», возникавшего при работе его двигателей. По данным Г. М. Никольского, на отдельных кадрах солнечная корона (зодиакальный свет) зарегистрирована от 20 до 50 радиусов Солнца [97]. На некоторых снимках зарегистрированы изображения Меркурия и ярких звезд, что позволило уточнить ориентацию и масштаб полученных изображений. В этих экспериментах впервые была реализована новая методика исследования солнечной короны, зодиакального света и газопылевого окружения космических кораблей.

Другой совместный эксперимент — «ультрафиолетовое поглощение» — был предназначен для измерения концентрации атомарного кислорода и азота в космическом пространстве на высоте полета кораблей «Союз-19» и «Аполлон». Он проводился методом резонансного поглощения в линиях О и N в ультрафиолетовой области спектра. Для этого на «Аполлоне» был установлен комплекс научной аппаратуры, включающей источник ультрафиолетового излучения и приемное устройство, а на «Союзе-19» уголкового отражатели. При выполнении этого эксперимента «Аполлон» совершил облет корабля «Союз-19» на расстоянии нескольких сотен метров, при этом проводилась фотосъемка советского корабля. Данные, полученные на первом этапе эксперимента, не оправдали возлагавшихся надежд. В связи с этим по просьбе американских астронавтов «Союз-19» был развернут на 180° с целью проведения эксперимента с помощью уголкового отражателя, установленного на приборно-агрегатном отсеке «Союза-19». Результаты оказались удовлетворительными.

В программу автономного полета космического корабля «Союз-19» были включены и другие оптические эксперименты. Космонавты фотографировали восход Солнца, проводили фотосъемку отдельных участков земной поверхности, геофизиче-

ские исследования и наблюдения. Солнце фотографировали на черно-белую пленку, специально подобранную для регистрации большого диапазона световых контрастов. Это позволяло регистрировать изображение Солнца от момента его восхода до выхода из-за атмосферы. С целью исключения влияния дисперсии фотографирование проводилось через красный светофильтр, что также уменьшало перепад яркости от кадра к кадру. Снимки Солнца у горизонта Земли были использованы для оценки рефракции световых лучей в атмосфере. Полученные результаты хорошо совпали с данными теоретических расчетов [154]. Таким образом, некоторые научные эксперименты, проведенные на борту «Союза-19», явились продолжением и дальнейшим развитием исследований ряда атмосферно-оптических явлений, за которыми вел наблюдения А. А. Леонов с космического корабля «Восход-2» [97].

«Союз-22». Космический корабль «Союз-22», пилотируемый Валерием Федоровичем Быковским и Владимиром Викторовичем Аксеновым, был запущен 15 сентября 1976 г. в 12 ч 48 мин. Основная цель полета — отработка и усовершенствование научно-технических методов и средств изучения из космоса поверхности Земли и ее геолого-географических характеристик, необходимых для решения народнохозяйственных задач. На борту корабля «Союз-22» была установлена многозональная фотоаппаратура МКФ-6 [154].

Эта аппаратура позволяет одновременно проводить съемку земной поверхности в шести узких участках спектра в диапазоне от 480 до 890 нм, четыре из этих узких участков спектра — в видимой области спектра и два — в ближней инфракрасной. С высоты полета космического корабля «Союз-22» (250–280 км) фотоаппаратура МКФ-6 позволяет производить фотосъемку с разрешением около 20 м на поверхности Земли.

Фотографирование отдельных участков поверхности Земли космонавты начали 16 сентября 1976 г. при полете над районами Восточной Сибири. На следующий день в первой половине дня съемка проводилась над районами Сибири, Байкало-Амурской магистрали, побережья Охотского моря, а во второй половине дня проводилась съемка северо-западных районов территории СССР и фотографирование дневного горизонта Земли с целью изучения оптических характеристик атмосферы. В последующие дни космонавты продолжили съемку территории Советского Союза, ГДР, а также научных

полигонов, типичных для различных районов СССР и ГДР. Одновременно со съемкой из космоса проводилось фотографирование этих же полигонов с самолетов и с поверхности Земли [97].

На третий день полета Быковский и Аксенов произвели фотосъемку Луны, в частности при ее заходе и восходе над горизонтом Земли. Эти эксперименты проводились с целью изучения оптических характеристик фотоаппаратуры МКФ-6 и иллюминатора космического корабля. Результаты были использованы и для оценки оптических характеристик атмосферы Земли.

Космонавты исследовали световые эффекты в зрительной системе, возбуждаемые частицами космических лучей. Исследования проводились в основном при полете над районом Бразильской магнитной аномалии, где такие вспышки были наиболее интенсивными [97].

«Союз-25». Космический корабль «Союз-25», пилотируемый Владимиром Васильевичем Коваленком и Валерием Викторовичем Рюминым, был запущен 9 октября 1977 г. в 5 ч 40 мин. Во время полета космонавты проводили наблюдения за уже известными атмосферно-оптическими явлениями, акваториями морей и океанов, а также за поверхностью суши.

Они отметили некоторые дополнительные детали, представляющие интерес при исследовании природной среды из космоса [67].

Как и другие космонавты, В. В. Коваленок и В. В. Рюмин обратили внимание на необычный зеленоватый цвет Карибского моря, который можно объяснить высокой плотностью свободноплавающих водорослей и планктона в Карибском море. В океанах они неоднократно наблюдали огромные «острова» продолговатой формы в виде почки. По визуальной оценке, длина этих островов достигла 200—300 км, а ширина 100—150 км. Края островов резко отличались от темно-синей поверхности океана изумрудно-зеленым цветом. В середине островов космонавты видели участки желтоватого, коричневатого и изумрудно-зеленого цвета. Эти острова, по-видимому, образованы скоплением мелких свободноплавающих водорослей и планктона около отмелей и небольших островов. Высокая плотность водорослей и планктона приводит к изменению спектральных коэффициентов отражения океана, что визуально воспринимается как изменение цвета. Возможно, что по-

добные острова наблюдал и Г. М. Гречко с орбитальной станции «Салют-4» в 1975 г.

Интересны результаты проведенных Коваленком наблюдений за зыбью в Индийском океане через чистую безоблачную атмосферу и через безоблачную атмосферу с легкой привод-



Южная Америка, район между 30 и 32° ю. ш.

ной дымкой. Из космоса океанская зыбь напоминала стиральную доску. Сначала наблюдения проводились через чистую безоблачную атмосферу. С появлением над зыбью легкой дымки создалось впечатление, что изображение зыби увеличилось. Это явление можно объяснить уменьшением видимых из космоса контрастов зыби, как вследствие изменения характера освещения поверхности океана от прямого и рассеянного атмосферой и дымкой солнечного излучения, так и вследствие изменения передаточной функции атмосферы после появления дымки. В результате при появлении дымки зрительная система космонавта различает не слабоконтрастные небольшие образования зыби, а только крупномасштабные образования, что визуальнo воспринимается как увеличение размеров вол-

новых образований, т. е. создает эффект увеличения.

В дельте Амазонки в регионе размером около $500 \times 500 \text{ км}^2$ космонавты наблюдали коричневый дым, напоминающий смог. Возможно, что это явление было связано с дымкой, образующейся над дельтой, и с мощным выносом Амазонки в Атлантический океан.

При полете над южной частью Южной Америки довольно четко была видна кольцевая структура, образованная из отдельных горных хребтов. По визуальной оценке, диаметр этой кольцевой структуры составлял около 200 – 300 км.

Большое впечатление на космонавтов произвели грозовые поля на ночной стороне Земли, наблюдаемые над Юго-Восточной Азией, Вьетнамом и Индией. Грозовое поле, по визуальной оценке, имело размеры около $1000 \times 1000 \text{ км}^2$. При мощных грозовых разрядах блики от молний создавали заметное освещение внутри кабины космического корабля.

3.3. Визуально-инструментальные наблюдения с орбитальных станций «Салют»

«Салют» – «Союз-11». Орбитальная станция «Салют» была запущена 19 апреля 1971 г. около 4 ч 30 мин. Космический корабль «Союз-11», пилотируемый Георгием Тимофеевичем Добровольским, Владимиром Николаевичем Волковым и Виктором Ивановичем Пацаевым, стартовал 6 июня 1971 г. в 7 ч 55 мин. 7 июня в 10 ч 45 мин после успешно выполненной стыковки корабля «Союз-11» с орбитальной станцией «Салют» экипаж перешел в помещение станции и начал функционировать орбитальный комплекс «Салют» – «Союз-11» [150]. Многоцелевые орбитальные станции «Салют» позволяют проводить широкий комплекс научных исследований и экспериментов в околоземном космическом пространстве. Орбитальная станция – идеальная платформа для проведения научных исследований и экспериментов. Она обеспечивает длительное пребывание экипажа в космосе, оснащена большим количеством научных приборов, размещенных внутри и снаружи станции. Для проведения визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований в отсеках станции 27 иллюминаторов [180].

Экипаж орбитального комплекса «Салют» – «Союз-11»

выполнил большую программу оптических исследований. На станции «Салют» была установлена астрофизическая обсерватория «Орион», с помощью которой было получено шесть спектрограмм звезды Аджена (β Центавра) и девять спектрограмм звезды Вега (α Лиры) в диапазоне 200–380 нм [180].



Северное побережье
Австралии.

Экипаж продолжил наблюдения атмосферно-оптических явлений, звезд и планет, облачного покрова и поверхности Земли. Космонавты исследовали некоторые функции зрительной системы в условиях переменных яркостей. Данные визуальных наблюдений звезд в целом подтвердили полученные ранее результаты: на ночной стороне Земли легко опознаются планеты, звезды и созвездия, в сумеречной зоне видны только самые яркие звезды и планеты, а на дневной стороне Земли их практически не видно. Космонавты обратили внимание на затопевание и даже обмерзание внутренней поверхности наруж-

ного стекла некоторых иллюминаторов. Космонавты продолжили наблюдения за циклонами и лесными пожарами.

В. И. Пацаев 15 июня 1971 г. зарегистрировал пелену над поверхностью Земли при низком положении Солнца, появление которой можно объяснить рассеянием плотными слоями атмосферы солнечного излучения на сравнительно темном фоне поверхности Земли при полете над сумеречной зоной. В этот же день в дневнике Пацаева появляется следующая запись: «Плывущие облака над водой выглядят, как плывущая по воде пена. Цвет океанов — нежно-голубой. Волны видны почти всегда в противосолнечный иллюминатор при высоком Солнце. Видна спутная струя от судов. От самолетов видны инверсионные следы» [180].

Некоторые детали цветowych картин были зарегистрированы в дневнике В. И. Волкова, который он вел на борту орбитальной станции «Салют» [180]: «Аравийский полуостров красного цвета, безжизненная пустыня с заметными следами песчаных дюн. Порой видны какие-то черные точки, за которыми много километров тянется черный шлейф. (По-видимому, нефтяные промыслы и газовые факелы. — *Прим. авт.*) Европейская часть материка сразу узнается по инверсионным следам самолетов, по количеству рек и густонаселенности. Практически весь материк испещрен квадратами разного цвета. Большей частью сочетание цветов — рыжевато-темным. Реки, как правило, имеют грязноватый цвет, а иногда просто белый. Крупные реки темно-синего цвета. Очень любопытно наблюдать солнечный зайчик от корабля (не зайчик от корабля, а либо солнечный блик, либо явление глория. — *Прим. авт.*), бегущий по рекам и озерам и придающий им какое-то яркое свечение. Некоторые реки выглядят зелеными. В Европе есть довольно крупные озера цвета окарины (ржавого цвета).

Австралия имеет характерную, свойственную только ей окраску. Северо-западная часть этого материка — красно-бордовая. На ней рыжие озера, напоминающие окалину, с темно-синими пятнами. Встречаются и белые озера (высохшая земля или соль). Руслу рек самых разнообразных оттенков, темно-сине-зеленые с признаками жизни вдоль них. Чем ближе к юго-востоку, тем темнее становится фон материка. Виден голубой океан, имеющий в некоторых местах у побережья ярко-зеленый оттенок. Появляются и крупные города. Особенно

красив Мельбурн: он из желтых, темно-зеленых и коричневых квадратов, как правило, правильной формы».

Цветовые картины естественных ландшафтов, акватории морей и океанов, рек и озер, искусственных объектов при наблюдении из космоса изменяются вследствие селективности поглощения и излучения атмосферы, т. е. вследствие селективного характера передаточной функции атмосферы. На восприятие космических пейзажей определенное влияние оказывает и изменение параметров цветового зрения в условиях космического полета, это изменение может быть различным у разных наблюдателей.

По программе инструментальных оптических исследований космонавты фотографировали земную поверхность, проводили спектрографирование отдельных участков поверхности Земли и атмосферного ореола на дневном и сумеречном горизонте. Спектрографирование характерных образований в прибрежных районах Каспийского моря 15 июня 1971 г. космонавты проводили одновременно со спектрографированием и аэрофотосъемкой тех же районов с самолета-лаборатории. В этот же день было выполнено одновременное фотографирование с борта «Салюта» и телевизионная съемка со спутника «Метеор» облачного покрова над районами Поволжья.

Во время полета космонавты неоднократно наблюдали циклоны и оперативно передавали эти данные на Землю. В частности, 22 июня они обнаружили и сфотографировали циклон в районе Гавайских островов, а через несколько часов — вблизи берегов Австралии.

Несколько раз космонавты видели пыльные бури, например 19 июня 1971 г. в 14 ч 58 мин над северо-западным побережьем Африки (17°N , $\text{Л}344^{\circ}$). В. И. Пацаев 14 и 24 июня 1971 г. зарегистрировал в своей записной книжке результаты наблюдений светящихся частиц [180]:

«14 июня. Светящиеся частицы сопровождают станцию и летят в разных направлениях. Это пылинки или мелкие крошки...

24 июня. Наблюдал светящиеся частицы перед восходом Солнца. Оказалось — пылинки разной величины на расстоянии 1—10 м от иллюминатора. Двигались с разными скоростями в разных направлениях и некоторые мерцали. Было их около 10 штук».

16 июня 1971 г. во время работы управляющих двигателей

проводилось фотометрирование возникающих при этом световых эффектов.

«Салют-3» — «Союз-14». Орбитальная станция «Салют-3» была запущена 25 июня 1974 г. Космический корабль «Союз-14», пилотируемый Павлом Романовичем Поповичем и Юрием Петровичем Артюхиным, был выведен на орбиту 3 июля 1974 г. в 21 ч 51 мин. 5 июля была осуществлена их стыковка, и космонавты перешли в помещение станции, 19 июля в 12 ч 03 мин корабль «Союз-14» и станция «Салют-3» расстыковались [152].

Космонавты П. Р. Попович и Ю. П. Артюхин за 14 дней полета на орбитальном комплексе «Салют-3» — «Союз-14» выполнили большой объем научно-технических исследований и экспериментов. Задачами фотографических исследований и основными требованиями к фотографической аппаратуре, сформулированными в работе [19], были следующие: «получение материала для создания карт разного масштаба земной поверхности и опорных геодезических сетей, уточнение имеющегося картографического материала, определение формы и размеров Земли, коэффициентов яркостей материков, морей и океанов, различных видов облачности и других объектов Земли, изучение атмосферы и околоземного космического пространства, а также природных ресурсов Земли по снимкам мелкого масштаба и др.

Аппараты для выполнения космической фотосъемки должны обладать высокими измерительными и изобразительными качествами. Ведь съемочная аппаратура в космосе движется очень быстро, а это предъявляет соответствующие требования к созданию высокоскоростных затворов с минимальным генерационным моментом. Есть еще одно требование — максимальная автоматизация съемочного процесса.

В полете необходимо автоматически включать аппарат в заданной точке орбиты и изменять интервал фотографирования в зависимости от изменения высоты полета, менять выдержку при изменении освещенности, автоматически сменять светофильтры при съемке на пленки разной чувствительности, точно фиксировать время фотографирования.

Аппаратура, установленная на пилотируемой станции «Салют-3», отвечала всем требованиям. Экипаж корабля «Союз-14» — летчики-космонавты СССР Павел Романович Попович и Юрий Петрович Артюхин — выполнили с орбитальной

станции многозональную съемку на цветные, спектрозональные и черно-белые пленки и получили уникальные космические снимки в разных зонах спектра).

Несколько примеров использования результатов фотосъемок с «Салюта-3» привел академик Л. И. Седов в ответах на вопросы корреспондента агентства печати «Новости». [97]:

Станция «Салют-3» отсняла значительные участки территории нашей страны, в частности в районе Каспийского моря и Узбекистана...

Та же станция «Салют-3» исследовала сейсмическую активность части территории Узбекистана и Туркменистана. Ее данные были использованы при сейсмическом районировании Байкало-Амурской магистрали.

С борта «Салюта-3» космонавты проводили визуальные наблюдения ночного, сумеречного и дневного горизонта, а затем выполнили спектрографирование дневного горизонта Земли и сумеречного ореола при различных углах погружения Солнца за горизонт. С целью отработки методов автономной навигации было выполнено фотографирование Луны, а также сумеречного и дневного горизонта Земли. Космонавты фотографировали атмосферу и облачный покров над акваторией Атлантического океана, где в это время проводились комплексные исследования глобальных атмосферных процессов по международной программе ТРОПЭКС-74.

«Салют-4» – «Союз-17». Орбитальная станция «Салют-4» была запущена 26 декабря 1974 г. Космический корабль «Союз-17», пилотируемый Алексеем Александровичем Губаревым и Георгием Михайловичем Гречко, был запущен 11 января 1975 г. в 0 ч 43 мин, а 12 января был состыкован с орбитальной станцией «Салют-4» [153].

На борту орбитальной станции «Салют-4» был установлен ряд приборов для исследования в диапазонах спектра, недоступных для исследования с Земли. Среди них гамма, рентгеновский, солнечный и инфракрасный телескопы, работавшие как самостоятельно, так и в сочетании друг с другом. Другая группа оптических приборов была предназначена для изучения атмосферы и поверхности Земли с целью решения ряда научных и народнохозяйственных задач.

Программа оптических исследований и наблюдений с пилотируемой орбитальной станции «Салют-4» включала широкий круг исследований и экспериментов [97]. С помощью со-

лнечного телескопа ОСТ-1 со спектрографом были запланированы измерения спектров излучения характерных солнечных образований (флоккул, вспышек, протуберанцев) в диапазоне 80—130 нм. Для контроля за работой солнечного телескопа на «Салюте-4» был установлен ультрафиолетовый спектрометр КДС, который регистрировал спектр излучения от всего диска Солнца. С помощью инфракрасного телескопа-спектрометра ИТС-К предполагалось проведение измерений спектров инфракрасного излучения источников в космосе, а также атмосферы и поверхности Земли. В программу были также включены измерения спектров поглощения атмосферы Земли в диапазоне 250—295 нм и в области 2,7 мкм методом «затменного зондирования» с целью исследования высотного распределения озона и водяного пара в различных географических регионах, наблюдение и фотографирование облачных образований, акватории и поверхности Земли, наблюдение, фотографирование и спектрографирование атмосферно-оптических явлений, технические эксперименты по отработке оптических приборов, входящих в комплекс автономной навигации и ориентации космических кораблей.

А. А. Губарев и Г. М. Гречко с помощью орбитального солнечного телескопа ОСТ-1 получили около 100 спектров излучения активных областей Солнца в ультрафиолетовом диапазоне [176], причем результаты оказались неожиданными. На спектрограммах обнаружено заметное доплеровское смещение линий излучения атомов в районах флоккул и протуберанцев. По смещению было установлено, что скорости плазмы во флоккулах достигают 100 км/с, что существенно превышает принятые ранее значения около 30 км/с. По спектрам эмиссионных линий установлено, что ионизация в моменты солнечных вспышек в флоккулах в 10^2 — 10^4 раз больше, чем в спокойной хромосфере.

Измерения спектра поглощения атмосферы Земли инфракрасным каналом аппаратуры КСС-2 проводились в диапазоне 3800 — 3825 см^{-1} с полушириной аппаратной функции спектрометра $0,8\text{ см}^{-1}$ [53]. Во время сеансов измерений методом затменного зондирования Солнца на восходе или заходе записывалось до 200 спектров. В работе [53] приведены результаты измерений спектра поглощения стратосферы 21 января 1975 г. над Маршалловыми островами. Показано, что в пределах ошибок восстановления вертикального профиля концен-

трации водяного пара отношение смеси водяного пара в стратосфере и мезосфере может быть принято постоянным и равным 10^{-6} . Эти результаты свидетельствуют в пользу гипотезы «сухой» стратосферы и мезосферы во всяком случае во время проведения исследований в изучаемых географических регионах.

Г. М. Гречко одним из первых обратил внимание на мерцания планет Венеры и Марса при их заходе за видимый ночной горизонт Земли [86]. По визуальной оценке, частота мерцаний составляла 2—4 Гц. Мерцания планет связаны с неоднородностью плотных слоев атмосферы, через которые проводилось наблюдение. Весьма интересны наблюдения сумеречного ореола перед восходом Солнца. Гречко обратил внимание на слой зеленого цвета в нижней части сумеречного ореола при небольших углах погружения Солнца под горизонт. Эти наблюдения хорошо согласуются с колориметрическими оценками, выполненными по спектрам излучения сумеречной атмосферы, которые были получены с помощью ручного спектрографа РСС-2 с космических кораблей «Союз-5», -9, -13» и орбитальной станции «Салют-3» [86].

Анализ некоторых фотоснимков акватории и поверхности Земли, полученных экипажем первой экспедиции на «Салюте-4», приведен в [97]:

«Например, интересен фотомаршрут, проложенный от южной границы СССР в районе Каспийского моря через пустыню Каракумы, низовья Амударьи, пустыню Бетпак-Дала, Северное Прибалхашье до Южного Алтая. Он охватывает полосу шириной 450 км и длиной около 3000 км и пересекает различные геолого-географические регионы.

Особое внимание привлекают снимки, вмещающие всю территорию Бетпак-Далы. Каких-нибудь четверть века назад на картах в этом месте было написано: «Не обследовано». Затем здесь проводилась аэрофотосъемка, работали экспедиции. Считается, что регион изучен хорошо. Однако достаточно сопоставить космический снимок, например, с геоморфологической картой района, чтобы увидеть некоторое несоответствие очертаний отдельных образований. Бетпак-Дала — огромная равнина с малозаметными перепадами высот. Карта показывает несколько узких долин, пересекающих пустыню в северо-восточном направлении: это русла древних притоков реки Чу. Космический снимок свидетельствует, что границы долин кар-

тографами обозначены неточно. Это вполне объяснимо — на местности они прослеживаются плохо, а отдельными аэроснимками изображаются мозаикой, и в ней теряются некоторые важные природные формы.

Сказалось здесь и другое. Аэрофотосъемку выполняют в бесснежные сезоны. В данном случае именно снежный покров и подчеркнул границы. Его толщина в пустыне невелика, и видимая яркость сильно зависит от увлажненности прикрывшей им почвы. Естественно, в низинах увлажненность больше... На космических фотоснимках, сделанных во время первой экспедиции «Салюта-4», долины древних притоков Чу отобразились в виде темноватых полос на фоне более светлых прилегающих участков. Границы полос прослеживаются четко и детально.

Бетпак-Дала издавна используется для весенне-осеннего отгонного скотоводства. Его возможности зависят от запасов естественных кормов и источников пресной воды. Уточнение этих сведений поможет повысить продуктивность животноводства. Фотосъемка с «Салюта-4» вносит большой вклад в решение столь важной задачи. Особенно интересно будет сравнивать данные первой экспедиции с материалами, которые доставит второй экипаж...

В северо-восточном районе того же региона прослеживается скопление кольцевых форм. Они обычно незаметны с поверхности или самолетов, но именно к ним часто приурочены залегания полезных ископаемых.

Интересные результаты дала фотосъемка земной поверхности в нескольких спектральных зонах. В условиях зимы яркость объектов местности нередко сильно отличается от той, которую специалисты привыкли видеть на аэроснимках. Если фотографировать только в видимых лучах, то иногда можно впасть в заблуждение. Так, лишь благодаря инфракрасному изображению удалось четко определить береговую черту Азовского моря в районе Ейска, которая на обычных снимках получалась искаженной.

Снежный покров сделал в первой экспедиции неяркой цветную фотосъемку территории Советского Союза. Зато богатые цветные контрасты наблюдались в экваториальном поясе. Фотография, снятая ручной камерой, запечатлела побережье полуострова Юкатан. Это место привлекло внимание тем, что в чистые воды Мексиканского залива здесь вклинивается

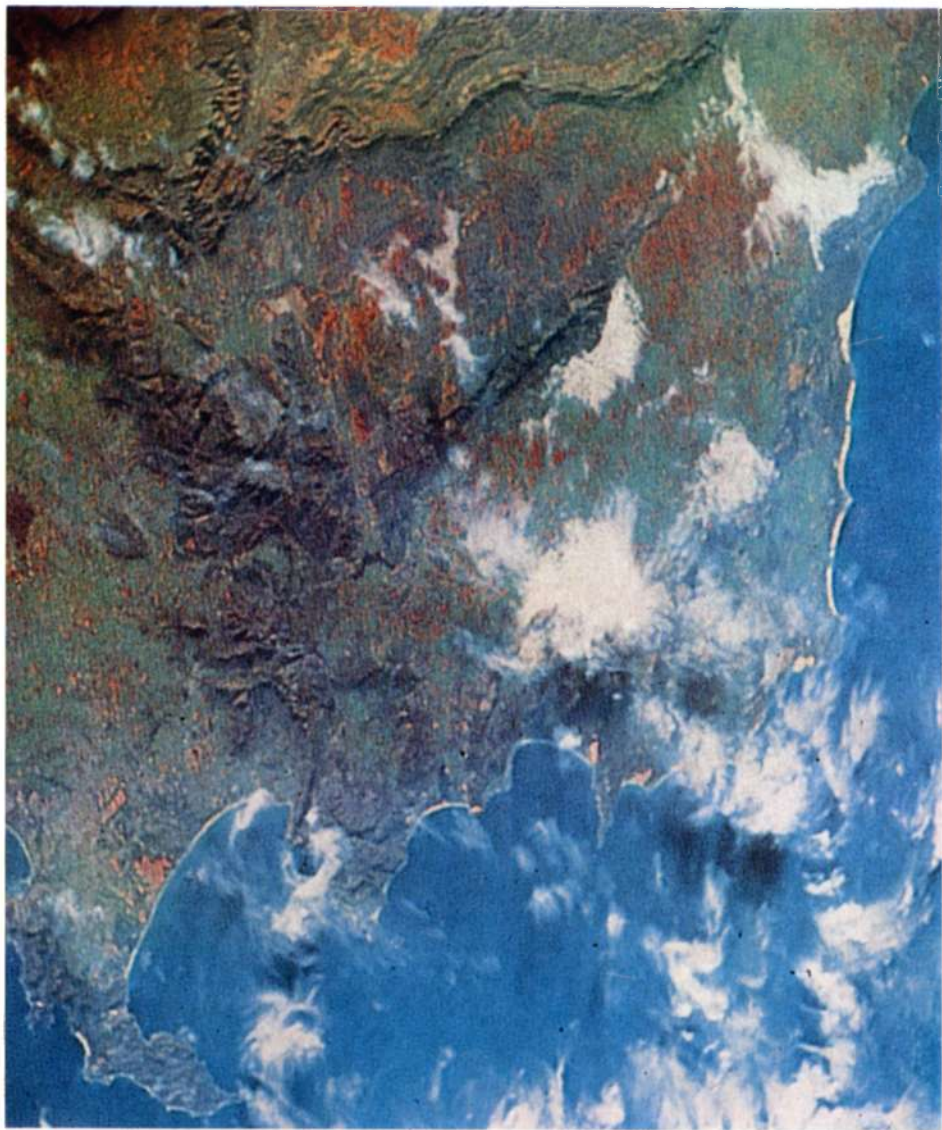
огромная мутно-желтоватая клубообразная струя, растекающаяся вдоль берега на сотню с лишним километров в длину и до тридцати и более в ширину. Впечатляют космические



Южная Африка.

ландшафты Африки с зеленью джунглей, снежной белизной горных вершин, яркими красками пустынь».

С помощью УФ радиометра космонавты провели измерения альбедо Луны и атмосферы Земли в диапазоне 180 – 280 нм [54]. Результаты этих измерений удовлетворительно совпадают с данными других авторов.



Мыс Доброй Надежды.

Исследования Луны в ближней инфракрасной области спектра космонавты выполнили с помощью четырехканального радиометра «Микрон» в трех участках спектра, соответствующих полосам поглощения атмосферы. Измерения проводились 27 января 1975 г. на 514-м витке полета станции «Салют-4» при фазе Луны, близкой к нулевой [55]. Эффективные длины волн спектральных каналов радиометра «Микрон» соответствовали 1,33; 1,9 и 2,6 мкм. Четвертый канал с эффективной длиной волны 2,15 мкм, находящийся в окне прозрачности атмосферы, был использован для калибровки аппаратуры по результатам наземных измерений и измерений, выполненных американскими астронавтами с космического корабля «Джемини» в 1966 г. Результаты измерений с «Салюта-4» совпадают в пределах точности измерений с расчетами по данным измерений с космического корабля «Джемини» [55].

С помощью инфракрасного телескопа-спектрометра ИТС-К проводились измерения инфракрасного излучения Луны и окиси азота в верхней атмосфере земли [56–57]. Измерения инфракрасного излучения Луны были проведены 27 января 1975 г. на 514-м витке полета «Салюта-4». Их результаты в общем подтвердили обнаруженное еще в 1962 г. повышенное значение отражательной способности Луны в окне прозрачности атмосферы около 3,5 мкм, а также результаты измерения спектров отражения лунного грунта. Во всех случаях была обнаружена интенсивная полоса отражения Луны в диапазоне 3–4 мкм.

Измерения инфракрасного излучения окиси азота в верхней атмосфере Земли также были проведены на 514-м витке «Салюта-6» около 18 ч при полете над районом Иран – Средняя Азия. После обработки получена спектральная плотность энергетической яркости верхней атмосферы. Максимум был обнаружен на высоте 140–150 км, а минимум – на высоте 250–300 км. В связи с тем, что излучение было сосредоточено в интервале 5,1–5,6 мкм, основным источником излучения можно считать молекулу окиси азота, объемная плотность излучения которой составила в средних широтах на высоте 140 км около 10^{-13} Вт/см³.

Экипажами первой и второй экспедиции на «Салюте-4» с помощью четырехканального радиометра «Микрон» были проведены измерения эмиссионного излучения молекулярного

кислорода в полосе около 1,27 мкм [143]. После обработки результатов измерений был получен высотный ход объемной плотности этого излучения, удовлетворительно совпадающий с результатами ракетного зондирования, и был определен суточный ход интенсивности этой эмиссии, хорошо совпадающий с данными аэроостатных измерений. Интенсивность дневного свечения O_2 в полосе 1,27 мкм в вертикальном направлении для всего слоя атмосферы была оценена в 36,5 Мрэлей, что хорошо совпадает с результатами теоретических расчетов ($20 \div 44$ Мрэлей).

Экипажи первой и второй экспедиции на «Салют-4» с помощью радиометра «Микрон» провели также измерения высотного профиля дневного излучения атмосферы Земли в четырех узких участках спектра около 1,33; 1,90; 2,15; 2,60 мкм. Как и предполагалось высотный ход излучения атмосферы зависит от состояния облачности и условий освещения Солнцем [59]. Практически на всех профилях дневного излучения атмосферы обнаруживается максимум яркости на высоте аэрозольного слоя Юнге 18–25 км, который превышает в среднем в 3 раза яркость чистой атмосферы.

Экипажи первой и второй экспедиций на «Салют-4» с помощью малогабаритного скоростного спектрометра МСС-2 провели измерения рассеянного иллюминатором солнечного излучения [58]. Были получены спектры излучения иллюминатора в диапазоне 0,4–0,8 мкм и оценены значения коэффициента яркости иллюминатора, который в этом диапазоне изменяется в зависимости от длины волны в пределах от 0,01 до 0,1.

«Салют-4» – «Союз-18». Космический корабль «Союз-18», пилотируемый Петром Ильичем Климуком и Виталием Ивановичем Севастьяновым, был запущен 24 мая 1975 г. в 17 ч 58 мин, 26 мая второй экипаж был доставлен на борт орбитальной станции «Салют-4», которая с 9 февраля функционировала в автоматическом режиме [153].

Длительный характер работы второго экипажа орбитальной станции «Салют-4» позволил значительно расширить программу визуально-инструментальных оптических исследований атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли, а также программу астрофизических экспериментов. Разработанная для П. И. Климука и В. И. Севастьянова программа визуальных наблюдений наиболее интересных атмо-

ферно-оптических явлений [99] включала ряд экспериментов на ночном, сумеречном и дневном горизонте Земли. На ночном горизонте планировались наблюдения пространственно-временного распределения эмиссионного излучения ночной атмосферы, полярных сияний, мерцаний звезд и планет при заходе за видимый горизонт Земли, восхода и захода Луны, зодиакального света. На сумеречном горизонте предполагалось проведение наблюдений пространственного распределения яркости и цветовой картины сумеречного ореола Земли, эмиссионного излучения верхней атмосферы перед восходом и после захода Солнца, восхода и захода Солнца, серебристых облаков, зодиакального света. На дневном горизонте — наблюдения стратосферных аэрозольных слоев и цветовой картины дневного ореола атмосферы Земли. Программа включала также визуальные наблюдения звезд и планет на дневной стороне Земли, светящихся частиц, состояния иллюминаторов, метеоров и космической пыли.

Результаты визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований, выполненных П. И. Климуком и В. И. Севастьяновым, были опубликованы в трех сборниках статей, изданных АН ЭССР в г. Тарту в 1977, 1979 и 1981 гг. На ночном горизонте Земли космонавты наблюдали первый и второй эмиссионные слои верхней атмосферы [119]. При этом второй эмиссионный слой был виден как отдельные области свечения, параллельные первому эмиссионному слою. Во втором эмиссионном слое на ночной стороне Земли была обнаружена слабо выраженная вертикально-лучевая структура, которую космонавты многократно наблюдали в течение полета. Причем это явление наблюдалось, как правило, вблизи зоны полярных сияний и в момент наблюдений за ними. Однако в пяти случаях вертикально-лучевая структура была зарегистрирована вне области полярных сияний и эти случаи никак нельзя отнести к авроральным явлениям [36]. Для интерпретации результатов наблюдений вертикально-лучевой структуры эмиссионного излучения верхней атмосферы Земли использована гипотеза о возможной связи наблюдаемой оптической неоднородности с наличием в верхней атмосфере внутренних акустико-гравитационных волн [108].

Второй экипаж орбитальной станции «Салют-4» проводил как визуальные наблюдения полярных сияний, так и их исследования методом фотографической регистрации. Наблюдения

велись в основном в районе южного аврорального овала в его участках, расположенных южнее, юго-восточнее и юго-западнее Австралии, где в это время (май — июль) были благоприятные условия для наблюдения сияний [125]. По докладам космонавтов, полярные сияния в этом районе наблюдались ежедневно. На основании этих докладов еще до завершения полета второго экипажа «Салюта-4» было подтверждено предположение о том, что из космоса в районах авроральных овалов свечение верхней атмосферы типа полярных сияний можно наблюдать постоянно. Результаты некоторых наблюдений полярных сияний П. И. Климук и В. И. Севастьянов регистрировали в своих боржурналах в виде рисунков и записей с указанием места и направления наблюдений. Наблюдения из космоса подтвердили полученный по данным наземных измерений возможный профиль распределения яркости полярных сияний различных типов. По наблюдениям космонавтов, однородные области свечения полярных сияний (дуги, полосы, мантийные сияния) располагаются либо на высотах первого эмиссионного слоя, либо немного выше этого слоя. Лучистые структуры сияний находятся над ними на значительно больших высотах, простирающихся до второго эмиссионного слоя и даже выше его.

С борта «Салюта-4» проводилось и фотографирование полярных сияний. В частности, один из сеансов фотографирования был выполнен 3 июля 1975 г. южнее Австралии. Области свечения этого сияния имели вид однородных дуг, расположенных на высоте первого эмиссионного слоя и немного выше его, т. е. на высоте около 100 км. Фотометрическая обработка этих кадров показала, что максимальная яркость одной из дуг при наблюдении из космоса составляла около $0,25 \text{ кд/м}^2$, а другой около $0,1 \text{ кд/м}^2$ [147].

П. И. Климук и В. И. Севастьянов продолжили наблюдения мерцания и затухания звезд и планет при заходе за ночной горизонт Земли [119]. Космонавты наблюдали и регистрировали время прохождения через первый эмиссионный слой и время мерцания и затухания Венеры и звезд δ Льва, β Льва, α Волопаса. Луна вблизи горизонта не мерцала, но резко меняла свой цвет и форму. По наблюдениям космонавтов, мерцания звезд начинались на высоте перигея линии визирования около 30 км, а затухание от 5 до 12 км в зависимости от блеска светила. Эти наблюдения позволили высказать предполо-

жение о том, что на высоте около 30 км расположены мощные слоистые неоднородности, приводящие к флуктуациям угла рефракции порядка $30''$ (угловой диаметр Венеры в период наблюдений).

На ночной стороне Земли П. И. Климук и В. И. Севастьянов провели ряд наблюдений метеоров и зодиакального света [123]. В боржурналах космонавтов зарегистрировано несколько случаев наблюдений метеоров, а 16 июня 1975 г. и наблюдения яркого болида, при этом после пролета болида наблюдался и его светящийся ионизированный след. Оценки звездных величин и квалифицированный счет метеоров не проводились. Наблюдения зодиакального света космонавты проводили много раз перед восходом или после захода Солнца, некоторые из них космонавты регистрировали в боржурналах в виде записей и зарисовок наблюдаемой картины. Зодиакальный свет прослеживался вдоль эклиптики примерно на 45° от Солнца как со стороны восхода, так и со стороны захода Солнца. Наиболее интересным результатом оказалось то, что П. И. Климуку и В. И. Севастьянову, по-видимому, впервые удалось уверенно обнаружить лучевую структуру зодиакального света. Это свидетельствует о том, что значительное число частиц межпланетной пыли, образующих зодиакальное пылевое облако, может быть связана с относительно небольшим числом достаточно четко очерченных метеорных роев [122].

На сумеречном горизонте Земли космонавты провели серию наблюдений и фотографирования серебристых облаков. Всего П. И. Климуком и В. И. Севастьяновым было зарегистрировано 27 случаев наблюдений серебристых облаков [27]. Особенно мощные поля серебристых облаков они наблюдали 3—4 июля 1975 г. в течение девяти витков полета станции подряд. В дневнике, который В. И. Севастьянов вел на борту орбитальной станции «Салют-4», появились описания серебристых облаков: «Серебристые облака завораживают. Холодный белый цвет — чуть матовый, иногда перламутровый. Структура либо очень тонкая и яркая на границе абсолютно черного неба, либо ячеистая, похожая на крыло лебедя, когда облако ниже «венца». Выше «венца» они не поднимаются.

«Венец» — это светящийся слой повышенной яркости вокруг Земли на определенной высоте над ночным горизонтом. Иногда он лучится... Лучистый венец нашей голубой планеты!

...Представьте ночной горизонт, необыкновенную гамму красок и над этим ореолом яркий серебристый цвет».

6 июля 1975 г. космонавты наблюдали поле серебристых облаков, которое тянулось «сплошной линией от Урала до Камчатки, до самого восхода Солнца». Из космоса верхняя граница серебристых облаков была очень четкой, а нижняя — размытой, толщина облачного слоя всюду разная. Космонавты не только вели наблюдения за серебристыми облаками, но и фотографировали их и проводили инструментальные исследования четырехканальным радиометром «Микрон» в ближней инфракрасной области спектра [195]. При этом результаты инструментальных исследований подтвердили предположение о повышении содержания гидроксила при появлении серебристых облаков.

При полете над сумеречной зоной космонавты часто наблюдали светящиеся частицы. Они обратили внимание на большое количество светящихся частиц, постоянно сопровождающих полет орбитальной станции «Салют-4» [126]. Дело в том, что торможение пылевого окружения станции, летевшей на высоте около 350 км, происходит значительно медленнее, чем при полете на космических кораблях типа «Союз» на высоте 200—250 км.

П. И. Климук и В. И. Севастьянов проводили осмотры состояния иллюминаторов орбитальной станции. Результаты этих наблюдений были использованы для уточнения расчетов теплового режима и микрометеоритной эрозии иллюминаторов [187]. В частности, 12 июня 1975 г. на двадцатые сутки полета Севастьянов исследовал кристаллики льда на одной из поверхностей противосолнечного иллюминатора: они оказались асимметричными и в отличие от земных их центральная каверна была похожа на кратер вулкана. По схематической зарисовке областей запотевания и обмерзания иллюминатора, сделанной Климукон, удалось определить температурное поле наружного стекла иллюминатора и влажность в межстекольном пространстве, а по зарисовке микрометеоритных кратеров — оценить плотность потока метеорных тел для массы 10^{-6} г [187].

В боржурнале Климук за 5 июля 1975 г. сжато описаны результаты многочисленных исследований видимого дневного горизонта [122]:

«При визуальном наблюдении картина дневного горизонта

меняется. Зависит от поверхности, над которой пролетаем и от высоты Солнца над горизонтом. Колебания по высоте тоже разные.

Обычно всегда при угле Солнца над горизонтом 45° и ниже наблюдается один или два слоя яркости (белесые). Есть случаи, когда верхний слой яркости делится синим фоном, тогда видим 3 слоя яркости. Всегда нижний слой яркости четкий и тонкий, верхний бледнее, расплывчатый, разлохмаченный. Высота их не постоянная, она меняется, зависит от высоты Солнца над горизонтом и от фона подстилающей поверхности, а также от облачности».

Из этого описания следует, что на дневном горизонте хорошо видны аэрозольный слой Юнге на высоте около 20 км и второй стратосферный аэрозольный слой на высоте 30—35 км. Первый слой — слой Юнге — в виде четкой и сравнительно тонкой белесой полосы. Второй слой — в виде более бледной расплывчатой и разлохмаченной полосы. Второй слой наблюдается не всегда, иногда на высоте второго слоя виден не один, а два расплывчатых и разлохмаченных слоя. Подобная структура стратосферных аэрозольных слоев подтверждается наблюдениями мерцания ярких звезд и планет при заходе за ночной горизонт Земли. Мерцания начинаются на высоте 30—35 км, т. е. на высоте расположения второго стратосферного аэрозольного слоя. Затем в некоторых случаях (но не во всех) при заходе звезд и планет мерцания прекращались и снова наблюдались на высоте 18—22 км, после чего снова прекращались, а начиная с высоты 10—12 км, мерцания и даже мигания наблюдались до полного угасания звезды или планеты в плотных слоях атмосферы.

Вполне возможно, что мерцания звезд и планет на высоте 30—35 и 18—22 км связаны со стратосферными аэрозольными слоями, а ниже 10—12 км — с тропосферной неоднородностью.

Во время полета над Канадой космонавты увидели в тайге пожар, дым от которого распространялся в плоскости орбиты станции «Салют-4» на расстояние 200—300 км. По мнению космонавтов, это был небольшой пожар, однако он был отчетливо виден из космоса. Гораздо более мощные пожары они наблюдали над Африкой, Австралией и Южной Америкой. В частности, 23 июня 1975 г. видели сразу сотни пожаров — горела африканская саванна. В связи с этим В. И. Се-

вастьянов отметил, что из космоса можно хорошо контролировать загрязнение природной среды нашей планеты.

22 июня 1975 г. В. И. Севастьянов увидел город Сочи и дом своих родителей:

«И наконец сегодня я видел Сочи. Видел в ясную, солнечную погоду. Видел отчетливо порт, видел наш дом...

Трудно поверить — правда? Но я действительно видел из космоса тот маленький двухэтажный домик в Сочи, в котором я вырос и в котором и сейчас живут мои родители.

Как я искал свой дом? Сначала я высматривал на Кавказском побережье мыс Адлер. Река Мзымта, впадающая в районе Адлера в море, резко подкрашивает морскую воду своим илом. Это самый точный ориентир. Для привязки я находил Адлер, а чуть-чуть дальше уже видел и Сочинский порт. А прямо по оси от главного причала, чуть выше, у основания телевышки, находил и свой дом. Видел его как маленькую точку среди деревьев — наш дом окружен кипарисами».

«Салют-5» — «Союз-21». Орбитальная станция «Салют-5» была выведена на околоземную орбиту 22 июня 1976 г. Космический корабль «Союз-21», пилотируемый Борисом Валентиновичем Волиновым и Виталием Михайловичем Жолобовым, был запущен на околоземную орбиту 6 июля 1976 г. в 15 ч 09 мин. На следующий день в 16 ч 40 мин была осуществлена стыковка транспортного корабля «Союз-21» с орбитальной станцией «Салют-5» [154].

Экипаж первой экспедиции на «Салюте-5» за 48 дней полета выполнил ряд экспериментов по изучению окружающей среды. В начале полета космонавты обратили внимание на большое количество облаков. Было такое впечатление, что вся планета закрыта облаками. Над северной частью Черного моря 26 июля 1976 г. космонавты заметили столкновение двух воздушных масс.

С помощью ручного спектрографа РСС-2М космонавты проводили спектрографирование дневного и сумеречного горизонта Земли и отдельных районов земной поверхности. Цель этих экспериментов — изучение высотного распределения оптически-активных компонентов атмосферы и природных ресурсов Земли. Спектрографирование проводилось также над Атлантическим океаном в районах сильных океанических течений. Космонавты фотографировали Луну на фоне ночного горизонта для определения истинного края диска Земли как

опорной линии для систем автономной ориентации космических аппаратов на ночной стороне Земли [154].

В конце июля — начале августа 1976 г. космонавты фотографировали земную поверхность с целью выявления районов, перспективных для поиска полезных ископаемых, изучения районов с сейсмической активностью и оценки селевой опасности в горных районах, исследования районов проектирования гидротехнических сооружений. Космонавты фотографировали южные районы Европейской части СССР, Южный Урал, Казахстан, республики Средней Азии. Полученные снимки дали разнообразную информацию о состоянии природной среды в местах крупнейших строек десятой пятилетки, помогли исследовать районы, интересные в гидрологическом (например, дельта Волги) и сейсмическом (например, район поселка Газли) отношении, наблюдать развитие урожая этого года на полях нашей Родины и многое другое [97].

В начале августа 1976 г. Б. В. Вольнов и В. М. Жолобов приступили к выполнению исследований с помощью инфракрасного телескопа-спектрометра ИТС-К. С помощью этого прибора были выполнены эксперименты по определению прозрачности атмосферы в инфракрасной области спектра над районами Мирового океана с целью изучения возможного распределения некоторых молекулярных компонентов атмосферы: паров воды, озона, окиси азота. В следующие дни прозрачность атмосферы определялась над континентальными районами земного шара. С помощью прибора ИТС-К космонавты провели также исследования спектров Солнца и околосолнечного пространства с целью изучения процессов в фотосфере и солнечной короне [154].

Во время полета на «Салюте-5» космонавты провели ряд целенаправленных наблюдений заранее заданных объектов и свободный поиск таких природных явлений, как пыльные бури, пожары и т. д. Космонавтам было поручено наблюдение Севанского разлома с тем, чтобы проследить продолжение разлома в обе стороны от озера. Наблюдения показали, что отрезок разлома около озерной котловины представляет собой составное звено протяженной тектонической линии, превышающей в пять раз длину озера Севан. Космонавтам также было поручено наблюдать Байкальскую рифтовую систему. По результатам наблюдений было отмечено, что система котловин, гряд, хребтов (Байкал, Тункинская впадина, котловина

озера Хубсугул) образует взаимосвязанную рифтовую зону.

Песчаные пустыни из космоса видны как участки желтоватого и красноватого цвета. В пустынях космонавты видели протяженные песчаные гряды как серии извилистых линий, скопления барханов, участки, где пески вторгаются на занятые растительностью территории.

Космонавты отметили хорошие условия наблюдения горных районов, где контрасты изображений высоки вследствие высокой прозрачности атмосферы. В горных районах даже невооруженным глазом можно было видеть снежный покров на фоне рельефа, растительности, скальных пород. Через оптический визир можно было более детально изучать отдельные характеристики снежного покрова.

«Салют-5» – «Союз-24». Космический корабль «Союз-24», пилотируемый Виктором Васильевичем Горбатко и Юрием Николаевичем Глазковым, был запущен на околоземную орбиту 7 февраля 1977 г. в 19 ч 12 мин, 8 февраля осуществлена его стыковка с орбитальной станцией «Салют-5» [155].

Экипаж второй экспедиции на «Салюте-7» продолжил работы по фотографированию атмосферы и поверхности Земли, исследования спектров излучения Солнца и измерения прозрачности атмосферы с помощью инфракрасного телескопа-спектрометра ИТС-К. Космонавты специально готовились по программе космического земледения и еще до полета были ознакомлены с характеристиками исследуемых природно-территориальных комплексов нашей страны. Визуальные наблюдения космонавты могли проводить с помощью специального визира, что позволяло вести наблюдения за выбранными участками поверхности Земли и фотографировать наиболее интересные объекты и образования.

Космонавты обратили внимание на то, что наиболее благоприятные условия для наблюдения создаются при высоком и при относительно низком положении Солнца. При высоком положении Солнца — меньше сказывается влияние дымки, а при низком — оказываются подчеркнутыми малоконтрастные детали рельефа и геологического строения. Полет первой и второй экспедиции разделяли шесть месяцев. Первый экипаж летал над территорией нашей страны летом, а второй — зимой. При этом было отмечено, что когда исследуемые объекты покрыты снежным покровом средней и большой мощности, возможности их наблюдения ухудшаются.

А слабый снежный покров, наоборот, подчеркивает рельеф и многие геологические образования [155].

В связи с тем что полет над территорией Советского Союза проводился зимой, оказалось гораздо легче, чем летом, наблюдать загрязнение атмосферы. В. В. Горбатко и Ю. Н. Глазков часто видели дымовые шлейфы от крупных энергетических установок, которые тянулись на десятки километров. Интересные результаты были получены при наблюдении памирских ледников, границ морских течений, загрязнений морей и океанов, вулканов и т. д. [97].

С помощью прибора ИТС-К космонавты зарегистрировали инфракрасный спектр Солнца и околосолнечного пространства в диапазоне 2—15 мкм, были получены спектры излучения околоземного пространства, а также спектры пропускания атмосферы Земли в диапазоне 2—15 мкм для высот до 50—70 км. На спектрограммах сумеречного и дневного горизонта Земли, полученных с помощью ручного спектрографа РСС-2М, можно было выделить хорошо известный аэрозольный слой Юнге на высоте около 20 км. На некоторых спектрограммах можно было заметить аэрозольные слои на высотах около 30 и 50 км.

В интересах различных отраслей народного хозяйства была осуществлена широкая программа по фотографированию многих районов южной части Советского Союза, а также акваторий океанов общей площадью около 65 млн. км². По фотографиям с «Салюта-5» уточнено очертание береговой линии озера Зайсан и Аральского моря. С «Салюта-5» засняты Чарвакское и Токтогульское водохранилища в районе западного Тянь-Шаня. По снимкам с «Салюта-5» установлено исчезновение некоторых соленых озер (например, озеро Кокшеголь ныне полностью покрыто солончаками), выявлены притоки рек, ранее не нанесенные на карту. Впервые удалось четко проследить границы Фергано-Таласского разлома в предгорьях Тянь-Шаня на протяжении более 700 км. При съемках с больших высот просматривается дно океанов на небольших глубинах [155].

В ответе на вопрос журналиста Александра Немова: «С какими новыми, ранее неизвестными явлениями столкнулись вы во время полета» Ю. Н. Глазков рассказал: «Это случилось, когда станция пролетала над Бразилией.

Мне нравилось рассматривать через иллюминатор поверх-

ность нашей планеты. Я быстро научился различать реки, озера, горные хребты. Мог с закрытыми глазами рассказать о ландшафте местности, над которой «проплывала» станция...

Так вот, летим над Бразилией. И вдруг вижу... тоненькую ленточку, через секунду сообразил — это шоссе. А по нему мчится автобус. Самый настоящий. Вроде даже голубого цвета. Разум говорил мне, что с такого расстояния невооруженным глазом видеть это невозможно, но тем не менее я видел!

Уже после полета я рассказал об этом директору института океанологии Академии Наук СССР, доктору географических наук Андрею Аркадьевичу Аксенову. Тот предположил, что здесь «сработали» мои ассоциации. То есть я только представил себе автобус, а глаза его уже «увидели»...

Это подтверждается некоторыми уже известными «земными» наблюдениями (на них, кстати, базируется одна из версий «летучего голландца»). Но есть и контраргумент. Желание увидеть что-нибудь «родное» (применительно ко мне — автобус) было у каждого космонавта. И все же никому, кроме меня, «такое» наблюдать не довелось. Будущие исследования наверняка прольют свет на истинную природу этого явления...

В интерпретации этого феномена наиболее справедлива, по-видимому, последняя фраза из приведенной цитаты Ю. Н. Глазкова о том, что «будущие исследования наверняка прольют свет на истинную природу этого явления»...

Напомним, что В. И. Севастьянов с «Салюта-4» летом 1975 г. видел дом своих родителей в Сочи. О подобных наблюдениях с «Союза-19» в июле 1975 г. рассказал и А. А. Леонов. Этот рассказ записан на магнитную ленту во время полета на спускаемом аппарате космического корабля «Союз-19» при возвращении на Землю. Пролетая над Кавказскими горами при заходе на посадку 22 июля 1975 г. на высоте около 150—180 км, он отчетливо видел серпантин горных дорог, автомобильные фургоны и домики на склонах. Разумеется с такой высоты угловые размеры деталей (дом, машины) меньше привычной для нас разрешающей способности зрительной системы.

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6», «Салюта-7» и «Мир»

«Салют-6». Орбитальная научная станция «Салют-6» была выведена на околоземную орбиту 29 сентября 1977 г., функционировала на околоземной орбите около пяти лет, в том числе 676 дней в пилотируемом режиме. За это время на ней успешно осуществлены полеты пяти основных экспедиций, одной ремонтно-восстановительной экспедиции и десяти экспедиций посещения, в том числе восьми с международными экипажами, в состав которых входили космонавты ЧССР, ГДР, ВНР, СРВ, Кубы, МНР и СРР. На ней работали 27 космонавтов, из них 6 — дважды, 7 космонавтов провели в космосе более 100 суток, причем В. В. Коваленок и Л. И. Попов — более полугода, а В. В. Рюмин — почти целый год. Космический корабль «Союз-33» с четвертым международным экипажем посещения, в состав которого входил космонавт НРБ, не был состыкован со станцией «Салют-6» вследствие отклонения от штатного режима в работе сближающе-корректирующей двигательной установки корабля «Союз-33» [157]. Краткие данные о космических кораблях, составах экипажей, датах и длительности полетов космонавтов на орбитальной станции «Салют-6» приведены в [167].

Первая экспедиция. Космический корабль «Союз-26», пилотируемый основным экипажем первой экспедиции Юрием Викторовичем Романенко и Георгием Михайловичем Гречко, был запущен 10 декабря 1977 г. в 4 ч 19 мин, 11 декабря в 6 ч 02 мин была осуществлена стыковка со станцией «Салют-6», 20 декабря экипаж осуществил выход в открытый космос [155].

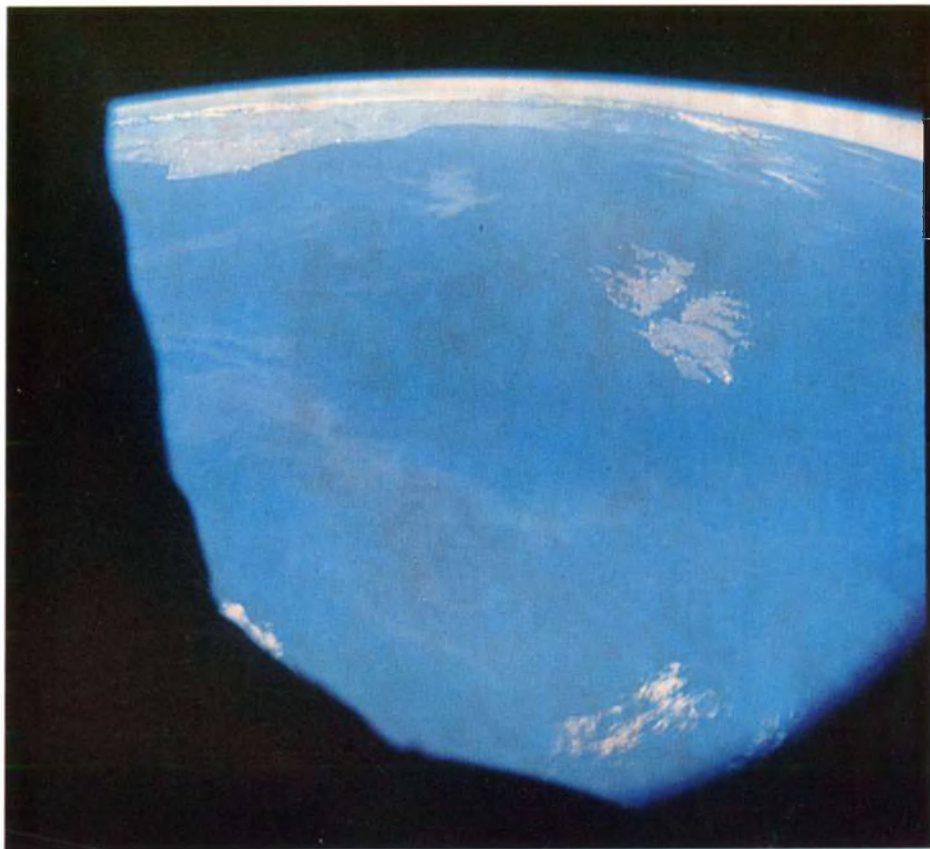
Для основного экипажа первой экспедиции была разработана расширенная «Программа исследований атмосферно-оптических явлений» [94], включавшая не только перечень вопросов для исследования, но и краткое описание наблюдаемых из космоса атмосферно-оптических явлений.

Программой предусматривалось проведение широкого комплекса геофизических и астрофизических экспериментов и исследований. Она включала визуальные наблюдения, фотографирование и спектрометрирование поверхности суши, акватории морей и океанов, облачного покрова и атмосферы Земли. В программу входило также исследование эмиссий

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

верхней атмосферы Земли, полярных сияний, серебристых облаков, иллюминаторов космических кораблей.

Романенко и Гречко регулярно передавали на Землю сведения о наблюдаемых из космоса стихийных явлениях — лесных



Фолклендские (Мальвинские) острова.

пожарах, пыльных бурях, вулканической деятельности. В декабре 1977 г. космонавты неоднократно сообщали о лесных пожарах в Африке.

С конца декабря 1977 г. по 15 марта 1978 г. Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко проводили на ночной стороне Земли на-

блюдения за первым эмиссионным слоем [38]. Космонавты обратили внимание на неоднородность и нестабильность свечения первого эмиссионного слоя по яркости и цвету. В частности, в экваториальной области они обнаружили участки пониженной яркости и свечение слоя на высоте около 110 км. По визуальной оценке космонавтов, цвет верхней части первого эмиссионного слоя зеленоватый, а нижней иногда красноватый. При наблюдении через оптический прибор с ЭОП было заметно расслоение первого эмиссионного слоя на два-три подслоя различной яркости. А 28 февраля и 1 марта раздвоение первого эмиссионного слоя впервые было видно и невооруженным глазом.

Несколько раз Романенко и Гречко отмечали общее возбуждение ночной атмосферы [38]:

«5 февраля 1978 г. В последние дни обратили внимание на то, что между 1-м ночным эмиссионным слоем и горизонтом Земли молочно-беловатый густой туман, в котором почти не виден раньше хорошо видимый «видимый горизонт», а также тонет нижняя кромка 1-го слоя...

Наряду с туманом наблюдается, по-видимому, общее повышение яркости звездного неба. Когда смотришь в иллюминатор из затемненного ПХО, то создается впечатление, что где-то вне поля зрения светит Луна, но Луна еще не возшла над горизонтом». При этом повышение яркости небосвода наблюдалось на всем теневом участке орбиты.

С 8 января по 15 марта 1978 г. космонавты провели более 40 серий визуальных наблюдений второго эмиссионного слоя (*F*-слоя). По визуальной оценке космонавтов, яркость свечения *F*-слоя изменялась на два порядка, достигая $5 \cdot 10^{-3}$ кд/м². Области видимого свечения *F*-слоя располагались в экваториальных широтах на высоте 250—330 км и выше. Наиболее интенсивные области свечения космонавты наблюдали в районе Бразильской аномалии, а области свечения минимальной яркости — в восточной части Тихого океана [134].

На ночной стороне Земли в северном полушарии Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко очень часто наблюдали свечение полярных сияний. Особенно мощное полярное сияние типа А с ярко выраженными лучистыми формами космонавты зафиксировали 15 февраля 1978 г. при полете над Северной Америкой [14, 97]. В этот день наземными станциями была зарегистрирована главная фаза мощной магнитной бури, начавшей-

ся 14 февраля 1978 г. в 21 ч 45 мин УТ. Во время главной фазы магнитной бури, которая на широтах 49—59° с. отмечалась 15 февраля в 9—12 ч УТ К-индекс магнитной активности достигал 6—9. В этот день свечение полярных сияний I—III балла наблюдалось и с Земли на геомагнитных широтах ниже 60° с. Г. М. Гречко очень образно и ярко рассказал о наблюдении этого сияния во время сеанса радиосвязи [14]:

«Виток тому назад мы вошли в полярное сияние, ну, совершенно гигантское. Словно лучи тысяч прожекторов выстроились в извилистые линии и били вверх. Цвет «прожекторов» у Земли был зеленый. А к нам доходят и бьют струи красного цвета. Их тысячи, они переливаются огнями. И мы пересекали их минут десять...

Погода абсолютно ясная. И светят эти прожекторы на высоту 400—500 км, наверное. И мы сквозь эти завесы проходим. Совершенно фантастическое зрелище. За два с половиной месяца такого еще не видели».

На ночной стороне Земли Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко проводили наблюдения зодиакального света при полете над средними широтами, поэтому видимый космонавтами конус зодиакального света был наклонен в сторону горизонта [30]. Возможно, поэтому они не обнаружили лучевой структуры зодиакального света, которую наблюдали П. И. Климук и В. И. Севастьянов при полете над экваториальными широтами, т. е. в наиболее благоприятных для наблюдения условиях [90].

Космонавты продолжили исследования восхода и захода звезд и планет за ночной горизонт Земли. Во время одного из сеансов радиосвязи Г. М. Гречко рассказал [97]:

«Удалось заметить прохождение Венеры через середину первого ночного слоя. Венера была под серебристым облаком. Почти над красным горизонтом она начала мигать, т. е. один раз в 2—3 секунды уменьшается ее блеск. И еще. Венера коснулась серебристых облаков, затем прошла над красным горизонтом, погасая на 1—2 секунды... Сегодня, прежде чем войти в ночной слой, она появилась над красным горизонтом уже из-под Земли».

При наблюдении восхода Меркурия космонавты обратили внимание на то, что мигания и мерцания Меркурия у горизонта Земли происходят с разными частотами. Мигания при наблюдении через плотные слои атмосферы были видны с часто-

той 0,3—0,5 Гц, а во время вспышек наблюдались мерцания с частотой около 5 Гц. Новым в этих наблюдениях оказалось появление низкочастотной составляющей мерцания, которая, возможно, объясняется наличием дискоидных неоднородностей плотности атмосферы, возникающих в результате воздействия внутренних волн в устойчиво стратифицированной атмосфере [37].

При наблюдении восхода и захода Солнца и Луны Г. М. Гречко впервые из космоса заметил появление «ступенек» на лимбе этих светил и получил фотографии этого явления, которые впоследствии были использованы для качественного анализа причин, вызывающих рефракционные явления. Данные, полученные при обработке фотографий позволили высказать предположение о том, что эти искажения вызваны наличием аномалий в высотном распределении температуры в атмосфере [25, 183]. По снимкам были определены высоты предполагаемых слоев температурных аномалий, изучена высотная зависимость полной рефракции в атмосфере и показана возможность использования рефракции для привязки наблюдений к высоте [15].

Г. М. Гречко и Ю. В. Романенко неоднократно наблюдали развитие сумеречного ореола атмосферы Земли как в направлении солнечного вертикала, так и в перпендикулярном направлении [39]. В марте 1978 г. космонавты впервые сфотографировали явление нависания дневного излучения верхней атмосферы над сумеречным излучением нижней атмосферы. В работе [62] приведены результаты фотометрической обработки трех из десяти полученных космонавтами фотографий. Однако при анализе результатов фотометрической обработки не учитывалось эмиссионное излучение, вносящее основной вклад в излучение верхней атмосферы в видимой области спектра на высоте более 100 км. Кроме того, не учтены ограничения фотографических методов исследования в широком диапазоне яркостей по сравнению с визуальными наблюдениями космонавтов и широкодиапазонной оптико-электронной аппаратурой.

Наблюдения серебристых облаков основным экипажем первой экспедиции проводились на 146 витках полета станции «Салют-6» с 23 декабря 1977 г. по 2 февраля 1978 г. За это время отмечались и активные периоды, когда серебристые облака существовали почти постоянно. Активными можно

считать периоды с 24 декабря 1977 г. по 5 января 1978 г., с 14 по 16 января и с 27 января по 2 февраля 1978 г. [172]. Серебристые облака наблюдались в южном полушарии почти на постоянной высоте около 2° над горизонтом как до захода Солнца, так и после его восхода, причем иногда вдоль всего южного горизонта в течение 7–8 витков подряд. По предварительным оценкам, наблюдаемые космонавтами поля серебристых облаков располагались южнее $53-55^\circ$ ю. ш. Довольно часто космонавты наблюдали волновую и многослойную структуру полей серебристых облаков.

Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко получено более 40 черно-белых и 5 цветных фотоснимков серебристых облаков, из них около 30 черно-белых фотоснимков пригодны для фотометрической обработки. В работе [172] приведены результаты обработки нескольких фотоснимков серебристых облаков, полученных 15 января 1978 г. На основании этих результатов были сделаны выводы о том, что поле серебристых облаков имеет волновую структуру, яркостный контраст серебристых облаков с фоном колеблется в пределах $0,4-0,8$, а яркость серебристых облаков в вертикале Солнца больше, чем рассчитанная по модели.

С борта орбитальных станций «Салют-4» и «Салют-6» были проведены исследования зависимости яркости водоемов от зенитного угла Солнца [174]. С помощью четырехканального инфракрасного радиометра «Микрон» было проведено 11 сеансов измерений с «Салюта-4» и 20 сеансов с «Салюта-6». Результаты экспериментов показали, что в условиях безоблачной атмосферы зеркальное отражение солнечного излучения от поверхности воды при наблюдении в надир вносит существенный вклад при зенитных углах Солнца меньше 45° . По данным измерений, в диапазоне $90^\circ > Z_\odot > 80^\circ$ происходит возрастание яркости водной поверхности с уменьшением Z_\odot в связи с уменьшением экстинкции. В диапазоне углов $80^\circ > Z_\odot > 45-50^\circ$ яркость практически остается постоянной или незначительно возрастает с уменьшением Z_\odot . В диапазоне углов $45^\circ > Z_\odot > 15^\circ$ яркость резко возрастает с уменьшением Z_\odot , при этом среднее значение яркости при $Z_\odot = 15^\circ$ почти в 10 раз больше, чем при $Z_\odot = 50^\circ$. В диапазоне углов $15^\circ > Z_\odot > 0^\circ$ яркость растет незначительно или остается на постоянном уровне.

С помощью радиометра «Микрон» были также проведены

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6, -7»...

измерения оптических характеристик плотной облачности, в том числе и альbedo облаков, в ближней инфракрасной области спектра [59].



А. С. Иванченков на борту орбитальной станции «Салют-6».

Вторая экспедиция. Космический корабль «Союз-29», пилотируемый Владимиром Васильевичем Коваленком и Александром Сергеевичем Иванченковым, был запущен на околозем-

ную орбиту 15 июня 1978 г. в 23 ч 17 мин, 17 июня была осуществлена его стыковка с орбитальной станцией «Салют-6» и космонавты перешли на борт «Салюта-6» [156].

Экипаж второй экспедиции на орбитальной научной станции «Салют-6» продолжил исследования атмосферно-оптических явлений по программе, разработанной А. И. Лазаревым для первой экспедиции. Основные результаты оптических исследований второй экспедиции были опубликованы в ряде статей и обобщены в книге «Атмосфера Земли с «Салюта-6» [14].

Длительный 140-суточный полет В. В. Коваленка и А. С. Иванченкова позволил проводить систематические наблюдения атмосферы и атмосферно-оптических явлений. Предварительная подготовка космонавтов позволила уже в первые дни пребывания в космосе проводить отдельные визуальные наблюдения.

В. В. Коваленок и А. С. Иванченков 7 и 9 июля 1978 г. впервые наблюдали свечение второго эмиссионного слоя в планетарном масштабе. В дальнейшем такие наблюдения проводились 29 сентября и 28 октября 1978 г. Зарегистрированные космонавтами вспышки сопровождались одинаковым геофизическим явлением — серией не очень сильных, но очень большой распространенности внезапных ионосферных возмущений [170]. Вспышки на Солнце, вызвавшие внезапные ионосферные возмущения большой распространенности, т. е. отличающиеся большой геоактивностью, могут создать добавочное возбуждение и последующее высвечивание верхней атмосферы на ночной стороне через процесс резонансного рассеяния солнечного ультрафиолетового излучения в геокороне. Результаты наблюдений Коваленка и Иванченкова позволяют предположить, что и второй эмиссионный слой имеет планетарный характер, но в обычных условиях только в экваториальной зоне интенсивность его свечения достаточна для визуальных наблюдений. Космонавты также обратили внимание на то обстоятельство, что вспышки ночного свечения второго эмиссионного слоя начинались либо за несколько часов до сильных полярных сияний III—IV балла, либо продолжались в течение нескольких часов после окончания сильных среднеширотных полярных сияний.

При полете над Индией 29 сентября 1978 г. в 19 ч 47 мин УТ Коваленок и Иванченков зафиксировали расслоение первого эмиссионного слоя. При этом прослойка занимала по гори-

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6, -7»...

зонту примерно 40° , была темно-бурой и ровной по толщине. По данным расположенной в том же районе станции Хайдерабад (Индия) в этот период наблюдалась главная фаза очень



А. С. Иванченков на борту орбитальной станции «Салют-6».

мощной магнитной бури с K -индексом, равным 8 [170]. Для исследования эмиссионных слоев и полярных сияний космонавты использовали и фотографические методы, позволяющие

не только качественно, но и количественно оценивать уровни излучения. По фотографиям были оценены вариации яркости для тех случаев, когда наблюдалось четкое разделение областей свечения первого эмиссионного слоя и полярных сияний. Результаты измерений показали, что, несмотря на существенное различие в уровнях яркости областей свечения полярных сияний и первого эмиссионного слоя, довольно часто наблюдалась достаточно большая синхронность вариаций их яркости на протяжении нескольких секунд [294].

В начале второй экспедиции В. В. Коваленок и А. М. Иванченков в течение длительного времени не видели полярных сияний. Это объясняется крайне неблагоприятными условиями наблюдений полярных сияний в июне — начале июля 1978 г. в связи с тем, что станция «Салют-6» совершала полет по «солнечной орбите» и практически не заходила в тень Земли [14]. С целью подтверждения предположения о возможности постоянного наблюдения полярных сияний из космоса (при благоприятных условиях наблюдения) Коваленок провел серию непрерывных ежедневных наблюдений авроральных овалов на ночной стороне Земли в течение 49 суток полета с конца августа до середины октября 1978 г. Эти наблюдения подтвердили ранее высказанное предположение о постоянном существовании полярных сияний в авроральных овалах.

Систематические наблюдения были начаты 9 июля 1978 г., когда станция «Салют-6» стала заходить в тень Земли. Первый раз мощное полярное сияние III—IV балла В. В. Коваленок и А. С. Иванченков наблюдали 14 июля 1978 г. в южном полушарии ($\sum K_p = 39^+$, $A_p = 48$). Особенность этих наблюдений состояла в том, что области свечения типа полярного сияния они видели не только в районе южного аврорального овала, но и в средних широтах вплоть до 35° ю. ш. При этом области свечения полярного сияния были видны в направлении восхода Солнца и охватывали по горизонту 180° . В областях свечения была заметна волокнистая структура. В книге [14] дан подробный анализ наблюдений полярных сияний, выполненных на «Салюте-6».

Особенно часто полярные сияния космонавты наблюдали в сентябре 1978 г. Во время полета основного экипажа второй экспедиции на «Салюте-6» впервые на борт советского пилотируемого корабля было передано сообщение об ожидаемой 25—26 сентября магнитной буре. 24—26 сентября наблюда-

лось целое семейство больших магнитных возмущений, почти все с внезапным началом. Космонавтам была передана просьба о наблюдении полярных сияний в южном и северном авроральном овалах, находящихся над районами южнее Австралии и юго-восточной Канады. Этот прогноз полностью оправдался: 25 и 26 сентября 1978 г. космонавты наблюдали полярные сияния примерно III балла ($\sum K_p = 35$, $A_p = 36$). Самое мощное полярное сияние В. В. Коваленок и А. С. Иванченков наблюдали 29 сентября 1978 г. ($\sum K_p = 47^-$, $A_p = 109$) сначала в северном, а затем и в южном полушарии. Наблюдения начались при полете станции «Салют-6» над Атлантическим океаном примерно на 25° с. ш. Затем станция пролетала над областями и через области свечения полярного сияния, которые были похожи на лучи прожекторов, бивших с поверхности Земли. Области свечения сияния отличались исключительно богатой, быстро меняющейся цветовой гаммой, которая состояла из ярких насыщенных цветов. За один виток до начала наблюдений этого сияния хорошо было видно свечение второго эмиссионного слоя в планетарном масштабе. Однако за несколько минут до начала наблюдений полярного сияния второй эмиссионный слой в средних и высоких широтах не был виден [14]. Области свечения полярного сияния простирались как в южном, так и в северном полушарии от высоких широт до 20° ш. После окончания полярного сияния космонавты наблюдали общее свечение всей атмосферы. При этом казалось, что первый эмиссионный слой слился с видимым горизонтом Земли, а выше его было видно слабое размытое свечение. Орбитальная станция «Салют-6» пролетала над отдельными областями светящейся атмосферы и у космонавтов даже было ощущение, что они летят в слабом тумане. Через иллюминатор они отчетливо видели облачность примерно так же, как при подсветке Луной в первой или последней четверти. А несколько позже космонавты увидели первый эмиссионный слой, разделенный на два слоя зеленовато-бурой прослойкой.

В. В. Коваленок и А. С. Иванченков продолжили наблюдения зодиакального света на сумеречном и ночном горизонте Земли. Систематические наблюдения начались в июле 1978 г. и продолжались до октября. Космонавты очень часто видели зодиакальный свет, но в бортжурналах были зарегистрированы только отдельные, наиболее интересные резуль-

таты. С 15 по 19 июля 1978 г. космонавты систематически проводили наблюдения зодиакального света. Интересно отметить, что при этом Коваленок примерно в половине случаев наблюдений неуверенно видел слабо выраженную лучевую структуру зодиакального света. А бортинженер Иванченков вообще не видел лучевой структуры зодиакального света. По его рассказу картина зодиакального света всегда имела вид равномерного туманообразного свечения стогообразной формы.

В конце июня — начале июля 1978 г. орбитальная станция совершала полет по солнечной орбите, что создавало особенно благоприятные условия для наблюдения серебристых облаков. С 25 июня по 5 июля 1978 г. над атмосферным ореолом Земли космонавты на всех доступных для наблюдения широтах, включая низкие широты, видели тонкую полосу серебристого цвета, толщина которой составляла примерно четвертую часть от толщины первого эмиссионного слоя. Эта полоса была четко выражена и наблюдалась, как и серебристые облака, под углом около 2° от видимого горизонта Земли. При обсуждении результатов этих наблюдений с В. И. Севастьяновым выяснилось, что такую узкую серебристую полосу на различных широтах П. И. Климук и В. И. Севастьянов наблюдали при полете на орбитальной станции «Салют-6» летом 1975 г. Однако при анализе материалов космических экспериментов на результаты этих наблюдений не было обращено должного внимания [14, 90].

При полете над сумеречной зоной космонавты часто видели светящиеся частицы. Особенно много светящихся частиц возникало тогда, когда кто-то из космонавтов работал на велоэргометре или бегущей дорожке в самом начале полета. В середине и конце полета количество светящихся частиц, возникающих при работе на велоэргометре или бегущей дорожке, по оценке космонавтов, уменьшилось почти на порядок. В. В. Коваленок и А. С. Иванченков многократно наблюдали «налипание» пролетающих на удалении нескольких сантиметров частиц на иллюминатор. Возможно, что это явление может быть объяснено электростатическим притяжением частиц к поверхности иллюминатора [14].

Космонавты обратили внимание на то, что явление нависания сумеречного излучения верхней атмосферы над горизонтом Земли (эффект «усов») выглядит по-разному. По рассказу

космонавтов, в этом явлении иногда был виден один светящийся слой, нависающий над горизонтом Земли, в других случаях, отмечались два вытянутых светящихся слоя, а иногда это явление вообще не наблюдалось. Это может быть объяснено различной яркостью первого и второго эмиссионных слоев, серебристых облаков и рассеивающих слоев в мезопаузе, а также различной яркостью иллюминаторов орбитальной станции, через которые проводились наблюдения. Определенную роль играет и состояние адаптации наблюдателя [14].

27 июля 1978 г. с орбитальной станции «Салют-6»

В. В. Коваленок и А. С. Иванченков с помощью многозональной фотокамеры МКФ-6М с фокусным расстоянием 125 мм сфотографировали Сальский сухостепной участок в шести спектральных диапазонах видимой и ближней инфракрасной области спектра. Фотографирование проводилось с высоты 346 км при высоте Солнца 55° . Сравнение этих снимков с картами 1962 г. и космическими фотографиями 1970 г., полученными с «Союза-9» В. И. Севастьяновым и А. Г. Николаевым, позволили проследить динамику «пространственной структуры полевых экосистем сухостепного экорегиона» [128].

29 июля 1978 г. Коваленок и Иванченков осуществили выход в открытый космос. Во время выхода Иванченков с помощью специальных инструментов выполнил демонстражные операции. Космонавты перенесли в помещение станции касеты с полимерными, оптическими и другими конструкционными материалами [156]. На одной из пластин оказалось несколько сотен кратеров от ударов микрометеоритов. Интересные результаты получены и о влиянии космических условий на покрытия, стекла и другие материалы [97].

В. В. Коваленок («Фотон-1») и А. С. Иванченков («Фотон-2») во время радиопереговоров с Центром управления полетом много рассказывали о визуальных наблюдениях акватории морей и океанов и поверхности суши, о метеорологических наблюдениях [181]:

«*Фотон-1*. Течение мощное у Соломоновых островов, выглядит как Амазонка. Океаническое дно просматривается только в том случае, когда Солнце над горизонтом невысоко — $20-30^\circ$ и визирование ведешь под углом $20-30^\circ$ к вертикали. Если нет бурь, волнения, то видны водоросли, точно дорожки на дне. Хребет был отчетливо виден. Так, словно он был над водой.

Фотон-2. Несколько раз проходили над Африкой. В районе пустыни Намиб близко друг к другу пять кольцевых структур и ярко выраженный кратер. Одна кольцевая структура типа старой крепости. Средний кратер в виде разрушенных стен.

Фотон-1. От Антарктиды из залива Дрейка через Атлантический океан к Африке следует караван айсбергов. По-видимому, там течение, уже далеко прошли. Тают по пути. Видно, как меняется цветность воды...

...Улицы, кварталы высвечиваются огнями. Большие города смотрятся морем огней. Начинается ночной горизонт. Сразу меняются краски из бледно-голубых переходят в яркие голубые тона до темной синевы. Затем начинает чуть-чуть зеленеть и появляется оранжевая полоска. Очень быстро меняются краски. У нас даже не хватает средств все изобразить, несмотря на обилие карандашей и фломастеров. Саша упорно и последовательно составляет таблицы. Мы пока составляем систему наблюдений, запоминаем, где что видели, при каких условиях. Сейчас плоское Солнце садится за горизонт. В районе, где оно зашло ярко выраженные серебристые облака. Внизу под нами очень сильная гроза... Ох, там слева вообще невероятно, что творится. Как канонада. Сплошной огонь. Блики идут даже на станцию. Вся облачность подсвечивается. Лавина молний и огня. Восходят звезды. Интересный сейчас горизонт — цвета морской волны...

Фотон-1. На орбите особенно понимаешь, насколько важна метеорологическая подготовка. 90% нашего полета проходит над облаками. Облачность отслеживает все морские течения. Мы можем предсказать, где фронт, куда он смещается. Недавно предсказали, что в Москве будет хорошая погода...

Сейчас у нас справа по ходу полета большой циклон с глазом в центре. Ориентировочно размер циклона 400 на 400 км, а внутри воронка... После циклонов, как после снегоочистителя, пространство чистое...

Фотон-2. Циклон вчера в третий раз наблюдали в 16 часов. Прошли как раз над его горловиной. «Глаз» имеет в диаметре 25 км... Циклон на фоне Земли... Очень красив. Сегодня четвертый день его наблюдаем.

Фотон-1. Наводнение в Индии. Все реки вздулись, стали коричневыми, широкими. Земная поверхность смотрится, как водная гладь, как океан... Циклон огромный стоит, S-образный. Вы им как колпаком прикрыты... Устойчивый,

с двойным заворотом. Такие бывают только в океане. Над сушей мы их редко видели.

Еще одно интересное явление наблюдаем и часто любим-ся им. Когда летим над океаном, под облаками бывают цветные всполохи. Сначала ровное огненное пламя, потом в течение полутора секунд проходят все цвета радуги и исчезают. При низких углах Солнца.



Южная Америка, река Амазонка с притоками.

Заря. Вы смотрите в направлении к Солнцу?

Фотон-2. Наоборот от Солнца.

Фотон-1. Солнце освещает пространство между облачностью и поверхностью океана. Развитие идет по вертикали.

Фотон-2. Получается типа мгновенной радуги. Начинается с красных тонов, поэтому воспринимается как взрыв. На восходах и заходах на слое зодиакального света вдруг возникают то синие, то фиолетовые лучи...

Заря. «Фотоны», ото всех вам огромная признательность за ваш великолепный прогноз погоды. Сначала даже не верилось. Поутру был дождичек, а после обеда совершенно ясное небо: миллион на миллион.

Фотон-1. Нам сверху видно все».

При полете над океаном космонавты наблюдали явление

типа цветных сполохов под облаками при низком положении Солнца. Это можно объяснить следующим образом. Красноватые (вследствие селективного ослабления в атмосфере) солнечные лучи, попадая через разрывы облачности на поверхность океана, после зеркального отражения от водной поверхности (в виде солнечной дорожки) подсвечивают снизу облака и тем самым создают хорошо видимый из космоса эффект цветных сполохов.

В. В. Коваленок и А. С. Иванченков обратили внимание на необычные цветовые картины рек Южной Америки [181]:

«Впечатляюще выглядит Амазонка. Большая река, красновато-коричневая, мутная. Воды при ее впадении в Атлантику окрашивают океан на сотни километров...

Видели интересную картину, — рассказывает Иванченков, — Риу-Бранку и Риу-Негру — довольно крупные реки. Риу-Негру совершенно чистая, прозрачная, а Риу-Бранку — кофейного цвета. Сливаясь они текут 200 — 300 км, не перемешиваясь. Один берег — коричневый, другой — чистый».

Основные экипажи первой и второй экспедиций на «Салют-6» проводили систематический осмотр нескольких иллюминаторов орбитального комплекса общей площадью около 0,04 м². С 29 сентября 1977 г. по 2 ноября 1978 г. на иллюминаторах без защитных бленд было зафиксировано появление в среднем по 9 микрометеоритных кратеров диаметром 1 — 4 мм [111]. Кроме того, было отмечено появление еще некоторого числа более мелких углублений, однако их отождествление с микрометеоритными кратерами на основании визуальных наблюдений из кабины станции затруднительно. Оценки плотности потока микрометеоритов, выполненные по результатам наблюдений, оказались на один-два порядка выше принятой модельной кривой, построенной в основном по данным пробойных датчиков на ИСЗ серии «Пегас».

Третья экспедиция. Космический корабль «Союз-32», пилотируемый Владимиром Афанасьевичем Ляховым и Валерием Викторовичем Рюминым, был запущен на околоземную орбиту 25 февраля 1979 г. в 14 ч. 54 мин, 26 февраля в 16 ч 30 мин была осуществлена его стыковка с орбитальной станцией «Салют-6» [157]. Космонавты продолжили визуальные наблюдения атмосферно-оптических явлений, акватории и поверхности Земли и получили некоторые интересные результаты, которые используются специалистами по изучению природной среды

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6, -7»...



Северное побережье Сомали.

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

из космоса. Наиболее интересные результаты получены при наблюдении акватории морей и океанов. В. А. Ляхов и В. В. Рюмин обратили внимание на изменение цвета океана



Восточное побережье Сомали.

в зависимости от положения Солнца и участки повышенного уровня воды в океане [181]:

«Мы заметили, что чем выше Солнце, тем лучше видна

окраска океана. При низком Солнце он весь темно-голубой. Но вот оно поднимается, и океан открывает свои цвета. Контрастней всего бирюзовый. А при низком Солнце видны течения, завихрения, полосы на воде...

— Сейчас в районе Аравийского полуострова видим две очень четкие полосы бирюзового цвета с завихрениями...

— В 200—250 км к востоку от Африки в океане видели вздыбливание воды, о котором рассказывал Володя Коваленок. Полоса длиной примерно 100 км...



Побережье Сомали.

— Большая волна, как девятый вал, в абсолютно чистом океане. Полоса узкая 1,5—2 км, и от нее тень на воде. Впечатление такое, что здесь два вала столкнулись и поднялись вверх».

После завершения полета о некоторых результатах визуальных наблюдений В. В. Рюмин очень образно рассказал в «Космическом дневнике»:

«Нам часто задают вопрос, не видели ли мы в космосе таинственных пришельцев. К сожалению, ничего такого, что можно было бы принять за инопланетян, не встретили. Но вот, что касается тайн в космосе, то их очень много. Например, свечения типа полярного сияния, но только в средних широтах перед восходом Солнца. Или такое наблюдение —

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

коричневая тень от станции на дневной стороне Земли, которая имела переменные размеры (глония — *прим. авт.*)... Или вот в Индийском океане видели вспучивание воды. Видели оба. Будто два огромных, километров на сто, вала сошлись в борьбе. Что это? Из космических полетов привозят много ответов, а вопросов, кажется, появляется еще больше.



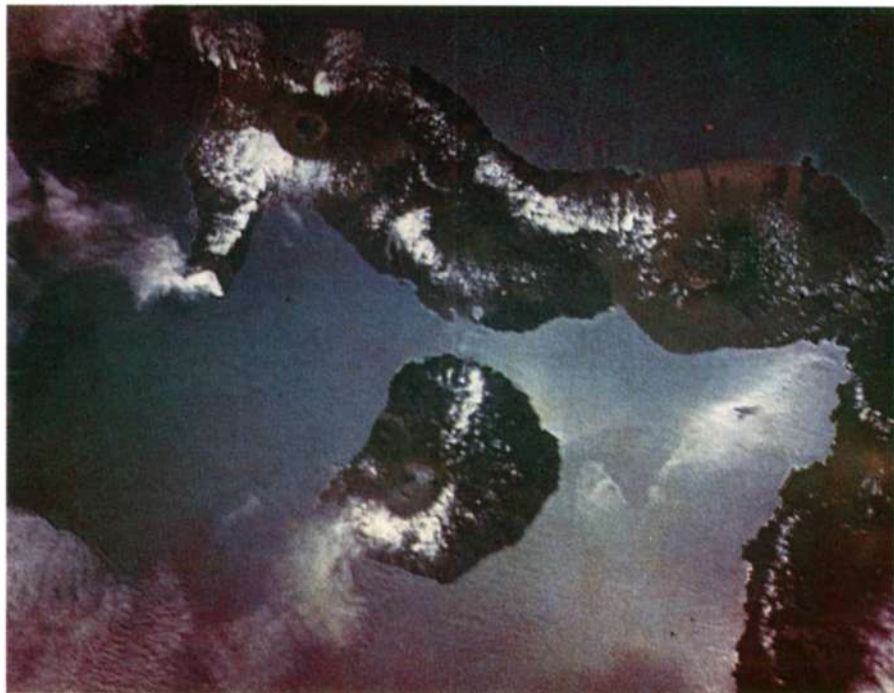
Озеро Поопо на территории Боливии.

Мы много времени уделяем визуальным наблюдениям, съемкам. По нашим данным поисковые суда выходили на рыбные косяки. На географические карты наносились новые разломы и кольцевые структуры...

На орбите рассвет смотрится совсем не так, как на Земле. Все происходит очень быстро. Сначала появляется на границе Земли и атмосферы тоненькая синеватая или зеленоватая полоска над тем местом, где потом должно показаться Солнце. Полоска очень быстро, буквально за несколько минут, разра-

стается в большую полосу, светящуюся всеми цветами радуги. Это Солнце, подсвечивая снизу атмосферу, заставляет ее играть такими красками. От состояния этого слоя атмосферы, наличия там облачности и зависят эти цвета и сочетания.

И хотя за мой полугодовой полет я неоднократно наблюдал восход Солнца, все равно каждый раз смотрел на это чудо



Галапагосские острова в блике.

с восхищением. Так и сейчас, находясь снаружи станции и обдумывая все трудности предстоящей работы, я тем не менее с восторгом встречал рассвет. Это был уже юг Тихого океана (а заход был над Японией — прим. авт.), и впереди должна была показаться оконечность Южной Америки, там в это время была зима. Горы и ледники ослепительно сверкали. А в проемах гор виднелись не замерзшие, наверное, соленые озе-



Река Иртыш. Бухтарминское водохранилище.

ра с зеленоватой водой. Солнце еще не взошло, а я уже пошел по станции...»

Четвертая экспедиция. Космический корабль «Союз-35», пилотируемый Леонидом Ивановичем Поповым и Валерием Викторовичем Рюминым, был запущен на околоземную орбиту 9 апреля 1980 г. в 16 ч 38 мин, 10 апреля 1980 г. в 18 ч 16 мин осуществлена его стыковка с орбитальным комплексом «Салют-6» —

«Прогресс-8» [158].

Экипажи четвертой экспедиции орбитальной станции «Салют-6» продолжили визуальные наблюдения и инструментальные исследования атмосферно-оптических явлений, облачного покрова, акватории и поверхности Земли. Космонавты наблюдали и фотографировали зодиакальный свет, эмиссионное излучение ночной и сумеречной атмосферы, серебристые облака. В частности, В. В. Рюмина интересовали исследования второго эмиссионного слоя, которые он начал еще во время третьей экспедиции на «Салюте-6». Во время радиопереговоров с центром управления полетом космонавты рассказали об этих исследованиях [181]:

«16 мая в 03.30, — сообщил Попов, — я наблюдал восход Солнца, и сразу за ним под созвездием Ориона заходи-

ла молодая Луна. И вот на конце светящейся атмосферы появился так называемый «ласточкин хвост» — очень яркое оранжевое свечение, направленное вертикально вверх и под углом, в сторону... Я зарисовал.

— Сегодня, — докладывал Рюмин, — впервые за этот полет наблюдали серебристые облака. Они были почти под нами. Увидели их над Тихим океаном. Отсняли целую пленку. Большие, красивые, я не видел таких за весь прошлый полет, Солнце уже взошло. Они были на верхнем крае атмосферы, выше обычной облачности и цвет у них совсем иной...

— Три дня назад видели серебристые облака, — сообщали в радиопереговорах «Днепры». — Они были в южном полушарии, перед экватором, примерно за три минуты до него. А в северном они опускаются до тридцати градусов северной широты».

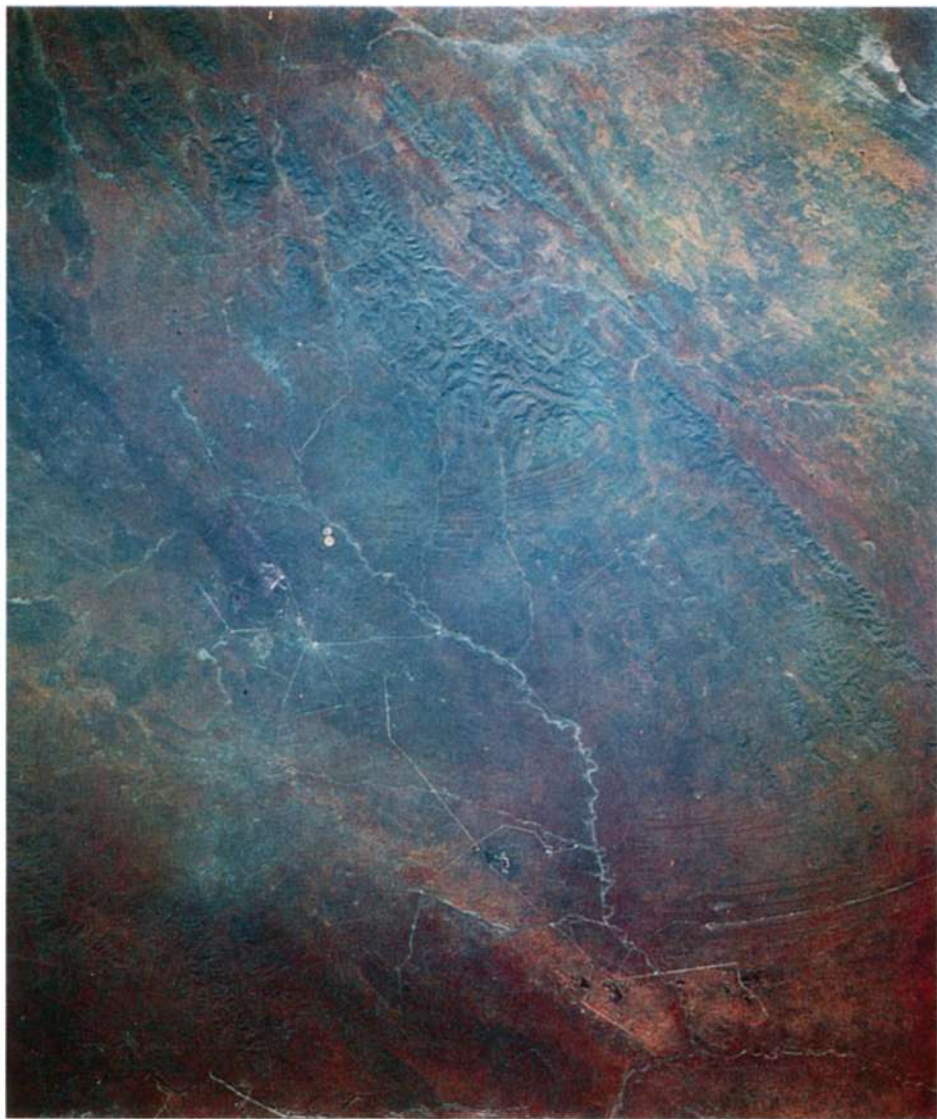
В. В. Рюмин возвратился на станцию «Салют-6» почти через восемь месяцев. Он сразу же обратил внимание на изменения в состоянии иллюминаторов «Салюта-6» за время беспилотного полета с августа 1979 г. по апрель 1980 г.:

«Два иллюминатора в переходном отсеке потеряли почти полностью прозрачность. Впечатление было такое, что снаружи их чем-то замазали. На многих иллюминаторах появились каверны от попадания микрометеоритов. Они были невелики, но многочисленны.

Такие попадания постоянно беспокоили Землю, и со следующим «Прогрессом» нам даже прислали специальные защитные крышки на случай, если стекло все-таки лопнет. Через прозрачные иллюминаторы видны были и другие изменения снаружи станции. Космос постоянно оставляет свои следы».

Экипажи четвертой экспедиции выполнили большую программу наблюдений поверхности Земли. О методах опознавания района наблюдений, привязки к нему рассказал после полета Рюмин [181]:

«Когда под тобой знакомая местность, то точность привязки 10—15 км. Например, Братское водохранилище, у него есть рукава, видны отходящие «усы». Тут все понятно, не ошибешься. А есть районы, которые постоянно закрыты облаками и их не знаешь совсем: Филиппины, Малайзия. Я уже во втором длительном полете, а до сих пор не видел Панамского канала. Все время там облачность. Ни разу не видел, чтобы не



Зимбабве и Замбия.

было облачности над устьем Амазонки. А почти постоянно открыты Африка, Австралия, наши южные районы, юг Украины, Венгрия, Италия, Испания.

Видишь порой и через облака. Бывает кружевная облачность, как оренбургский платок».



Южная Америка. Анды.

С борта орбитальной станции «Салют-6» венгерский космонавт Б. Фаркаш много внимания уделял поиску Венгрии и особенно Будапешта. Дело в том что в его программу венгерскими геологами были включены наблюдения разломов и других геологических структур на территории Венгрии. После завершения полета В. В. Рюмин рассказал о работе Фаркаша:

«Он добросовестно старался их выполнить. А это нелегко. Венгрию мы проходили всего на двух витках в сутки. Да и скорость у нее большая. Хорошо еще, что есть прекрасный ориентир — озеро Балатон. Вообще на Земле, наверное, есть всего два таких озера. В Венгрии Балатон, а у нас Балхаш. Они имеют совершенно удивительный цвет воды, не голубой,



Средиземное море в районе Гибралтара.

а зеленоватый. Да и очертания у них схожие. Поэтому мы их всегда легко узнавали. И это была хорошая привязка».

Командир этого международного экипажа посещения В. Н. Кубасов после возвращения на Землю рассказал о некоторых наблюдениях с борта орбитальной станции «Салют-6».



Португалия, г. Лиссабон.

28 мая 1980 г. на следующий день после стыковки космического корабля «Союз-36» с орбитальной станцией «Салют-6» во время полета над Южной Америкой космонавты отчетливо видели горный рельеф и покрытые снегом вершины. При полете над Атлантическим океаном, по наблюдению космонавтов, «голубая вода шельфовой зоны сменяется густой синью глубоководья...». Орбита у нас солнечная, летаем почти все время вдоль терминатора — условной линии, разделяющей день и ночь на земной поверхности. Наверное, оттого мы и видим Землю как бы в полутонах, в приглушенной яркости. Тени длинные, рельеф не контрастный, а какой-то смазанный, и почему-то очень много облаков, даже над Африкой, к которой мы приблизились, миновав Атлантический океан».



Южная часть Италии и остров Сицилия.

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6, -7»...

В конце этого дня В. Н. Кубасов и Б. Фаркаш решили провести наблюдения Земли и особенно посмотреть на Венгрию из космоса. Космонавты переместились в переходный отсек, в котором иллюминаторы расположены по всему периметру, что позволяет проводить наблюдения в различных направле-



Южная Америка, озера Титикака и Поопо.

ниях. Они увидели Венгрию только ночью «кругом темная ночь, а на Земле, словно звезды, светятся города. Берци убеждает, что разглядел Будапешт и даже свой родной город Папа...

За какую-нибудь минуту успеваем пересечь Венгрию с северо-запада на юго-восток. Выходим к Средиземному морю. Видны огни на берегу, а дальше чернота моря.

Снова побережье — Ливия! Здесь всегда много огней: газовые факелы горят. Особенно хорошо их видно ночью».

Обобщая свои впечатления о наблюдении из космоса акватории и поверхности Земли Кубасов отмечает:

«Океаны кажутся отсюда в основном синими, лишь места богатые планктоном, например Саргассово море, с зелено-

ватым оттенком. Хорошо видны корабли: точка, за которой тянется след, мы называем его буруном.

Реки с орбиты будто высохшие, видно потому, что глубина не велика, а вода довольно мутная. Горы темнее, чем равнины, и только самые высокие вершины белеют снегами. Земная поверхность коричневая, за исключением пустынь, они желтые.

Как ни странно, сразу не определишь, пашня под тобой или лес. По цвету они почти одинаковы, и чаще всего распознаешь по такому неприятному признаку, как дым от пожаров. Очень много все-таки горит лесов в Африке, Австралии, да и у нас в Сибири.

Города на Земле — сероватые пятна, но, если присмотреться, свериться с картой или глобусом, можно «вычислить», что это именно город. А вот на ночной стороне планеты таких сомнений не возникает: города сияют огнями своих кварталов, отдельных домов, и особенно заметны крупные автомагистрали...

Казалось бы, чем отличается при взгляде со сравнительно небольших — авиационных высот — обыкновенная горная долина от крупного разлома земной коры? Оказывается, есть признаки, по которым их можно различать, и это важно, потому что вдоль трещины ослаблена прочность коры, силой колоссального давления магмы к поверхности некогда поднялись рудоносные растворы. За миллионы лет они превратились в полезные ископаемые, «демаскируемые» сегодня контрастными — при взгляде с орбиты и протяженными разломами.

Вообще-то взгляд из космоса обладает своеобразными «рентгеновскими» свойствами — отсюда как бы сглаживаются, исчезают мелкие детали и проявляются глубинные разломы, деформации. А так как с ними теснейшим образом связаны источники землетрясений, то и для сейсмологов интересна информация из космоса...

Еще с 20-х годов нашего века известно, какую пользу «взгляд сверху» может принести археологии. Земному наблюдателю не углядеть, например, скрытые толщей Земли останки древних построек.

Почва, как почва, трава, как трава, никаких следов некогда процветавших цивилизаций. А с самолета трава траве рознь, и едва заметные различия в цвете выдают контуры снесенных

временем городских поселений, отдельных построек. Еще яснее картина представляется из космоса, благодаря «рентгеновскому» взгляду, камеры фиксируют древние очаги цивилизации. Так, в программу нашего полета входило фотографирование окрестностей озера Титикака на территории Перу, где некогда расцвела могучая культура инков...

Умение видеть с орбиты во многом зависит, конечно, от личного опыта космонавта. Полетаешь, привыкнешь к видам за стеклом иллюминатора и уже с первого взгляда узнаешь место, над которым проходит корабль».

Вместе с основным экипажем В. Н. Кубасов и Б. Фаркаш принимали участие в выполнении эксперимента «Рефракция». Еще экипажи первых экспедиций на «Салюте-6» установили, что видимая из космоса у горизонта Земли форма Солнца претерпевает существенные изменения по мере изменения его высоты над горизонтом. Солнце изменяет свою форму от привычного круга до ярко выраженного овала со ступеньками. При проведении эксперимента «Рефракция», сориентировав один из иллюминаторов орбитального комплекса на Солнце, спроектировали изображение Солнца на специальный экран. При высоком положении Солнца над горизонтом его изображение имело форму яркого круга, а при погружении в атмосферу изображение Солнца изменяло свою форму, и космонавты фотографировали это изображение.

На состоявшейся во время полета пресс-конференции «Космос — Земля» журналисты спросили Кубасова, изменилась ли планета со времени его последнего полета в 1975 г. На этот вопрос космонавт ответил, что определенно можно сказать об усилении загрязнения природной среды.

В начале июля 1980 г. космонавты разгружали грузовой транспортный корабль «Прогресс-10» и проводили географические эксперименты [181].

Л. И. Попов и В. В. Рюмин проводили наблюдения и передавали сообщения на Землю о лесных пожарах, о зарождении циклонов, динамике пылевых бурь [181]:

«Аравийский полуостров весь в пыльной буре. Сплошная дымка. Движение на северо-восток.

Через пару суток:

— Аравийская пыль закрыла Красное море и Персидский залив.

А затем:

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

— Подходим к Аралу, и тут затянуто дымкой».

Визуальные наблюдения и инструментальные оптические исследования вместе с основным экипажем проводил и международный экипаж посещения в составе В. В. Горбатко и Фам Туана. Они выполнили эксперименты «Терминатор», «Атмос-



Перу, Боливия.

фера», «Поляризация». Когда после завершения полета вьетнамского космонавта Фам Туана спросили, похож ли вид Земли из космоса и с борта самолета, то он ответил [158]:

«Хотя мы смотрели на Землю с высоты 350 км, было видно лучше, чем с борта самолета. Планета наша изумительно красива. Хотя по условиям нашего полета в светлое время суток в основном мы видели океан, но удалось полюбоваться и континентами Земли. Мой родной Вьетнам, Лаос, Кампучия — очень зеленые из космоса, хорошо видны реки, дороги, ночью — города. А вот Африка в целом желтого цвета из-за

большого количества пустынь. Очень красива Южная Америка с ее высокими горами, ледниками».

Международный экипаж посещения в составе Ю. В. Романенко и А. Томайо Мендеса вместе с «Днепрами» проводил визуальные наблюдения, фотографирование и спектрометрирование территории Кубы и ее шельфовой зоны. Во время полета в ответах на вопросы журналистов кубинский космонавт Арнальдо Томайо Мендес рассказал о космических пейзажах [158]:

«Да, мне много рассказывали в Центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина о красотах в космосе, но то, что я вижу своими глазами здесь, на высоте 350 км, прекраснее всех рассказов. Яркие краски континентов и океанов, космические зори и закаты удивительны. Товарищи научили угадывать, где будет восход Солнца, и наблюдать это яркое красочное зрелище в космосе очень интересно. Так же, как и радугу на закате. Я думаю, что еще нет такой совершенной техники, которая могла бы абсолютно достоверно запечатлеть все те чудеса, которые мы наблюдаем...»

Еще 19 сентября, пролетая над западными провинциями Кубы, я получил возможность взглянуть на наш родной остров, яркие краски родины, выделяющиеся на фоне Карибского моря, произвели на меня неизгладимое впечатление. Я очень рад, что увидел Кубу в первый же день космического полета».

Л. И. Попов и В. В. Рюмин продолжали исследования захода Солнца [181]:

«Провели ориентацию по солнечным пятнам... . Сделали съемку заходящего солнца с экрана. Красиво. Вдоль длинной оси солнечного эллипса вдруг побежала широкая черная полоса, потом полосы побежали под углом».

Космонавты наблюдали за развитием облачных образований над океаном с целью проверки гипотезы о том, что зарождение циклонов и антициклонов связано с океаническими вихрями и течениями. По заданиям гляциологов они вели наблюдения за снежным покровом и положением фирновой линии в горных районах, за динамикой схода снежного покрова в горах Памира и за подъемом фирновой линии на нескольких ледниках, в том числе на самом длинном леднике Евразии — леднике Федченко.

При наблюдении ледников космонавты обратили внимание



Ледники Патагонии.

и на цветовые оттенки их отдельных участков. При повышенном испарении или таянии ледников наблюдается изменение их цвета в районе границы питания от обычного серо-голубого оттенка в стальной цвет. Велись наблюдения и за снежно-ледниковым покровом горных районов Южной Америки. Космонавты, в частности, установили, что летом между тропиками и широтой 20° ю. на многих вершинах, высота которых достигала 5000 м, нет снежного покрова [181].

Экипажи четвертой экспедиции на «Салюте-6» особенно тщательно изучали Карибское море. Много внимания космонавты уделяли исследованию прибрежной зоны. В районе Карибского моря август-сентябрь — это сезон активности ураганов, зарождающихся над Сахарой, пересекающих Атлантический океан, а в районе Кубы поворачивающих на север.

Длительные полеты в космосе позволяют вести наблюдения за развитием ураганов. Л. И. Попов, В. В. Рюмин постоянно сообщали на Землю о перемещении ураганов в районе Карибского бассейна [181]. В сентябре 1980 г. по просьбе метеорологов они вели наблюдения за развитием тропических циклонов Френсис и Архита.

Пятая экспедиция. Космический корабль «Союз Т-4», пилотируемый Владимиром Васильевичем Коваленком и Виктором Петровичем Савиных, был запущен на околоземную орбиту 12 марта 1981 г. в 22 ч, 13 марта в 23 ч 33 мин осуществлена его стыковка с орбитальным комплексом «Салют-6» — «Прогресс-12» [159].

Основной экипаж пятой экспедиции продолжил систематические наблюдения и инструментальные исследования атмосферно-оптических явлений, акватории и поверхности Земли по программе, специально разработанной для этой экспедиции проф. А. И. Лазаревым. В проведении этих исследований принимали участие также и международные экипажи посещения. Космонавтами были получены интересные данные по серебристым облакам, второму эмиссионному слою ночной атмосферы, зодиакальному свету, акватории Мирового океана. Некоторые результаты этих исследований были опубликованы в двух монографиях [8, 90].

В соответствии с программой экипажи пятой экспедиции продолжили наблюдения ночной ионосферы Земли. В марте 1981 г. они наблюдали горизонтальную неоднородность свечения второго эмиссионного слоя в районе Бразильской анома-

лии, которая проявлялась в виде лучевой структуры. Особенностью структуры было то, что наклон лучей от вертикали составил примерно 10° . На следующем витке полета космонавты заметили мерцания в свечении второго эмиссионного слоя и еще раз наблюдали лучевую структуру, которая имела отчетливо видимые лучи с просветами-прожилками между ними. В этой картине отдельные лучи были более толстыми и более яркими и имели различную высоту. Во время этих наблюдений первый эмиссионный слой имел повышенную яркость, что визуально воспринималось как слияние этого слоя с видимым горизонтом Земли [90].

2 и 3 мая 1981 г. космонавты наблюдали интенсивное свечение второго эмиссионного слоя в планетарном масштабе. В. В. Коваленок обратил внимание на то, что в это время при появлении общей засветки всего звездного неба он периодически видел лучевую структуру, которая появлялась в разных местах в течение непродолжительного времени. Планетарное свечение второго эмиссионного слоя 2 мая 1981 г., по-видимому, было следствием свечения верхней атмосферы после сильного среднеширотного полярного сияния, которое космонавты наблюдали 1 мая 1981 г. юго-западнее и южнее Австралии. А наблюдавшееся космонавтами повышенное свечение второго эмиссионного слоя в высоких широтах 3 мая 1981 г. связано, скорее всего, с внезапным ионосферным возмущением и вызвавшей его солнечной вспышкой [90].

Наблюдения полярных сияний В. В. Коваленок и В. П. Савиных проводили в свободное от других занятий время. Наиболее интересные картины полярных сияний космонавты зарисовывали в своих боржурналах, сопровождая зарисовки соответствующими записями. Часть результатов наблюдений наиболее динамичных и интенсивных полярных сияний зафиксировывалась во время наблюдения и записывалась на магнитную ленту. Наибольший интерес представляют результаты наблюдений исключительно сильных полярных сияний 11 и 12 апреля 1981 г. Результаты наблюдения областей свечения полярных сияний 11 и 12 апреля 1981 г. были зарегистрированы космонавтами как в виде записей и зарисовок в боржурналах, так и в виде записей фонограммы на магнитной ленте. Подробно результаты исследований полярных сияний основным экипажем пятой экспедиции изложены в монографии [90].

13 апреля 1981 г. космонавты проводили наблюдения по-

лярных сияний с 14 ч 30 мин до 23 ч 00 мин на витках 379—386. В это время космонавты наблюдали угасание полярного сияния. Области свечения становятся массивными, но не очень высокими. Станция «Салют-6» летела уже не через области свечения, а над ними. Области свечения сияния были одноцветными с преобладанием желтовато-буроватого цвета. Отсутствовали отдельные яркие столбы рубинового цвета. На Кольском полуострове в это время также наблюдались обычные полярные сияния средней интенсивности [89, 90].

Перед основным экипажем пятой экспедиции на «Салюте-6» проф. А. И. Лазаревым была поставлена задача наблюдения и фотографирования серебристых облаков в основном в низких и экваториальных широтах с целью подтверждения и уточнения необычных результатов, полученных экипажами второй, третьей и четвертой экспедиций на «Салюте-6». Эти наблюдения проводились не систематически, а только в свободное от других занятий время. Несмотря на это, серебристые облака в экваториальных и низких широтах были зарегистрированы космонавтами неоднократно в марте — мае 1981 г. Серебристые облака В. В. Коваленок и В. П. Савиных наблюдали и на традиционных широтах: севернее 45° с. ш. и южнее 52° ю. ш., но результаты этих наблюдений космонавты не регистрировали в бортжурналах.

О наблюдениях серебристых облаков Коваленок сообщал во время сеансов связи. Приведем одно из таких сообщений [181]:

«Смотрели в сторону Солнца и наблюдали серебристые облака, недалекие, тонкие. Несколько раз видели двухъярусные серебристые облака. Тонкими слоями примерно на высоте 90—95 км...

Когда мы летели по солнечной орбите, то заметили узкую полосу, описывающую атмосферу кольцом. По этому поводу было высказано предположение, что наблюдались серебристые облака. Тогда получается, что они не только в полярных широтах, но и над всей планетой. Сейчас наша орбита близка к солнечной. Хотя Солнце и заходит, но заря постоянно присутствует. Голубая заря. Серебристые облака почти по всему горизонту, на заходе и восходе, выше белесого слоя, перед фиолетовым».

Первая запись о наблюдении серебристых облаков в низких широтах появилась в бортжурналах Коваленка 21 марта

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

1981 г. В этот день космонавты наблюдали поле серебристых облаков над регионом с координатами $15-45^{\circ}$ N и Λ $285-323^{\circ}$. Следующие записи о наблюдении серебристых облаков в низких широтах появились в бортижурналах космонавтов с 15 апреля по 14 мая [90].



Юго-западная часть
Монголии.

В. В. Коваленок и В. П. Савиных проводили визуальные наблюдения зодиакального света в апреле — мае 1981 г. Результаты некоторых наблюдений космонавты зарегистрировали в виде записей и зарисовок в своих бортижурналах. При наблюдении зодиакального света космонавты видели как его лучевую структуру, так и отдельные лучи. Коваленок и Савиных первыми обратили внимание на изменения яркости в картине зодиакального света, которые они определили как мерцания с периодом около 20—30 с. Напомним, что наблюдаемая с борта «Салют-6» картина мерцания зодиакального света была видна на фоне второго эмиссионного слоя. При этом мерцания могут относиться либо ко второму эмиссионному слою, либо к зодиакальному свету. Анализ результатов наблюдений космонавтов позволил высказать предположение

о том, что мерцания связаны с неоднородностью и нестабильностью магнитосферы Земли, проявляющимися в мерцании яркости второго эмиссионного слоя, а возможно и более высоких слоев атмосферы Земли [90].

Над территорией Монголии космонавты выполнили эксперимент по просвечиванию атмосферы. Для этого на территории Монголии были установлены двадцать мощных прожекторов, пучки которых были направлены в зенит. С помощью аппаратуры космонавты фиксировали свет прожекторов и наблюдали их почти до самого горизонта.

Над заходящим Солнцем они наблюдали необычное полярное сияние в виде «нимба» над Солнцем. Это сияние, по рассказу космонавтов, имело ярко выраженную лучевую структуру.

В одном из сеансов связи В. В. Коваленок рассказал о наблюдениях Каспийского моря [181]:

«Сейчас пролетали севернее Каспия и видели очень интересное явление. Волга и Урал впадают в северную часть Каспия, а выносы этих рек доходят до острова Тюлений, широты полуострова Мангышлак. Наблюдая Каспийское море, мы увидели три фронтальных зоны, три полосы от Кизлярского залива в сторону Махачкалы — водоразделы холодных и теплых вод. Каспийское море как бы представляет Мировой океан в миниатюре. Оно очень динамично, и в нем можно наблюдать много интересных явлений. Фронтальные зоны мы сфотографировали».

В апреле 1981 г. Коваленок несколько раз наблюдал на поверхности океана «борозды» в зоне солнечного блика. Подобные наблюдения проводились 4 апреля в Индийском океане в районе Сейшельских островов, 17 и 22 апреля в Тихом океане юго-восточнее Японии и 21 апреля в Атлантическом океане западнее Ирландии. «Борозды» были хорошо видны только в зоне солнечного блика, вне зоны блика их вообще не было видно.

17 апреля во время наблюдения справа от трассы на удалении примерно 200 км находилась глубокая подводная впадина — долина. Вдоль этой долины направлено течение, совпадающее с наблюдаемой из космоса «бороздой». В северной части этой долины находится цепочка островов Бородино, а с южной — острова Дайто и Окинодайто. В. В. Коваленок наблюдал эту «борозду» в течение 6 с, 22 апреля он наблюдал

«борозду» в районе Идзу-Бонинского желоба, с западной стороны которого простирается цепочка островов Огасавара (Бонин). Вдоль желоба направлено течение, совпадающее с наблюдаемой из космоса «бороздой» в солнечном блике [120].

Таким образом, наблюдение оптических эффектов глубинного рельефа дна из космоса свидетельствует о наличии видимых из космоса контрастов, которые превышают пороговые значения контрастной чувствительности зрительной системы для соответствующих частот. В солнечном блике на водной поверхности видны многие динамические характеристики океана, в том числе и «борозды», отражающие структуру взволнованной поверхности океана, а это приводит к изменению формы солнечного блика в области течения.

27 апреля 1981 г. В. В. Коваленок и В. П. Савиных наблюдали мощное извержение вулкана Алаид на Курильских островах, черный шлейф дыма от которого тянулся на 300—400 км. На следующий день вулкан продолжал дымить, а «шлейф дыма поднимался выше облаков и ветер доносил его до берега Северной Америки, разворачивая вдоль побережья к югу, к Калифорнии» [181].

Пролетая над Монголией, В. В. Коваленок увидел разлом, обозначенный снегом, который летом не было видно. По его мнению, в это время «ярче вырисовываются геологические образования: разломы, кольцевые структуры».

«Салют-7». Орбитальная научная станция «Салют-7» функционирует на околоземной орбите около пяти лет. За это время на ней успешно осуществлены полеты пяти основных экспедиций и пяти экспедиций посещения, в том числе двух с международными экипажами с космонавтами Франции и Индии. Дважды на орбитальной станции «Салют-7» побывали С. Е. Савицкая, В. А. Джанибеков, Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев, а всего на ней работали 20 космонавтов.

Первая экспедиция. Орбитальная станция «Салют-7» была выведена на околоземную орбиту 19 апреля 1982 г. Космический корабль «Союз Т-5», пилотируемый Анатолием Николаевичем Березовым и Валентином Витальевичем Лебедевым, был запущен на околоземную орбиту 13 мая 1982 г. в 13 ч 58 мин, 14 мая в 15 ч 36 мин была осуществлена его стыковка с орбитальной станцией «Салют-7». 17 мая 1982 г. от орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз Т-5» был отделен

и выведен в космическое пространство малый искусственный спутник Земли «Искра-2» [160].

Экипажи первой экспедиции на орбитальной станции «Салют-7» продолжили визуальные наблюдения и инструментальные оптические исследования межпланетного и межзвездного космического пространства, атмосферно-оптических явлений, акватории и поверхности Земли.

В программу инструментальных оптических исследований экипажей первой экспедиции на «Салюте-7» были включены эксперименты по астрофизике, физике атмосферы и поверхности Земли. Для астрофизических и геофизических исследований были использованы французские фотокамеры «Пирамиг» и ПСН. «Пирамиг» — фотокамера высокой чувствительности с электронно-оптическим преобразователем, работающая в ближней инфракрасной области спектра, предназначена для изучения галактических объектов, межпланетного пространства (в том числе и зодиакального света), эмиссионного свечения ночной атмосферы и других слабосветящихся объектов. Фотокамера ПСН предназначена для регистрации зодиакального света, эмиссионного свечения ночной атмосферы, серебристых облаков. Эксперименты с этими фотокамерами проводились на ночной стороне Земли.

Плотность аэрозольного вещества в атмосфере определялась с помощью чехословацкого фотомера ЭФО путем измерения блеска звезд при визировании их через слои атмосферы, содержащие аэрозольные слои. С помощью масс-спектрометра «Астра» космонавты проводили исследования атмосферы вокруг станции. Для фотографирования и спектрометрирования поверхности Земли использовались многозональная фотоаппаратура МКФ-6М производства ГДР, фотоаппаратура КАТЭ-140, спектрометр «Спектр-15» производства НРБ, ручные спектрографы, фотометры и фотоаппараты, бинокли [160].

А. Н. Березовой и В. В. Лебедев проводили визуальные наблюдения и фотосъемку отдельных районов земной поверхности с целью изучения природных ресурсов. По заданию специалистов сельского хозяйства они наблюдали и фотографировали озимые и пропашные культуры в Краснодарском крае, пастбища и хлопковые поля в Средней Азии, пойму Волги, другие сельскохозяйственные угодья в различных регионах Советского Союза, по заданиям геологов исследовали крупные кольцевые структуры, разломы земной коры и другие

геологические объекты. Космонавтам было поручено проследить на левом берегу Волги продолжение так называемого Астраханского свода — пологого поднятия земной коры. В одном из сеансов связи они передали, что им удалось различить левобережное продолжение свода и определить его границы. Между Каспием и Аралом космонавты обнаружили, что «бляшки», т. е. специфические мелкие структуры, это не отдельные образования — они образуют последовательную цепочку. Это вызвало дополнительный интерес геологов к поискам в этих районах нефти и газа.

О визуальных наблюдениях с борта орбитальной станции «Салют-7» очень образно рассказал в своем дневнике В. В. Лебедев:

«14 мая 1982 г. После третьего импульса летим на высоте, на которой я еще не бывал. Посмотрел в иллюминатор: мы над океаном. Интересная кучевая облачность, а на ее фоне тянется гряда (фронт) вуали, как паутина прозрачная...

Видно станцию на фоне Земли. Под ней море сменяется сушей. Горы. Очень красиво...

18 июня 1982 г. Смотрел с Толей сегодня остров близ мыса Горн. Сплошной горный массив, покрытый снегом, на фоне голубого океана и разводов разной структуры облачности. Очень красиво. Впервые увидел на чистой голубой воде десятки белых корабликов (айсбергов). Они по размерам достаточно велики и соизмеримы с самыми большими кораблями. Оконечность мыса Горн покрыта белым слоем. Сейчас в этих широтах зима...

19 июня 1982 г. Смотрел, как заходит Солнце за горизонт. Увидел, наконец, полосы (ступеньки) на нем. Как только оно стало опускаться за атмосферу Земли, проявилась сверху темная полоса, а ниже — полоса песочно-коричневого цвета. Солнце погрузилось полностью за горизонт, и появился белый слой, как молоко, с серебристым оттенком...

20 июня 1982 г. Наступили белые ночи на орбите. Солнце почти не заходит за горизонт. И край его медленно катится за оранжевым пологом горизонта, как за занавесом кукольного театра...»

Вторая экспедиция. Космический корабль «Союз Т-9», пилотируемый Владимиром Афанасьевичем Ляховым и Александром Павловичем Александровым, был запущен на околоземную орбиту 27 июня 1983 г. в 13 ч 12 мин, 28 июня 1983 г.

в 14 ч 46 мин была осуществлена его стыковка с орбитальным комплексом «Салют-7» — «Космос-1443» [161].

В первой половине июля 1983 г. В. А. Ляхов и А. П. Александров начали серию визуально-инструментальных наблюдений, фотографирование и спектрометрирование территории Советского Союза с помощью фотоаппаратов МКФ-6М, КАТЭ-140 и спектрометров, созданных в НРБ и ГДР. Космонавты фотографировали и спектрометрировали Каспийское море, Ставропольский край, Приамурье, Крым, Украину, Байкало-Амурскую магистраль, а по программе «Интеркосмос» и Монголию. С помощью масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1» космонавты продолжали исследования параметров атмосферы в непосредственной близости от орбитального комплекса.

Во второй половине июля 1983 г. космонавты продолжали сбор оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий в районах Поволжья, Северного Прикаспия, Центрального Черноземья, Кавказа, Средней Азии. Они фотографировали мелиорированные земли в бассейнах Амударьи, Сырдарьи, Каракумского канала, Цимлянского водохранилища, Грузинской и Азербайджанской ССР, а также лесных массивов Кавказа. В первый месяц полета был проведен двухнедельный цикл геофизических исследований, включающих визуальные наблюдения, фотографирование и спектрометрирование отдельных районов Земли. Только с помощью фотоаппаратов МКФ-6М и КАТЭ-140 было получено свыше трех тысяч снимков суши и акватории Мирового океана.

В начале сентября В. А. Ляхов и А. П. Александров приняли участие в комплексном эксперименте по определению характеристик земной атмосферы. Этот эксперимент проводился одновременно с помощью двух спектрометров МКС-М, один из которых был установлен на самолете, а другой на борту «Салюта-7», и был составной частью обширной программы исследований, проводимых в акватории Черного моря учеными ГДР, МНР, НРБ, ПНР, СССР и СРР.

С помощью «Атласа цвета» космонавты определяли цвет воды в различных районах Мирового океана:

«Даже трудно передать, насколько изменив цвет воды! Как-то было принято считать, что в океане преобладает серый цвет, но это неверно — очень часто встречаются и зеленовато-желтые пятна, и красные, и синие... Они быстро меняют окра-

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

ску, очевидно из-за волнения или ветра. В общем не познанная еще стихия!..»

Слова космонавтов о неопознанной стихии Мирового океана близки к реальному состоянию. Водное царство планеты оказалось таинственным, во многом непонятным и весьма изменчивым. Наблюдая штормы в Атлантике, космонавты предсказали изменение погоды под Москвой, где прошли ливни. Наблюдения космонавтов дают возможность изучать глобальные атмосферные процессы на нашей планете. Они показали большую роль Мирового океана в формировании погоды на континентах.

В. А. Ляхов и А. П. Александров приняли участие в эксперименте «Черное море», проводившемся по программе «Интеркосмос». Они фотографировали и спектрометрировали Черное море, проводили визуальные наблюдения и регистрировали состояние облачности и атмосферы, цвет морской воды. По заданию специалистов Ляхов и Александров проводили наблюдения за пылевым и дымовым загрязнением атмосферы. В конце сентября 1983 г. во время сеансов радиосвязи космонавты рассказали:

«— Смена времен года очень хорошо заметна. Наверное, специалисты по изучению природных ресурсов будут довольны фотографиями. Они просили нас провести съемки тех же районов, которые мы фотографировали летом. Эти кадры помогут им лучше оценивать характер изменений на земной поверхности.»

Во время полета космонавты часто фиксировали различные стихийные бедствия. Зарождение тайфуна или начало пожара космонавты замечали сразу. И эту информацию быстро передавали на Землю.

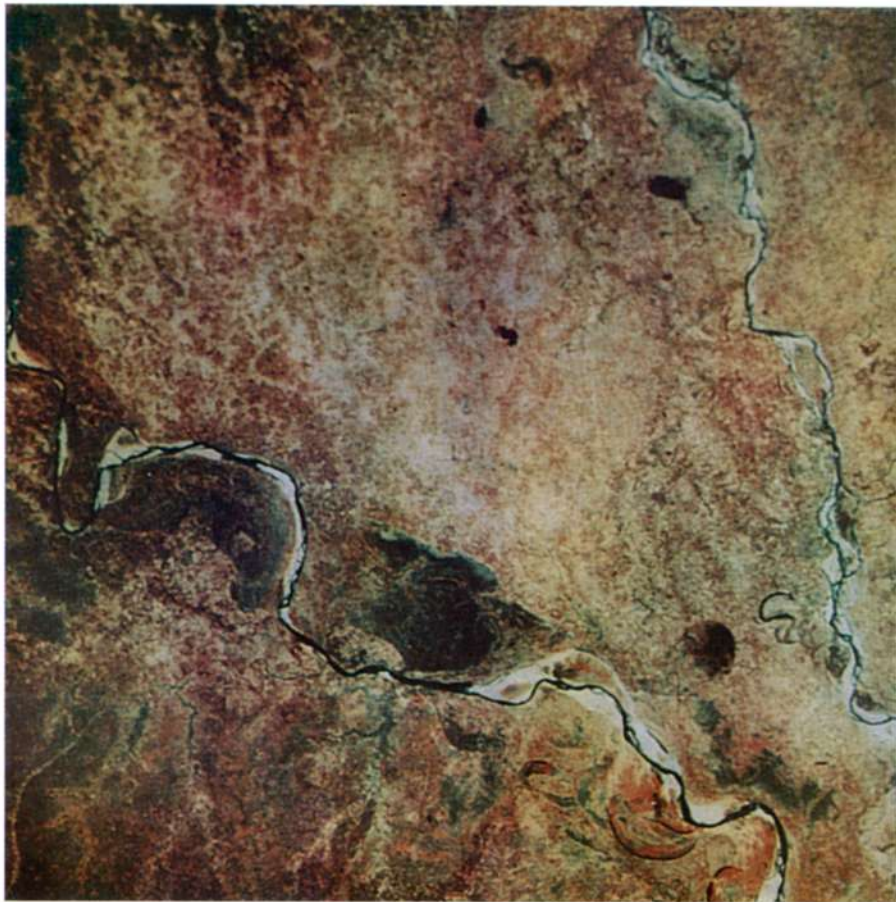
Космонавты неоднократно наблюдали, как от океанического течения отделялся водный вихрь, в котором глубинные воды поднимаются к поверхности.

Экипаж второй экспедиции на орбитальной станции «Салют-7» осваивал впервые доставленный на борт станции колориметр «Цвет-1», с помощью которого космонавты определяли цвета фотографируемых и спектрометрируемых участков поверхности суши и океана, а также изменение окраски ряда материалов после их экспонирования в шлюзовой камере в условиях открытого космоса.

Третья экспедиция. Космический корабль «Союз Т-10», пи-

3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6, -7»...

лотируемый Леонидом Денисовичем Кизимом, Владимиром Алексеевичем Соловьевым и Олегом Юрьевичем Атьковым, был запущен на околоземную орбиту 8 февраля 1984 г. в 15 ч



Реки Ганг и Гхачхара.

07 мин, 9 февраля в 17 ч 43 мин была осуществлена его стыковка с орбитальной станцией «Салют-7» [162].

В процессе орбитального полета проводились визуальные наблюдения и фотосъемка территории Индии и отдельных

районов акватории Индийского океана, при этом синхронно велась съемка с самолетов и с Земли тех районов, над которыми пролетал орбитальный комплекс. Полученная информация поможет при создании карт землепользования, при контроле за состоянием прибрежной зоны, океанографических исследованиях, для изучения состояния лесов, внутренних водоемов, сельскохозяйственных посевов. Большое внимание в ходе этой работы уделялось изучению труднодоступных районов Индии, таких, как Гималаи, пустыни и полупустыни, определялись запасы воды в горах, пригодные для земледелия участки пустыни.

По программе «Терра» были выполнены съемки восточного и западного побережья полуострова Индостан и дельты реки Ганг, районов Андаманских и Никобарских островов с целью обнаружения нефтегазоносных районов на мелководье, лесных массивов и лесопосадок в центральной части полуострова Индостан.

С помощью французской фотокамеры с электронно-оптическим преобразователем Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев фотографировали комету Кроммелика и другие слабосветящиеся источники в межпланетном и межзвездном пространстве, а также излучение ночной верхней атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков.

С борта орбитальной станции «Салют-7» космонавты провели несколько серий визуальных наблюдений и сфотографировали различные регионы Советского Союза и акватории Мирового океана. Были получены дополнительные данные о ледниках и снежном покрове Памира, геологических структурах Кызылкумов и Тянь-Шаня, состоянии сельскохозяйственных угодий Краснодарского края. Экипажи третьей экспедиции на «Салюте-7» продолжили визуальные наблюдения за некоторыми геологическими объектами, которые практически не видны на фотоснимках. На специально подготовленных фотокартах космонавты фиксировали результаты визуальных наблюдений таких геологоразведочных объектов, которые существенно дополняют и расширяют возможности технических средств дистанционного зондирования.

По программе международного сотрудничества в области исследования и использования космического пространства в мирных целях «Интеркосмос» 28 августа 1984 г. космонавты участвовали в комплексном эксперименте «Черное море»,

а 29 августа в аэрокосмическом эксперименте «Гюнеш». В эксперименте «Черное море» отрабатывалась методика дистанционного зондирования водных поверхностей. Съемки отдельных районов Черного моря проводились одновременно с «Салюта-7», специализированного океанографического спутника «Космос-1500», самолетов-лабораторий и научно-исследовательских судов «Михаил Ломоносов» и «Профессор Колесников». В подготовке эксперимента наряду с советскими специалистами приняли участие специалисты ГДР, НРБ и ПНР.

Эксперимент «Гюнеш» выполнялся по программе международного космического проекта «Изучение динамики геосистем дистанционными методами», в нем вместе с советскими специалистами принимали участие специалисты ВНР, ГДР, Республики Куба, МНР, НРБ, ПНР и ЧССР. В эксперименте «Гюнеш» фотографирование и спектрометрирование с «Салюта-7» сопровождалось съемкой с самолетов-лабораторий и подвижных пунктов наблюдения.

Данные аэрокосмических исследований позволили «отработать методику определения границ лесов и пастбищ, классифицировать пастбища по степени воздействия на них человеческой деятельности... Важные результаты получены при изучении системы засоленных и солончаковых территорий высыхающего соленого озера Аджиноур...

В Мингечаурском водохранилище изучалось распределение взвесей, влияние на их изменение гидродинамических процессов...»

Во время полета при проведении медицинских исследований у членов экипажа третьей экспедиции «Салюта-7» определялась острота зрения, контрастная чувствительность и некоторые функции цветового зрения.

С большим интересом космонавты проводили наблюдения океана: «Это на первый взгляд кажется, что океан одинаков, — отвечает Леонид Кизим, — на самом деле наблюдать его чрезвычайно интересно.

— И очень важно. Ведь именно над океаном и даже в его глубинах формируется погода планеты, — добавляет Владимир Соловьев. — В первые дни полета, когда еще не полностью адаптируешься к невесомости, может показаться, что цвет поверхности океана везде одинаков. Но постепенно острота (точнее цветовозличение — *прим. авт.*) зрения усиливается — об

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

этом свидетельствуют все космонавты, которые совершали длительные экспедиции, — и начинаешь различать малейшие оттенки цветов.

— О некоторых мощных вихрях и тайфунах, зарождение которых обнаружили, мы оперативно сообщили в Центр управления полетом, — замечает Олег Атьков. — Ведь такие тайфуны, обрушиваясь на побережье, приносят неисчислимые беды. Но сейчас по трассе полета океан спокоен...»

По заданию ученых космонавты отыскивали в океане синоптические вихри, сравнительно небольшие образования, отличающиеся различными размерами и цветом и оказывающие большое влияние на формирование погоды. Некоторые из синоптических вихрей отличались зеленоватым цветом. В этих вихрях глубинные воды поднимаются к поверхности, что вызывает бурное развитие биомассы, определяющей зеленоватый цвет океана. В других соседних синоптических вихрях космонавты видят голубоватые оттенки — здесь вода с поверхности уходит в глубину.

С помощью фотометра ЭФО-1 космонавты определяли плотность атмосферного аэрозоля по измерению блеска звезд при визировании их через содержащие аэрозоль слои атмосферы. Эти исследования, как это отметил летчик-космонавт А. А. Серебров, непосредственно связаны с охраной окружающей среды. По рассказу А. А. Сереброва, из космоса хорошо видно, «как загрязнена атмосфера над Западной Европой и промышленными районами США...

Взгляд с орбиты дает возможность сразу и глубоко ощутить хрупкость колыбели человечества, необходимость осознанного и ответственного к нашей планете отношения.»

После завершения полета С. Е. Савицкая высказала ряд соображений о народно-хозяйственном значении визуальных наблюдений из космоса:

«Дальнейшее развитие геологии невозможно без информации из космоса. При этом как бы ни была совершенна новейшая автоматически действующая аппаратура, не снижается роль визуального наблюдения, то есть человека. Глядя на Землю с большой высоты, космонавт зачастую видит то, что не просматривается даже на самых качественных фотоснимках, сделанных со спутников. Взгляд с орбиты специалиста, разбирающегося в геологических структурах, позволил открыть целый ряд ранее неизвестных особенностей внешнего строения

земной коры — большие кольцевые структуры, мощные разломы, высохшие русла старых рек и прочее. Обобщение результатов таких наблюдений с учетом имеющихся данных может предсказать местонахождение полезных ископаемых. Например, в районе прикаспийской низменности, по данным экипажей орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7», было спрогнозировано наличие нефти и газа. Геологоразведочные партии уже подтвердили это.

Космонавты видят в море скопления планктона — на фоне сине-голубой воды четко выделяются зеленоватые расплывшиеся пятна. Рядом с побережьем планктон иногда собирается в ярко-зеленые полосы, очень похожие на изумрудные ожерелья вокруг островов. А там где планктон, там и рыба — это давно известно морякам.»

Четвертая экспедиция на орбитальной станции «Салют-7» проводилась в три этапа. До начала четвертой экспедиции «состояние орбитальной станции «Салют-7» уже вызывало серьезную тревогу у специалистов по управлению полетом, у космонавтов, конструкторов. Со станцией не было связи, не поступала информация с борта, она была неуправляема.» Поэтому перед первым экипажем четвертой экспедиции стояли очень сложные задачи прежде всего по сближению и стыковке с неуправляемой станцией, выяснению аварийной ситуации и проведению необходимых ремонтных работ по восстановлению работоспособности «Салюта-7» [162а].

На первом этапе решение этих задач и проведение насыщенной программы научных исследований и экспериментов было поручено экипажу в составе Владимира Александровича Джанибекова и Виктора Петровича Савиных, который был доставлен на околоземную орбиту на космическом корабле «Союз Т-13», запущенном 6 июня 1985 г. в 10 ч 40 мин. Через два дня космонавтам удалось блестяще выполнить сближение и стыковку космического корабля «Союз Т-13» с неуправляемой станцией «Салют-7». Во время сближения космонавтам посчастливилось наблюдать станцию на фоне освещенной Солнцем части Луны (последняя четверть 10 июня 1985 г.).

После возвращения на Землю В. А. Джанибеков очень образно рассказал о том, какой они видели станцию перед стыковкой и о некоторых других впечатлениях:

«Станцию мы увидели сразу после выхода на свет она загоралась в лучах Солнца, еще только пробивавшегося сквозь

атмосферу. Точка не точка, букашка не букашка — она росла по мере сближения. В поле зрения попала и Луна. Интересно было наблюдать, как станция в процессе взаимного сближения «прилунилась», как бы села сверху на Луну, посидела и двинулась дальше. Ее малиновый цвет постепенно переходил в светлый, белый с оттенком слоновой кости. Станция «разгоралась» все ярче, блеск усиливался, порой было больно смотреть на нее в бинокль. Как будто не обшита тканью экранно-вакуумной изоляции, а вся покрыта алюминием с желтой добавкой — такой металлический блеск.

...Нам приходилось видеть, как удивительно меняется окраска воды при разных углах солнечного освещения. С чем это связано, какой оттенок наиболее информативен? А цвет песков в Сахаре, а цвет лесных массивов в тайге? Это ведь важно знать для настройки съемочной геофизической аппаратуры, для дешифровки космических снимков. А в конечном итоге — для сохранения богатств земной природы. Из космоса, как ниоткуда, видны ее ранимость и хрупкость. Заготовки леса, дым промышленных гигантов, плотины, пастбища — все, что несет какие-то последствия и для отдельного региона, и для здоровья всей планеты. Думаешь: если бы вместо планов «звездных войн», которыми тешатся горячие головы из Пентагона, скооперироваться и создать глобальную систему сбора научной информации, какую бы неоценимую пользу мы принесли этим и себе, и потомкам, насколько аккуратнее и эффективнее могли бы развивать нашу промышленную и природопользовательную цивилизацию. Жаль, например, из Африки нет спроса, а то летишь и за какие-нибудь пятнадцать минут видишь до 35—40 очагов пожара в саванне. Да какие пожары! Хвост тянется через Атлантику до берегов Америки....».

Естественно, что цвет и яркость наблюдаемой космонавтами станции «Салют-7» связаны с условиями ее освещения и наблюдения. Наблюдения проводились при полете над сумеречной зоной через боковой иллюминатор, на который не попадали прямые солнечные лучи. Поэтому рассеяние иллюминатором излучение не создавало серьезных помех для наблюдения. Изменение цвета станции объясняется тем, что она освещалась восходящим Солнцем и сумеречным ореолом, цвета которых постепенно изменялись по мере подъема Солнца над горизонтом. Поэтому сначала ее цвет был малиновым

(при низком положении Солнца над горизонтом), а затем постепенно стал светлеть до цвета слоновой кости. Яркость станции стала значительно больше яркости Луны, коэффициент отражения поверхности которой в видимой области спектра составляет около 7%, а у поверхности станции в несколько раз больше.

23 июля 1985 г. Джанибеков и Савиных приняли участие в комплексном эксперименте «Курск-85», в котором одновременно с фотографированием земной поверхности с «Салюта-7» проводилась съемка с искусственных спутников Земли, самолетов-лабораторий, вертолетов и наземных пунктов наблюдений. Параллельно космонавты проводили визуальные наблюдения и фотографирование биосферных заповедников на территории Советского Союза, в частности Центральночерноземного заповедника и окружающих его сельскохозяйственных угодий. В начале августа 1985 г. они провели дополнительную серию визуальных наблюдений и фотосъемку сельскохозяйственного полигона по второму этапу международного комплексного эксперимента «Курск-85» [162а].

О сложности целенаправленных визуальных наблюдений и фотографирования отдельных регионов планеты можно судить по заданиям, подготовленным специалистами и записанными в бортовых журналах космонавтов. В качестве примера, приведем несколько таких заданий и порядок проведения таких экспериментов, записанных на двух страницах боржурнала:

«Прослеживание продолжений зоны разломов в западных отрогах Тянь-Шаня». Эта нехитрая с виду формулировка предлагает такую цепь операций: опознать выделенную зону на местности; отметить ее выраженность в окраске (рядом напечатана для этого контурная карта); выделить участки с аномально яркой или пестрой окраской; проследить продолжение зоны в западном и восточном направлениях; зафиксировать прослеженное продолжение зоны на снимке; сфотографировать район наблюдения ручными и стационарными фотоаппаратами.

«Изучение возможностей исследования центров древних цивилизаций в пределах Средней Азии». Задача: обнаружение погребенных систем орошения в целях обновления. Определить, какие углы визирования, высота Солнца над горизонтом и угол между направлениями на Солнце и на объект исследо-

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

вания являются оптимальными для наблюдения. Сфотографировать древние системы при оптимальных углах на спектрально-чувствительную пленку через соответствующий фильтр. Сфотографировать тот же район другим аппаратом на цветную обратимую пленку. Зарисовать детали, различимые визуально. Результаты наблюдений записать в таблицу.

Этот суховатый слог показывает, как далеки визуальные наблюдения от беглого взгляда в окно. Сколько точных, рассчитанных и оттренированных действий надо совершить, чтобы «схватить» нужный объект с максимальной информационной отдачей. А объектов этих — одно перечисление займет несколько страниц. Геологические структуры в разных зонах страны, участки морской нефтедобычи, районы пустынных пастбищ, лесные массивы (особенно в пожароопасное время), места скопления промышленных предприятий с их выбросами в атмосферу, берега крупных рек, заливаемые паводками, крупные водохранилища, районы землетрясений, трассы нефте- и газопроводов... Из этих наблюдений складывается основа методики постоянного автоматического контроля за состоянием окружающей среды. А пока их надо всячески накапливать, поэтому космонавты являются поистине глазами целого научно-исследовательского комплекса...»

13 августа 1985 г. В. А. Джанибеков и В. П. Савиных приняли участие в комплексном эксперименте «Гюнеш-85», который проводился в районе Кавказско-Каспийского полигона Азербайджанской ССР. В этом эксперименте фотографирование и спектрометрирование сельскохозяйственных угодий и лесной растительности, водоемов, приземных слоев атмосферы, нефтегазоносных структур проводилось одновременно с «Салюта-7», самолетов-лабораторий, вертолетов и наземных пунктов наблюдения.

В конце июля и в августе 1985 г. космонавты вели визуально-инструментальные наблюдения, фотосъемку и спектрометрирование ряда районов Советского Союза, перспективных на нефть и газ, орошаемых земель Узбекистана, Туркменистана и Херсонской области, горных массивов Памира и Тянь-Шаня, кольцевых структур в Центральном Кызыл-Куме и других районов. По просьбе Госкомитета по науке и технике Джанибеков и Савиных выполнили серию снимков воздушного бассейна Запорожья одновременно в шести участках видимой и ближней инфракрасной области спектра.

Записи о некоторых из этих экспериментов в дневнике В. П. Савиных:

«7 августа. Пошла новая работа, новые ожидания. Выполнили две зоны геофизических снимков. Отчетливо видел сегодня устье Вятки, фотографировал. Сделал несколько снимков бесчисленных дорог в степи за Волгой и Уралом. Видели следы бесхозяйственности...

14 августа. Провели эксперимент по линии ГКНТ с целью определения загрязнения атмосферы городов. Работали по Запорожью. Хорошие ориентир, заранее встали на гироскопы и точно вышли, затем удерживали его в поле зрения всей аппаратурой: МКФ-6, МКС-М и другой...»

Второй этап четвертой экспедиции на орбитальной станции «Салют-7» проводился во второй половине сентября 1985 г. 17 сентября 1985 г. в 16 ч 39 мин по московскому времени на околоземную орбиту был запущен космический корабль «Союз Т-14», пилотируемый Владимиром Васильевичем Васютиным, Георгием Михайловичем Гречко и Александром Александровичем Волковым. 18 сентября 1985 г. в 18 ч 15 мин была осуществлена стыковка с орбитальным комплексом «Салют-7» — «Союз Т-13», пилотируемым В. А. Джанибековым и В. П. Савиных. Начался второй этап четвертой экспедиции на «Салюте-7».

В первые дни совместного полета космонавты выполняли эксперименты по зондированию атмосферы. С помощью фотометра ЭФО-1 затменным методом по звезде проводились измерения плотности аэрозольных слоев в атмосфере. А с помощью спектрометра СКИФ затменным методом по Солнцу были проведены измерения рефракции атмосферы и исследовались аэрозольные и озонный слой атмосферы. 22 сентября 1985 г. космонавты приняли участие в комплексном эксперименте «Черное море-85», выполнявшимся с целью отработки методов дистанционного исследования гидрофизических и биологических характеристик морской воды. Фотографирование и спектрометрирование отдельных районов Черного моря проводилось одновременно с орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз Т-13» — «Союз Т-14», специализированных ИСЗ, самолетов-лабораторий и надводных судов.

У Савиных есть записи о проводившихся экспериментах:

«Неделя совместной работы была отдана в основном земной атмосфере... Слаженность доброго десятка приборов тре-

бовалась идеальная. Дома мы в таком составе все это не проходили, пришлось навыки обретать на лету. В глазах стоит картина, например, охоты за Солнцем. Саша Волков у иллюминатора с биноклем — должен проецировать заходящее светило на экран. Мы с Гречко висим на потолке, готовимся снимать на этом экране ступени аэрозольных слоев, которые покажет Солнце при проходе через атмосферу. Джанибеков следит за другим окошком, где установлен самодельный коронограф, чтобы сфотографировать его... Подготовки час, а может и не один. Съемки — полминуты. И тут же надо переключаться на какую-нибудь звезду, тоже «ныряющую» в атмосферу...»

На пресс-конференции, состоявшейся 14 октября 1985 г. после возвращения на Землю, Г. М. Гречко рассказал:

«В. Джанибекову и мне в предыдущих полетах приходилось заниматься изучением верхних слоев атмосферы и удалось сделать интересные открытия. В дальнейшем это стало главной темой моей научной работы, по итогам которой я защитил докторскую диссертацию. В. Савиных, как известно, большой знаток оптических приборов, используемых в космосе. Специальную подготовку прошли В. Васютин и А. Волков. Понятно, что нельзя было упустить столь благоприятную возможность для массированного изучения атмосферы.»

Бортинженер подробно рассказал журналистам о том, какие научные цели преследовали исследования атмосферы, какие ставили эксперименты. Он отметил, что при этом использовался широкий спектр приборов: электронный фотометр ЭФО-1, созданный в Чехословакии, спектрометр МКС-М, разработанный в ГДР, советский спектрометр СКИФ, болгарские аппараты «Дуга» и «Спектр-15».

В конце сентября 1985 г. начался третий этап четвертой экспедиции на «Салюте-7». Космонавты В. В. Васютин, В. П. Савиных и А. А. Волков продолжили исследования природных ресурсов Земли и изучение окружающей среды. Они выполнили несколько серий визуальных наблюдений, фотографирования и спектрометрирования территории Советского Союза и акватории Мирового океана, атмосферы Земли и метеорных потоков. Исследования плотности метеорного вещества космонавты проводили во время прохождения Земли через хвост кометы Джакобини-Циннера. Эти исследования были выполнены с помощью аппаратуры, созданной советски-

ми и французскими специалистами и установленной на внешней поверхности «Салюта-7». В октябре 1985 г. космонавты выполнили эксперимент «Аэрозоль», целью которого было получение новых данных о серебристых облаках, газовом составе атмосферы, ее оптических и спектральных характеристиках.

В конце октября — начале ноября 1985 г. космонавты продолжили исследования газопылевого окружения орбитального комплекса, а также визуальные наблюдения и съемку различных участков суши и акватории морей и океанов, провели серию экспериментов по определению спектральных и оптических характеристик атмосферы Земли и дистанционному зондированию атмосферы с целью определения ее аэрозольного профиля и газопылевого загрязнения, изучали серебристые облака. Большое впечатление на космонавтов производили красочные картины атмосферно-оптических явлений, таких, как сумеречный и дневной ореол атмосферы Земли, мощные полярные сияния, радужные облака и др. В качестве примера можно привести одну из дневниковых записей В. П. Савиных:

«За окном иллюминатора буйство красок, космическая палитра фантастически разнообразна, и это не преувеличение. Здесь один цвет переходит в другой с таким богатством самых неожиданных оттенков, что просто диву даешься. А полярное сияние — это пиршество красок. И нам довелось быть в его центре. Не только красные столбы, но и зеленые, голубые, синие. Они восходили над нами и продолжались под нами фантастическими световыми колоннами, иллюминаторы были залиты рубиновым светом. Мы приникли к ним и увидели, что проносимся через анфилады залов, где перекачивались световые волны, бесконечно обновляясь в цветовой гамме. Воспроизвести богатство космических красок пока не в состоянии ни кисть художника, ни самая совершенная и сверхчувствительная пленка. На Земле таких красок просто-напросто нет...»

Геофизические исследования с орбитальных научных станций «Мир» и «Салют-7». 20 февраля 1986 г. на околоземную орбиту была выведена орбитальная научная станция «Мир». Она является базовым блоком для построения постоянно действующего пилотируемого комплекса со специализированными модулями для научного и народнохозяйственного назначения. Первая экспедиция на орбитальной станции «Мир»,

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

явившаяся одновременно пятой экспедицией на орбитальной станции «Салют-7», проводилась в три этапа. 13 марта 1986 г. в 15 ч 33 мин был запущен космический корабль «Союз Т-15», пилотируемый Леонидом Денисовичем Кизимом



Вулканы на территории Боливии и Чили, вблизи 20° ю. ш.

и Владимиром Алексеевичем Соловьевым, и 15 марта 1986 г. в 16 ч 38 мин пристыкован к орбитальной станции «Мир». Начался первый этап экспедиции.

В начале апреля 1986 г. Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев начали геофизические исследования по заданиям специалистов различных отраслей народного хозяйства. Космонавты провели визуальные наблюдения и фотографирование отдельных районов республик Средней Азии, Украины, Краснодарского края с целью оценки возможности определения из космоса состояния озимых культур после зимовки. Наблюдали геологические объекты в районе Душанбе, отдельные районы Миро-

вого океана, типовые природные объекты с целью изучения влияния атмосферы и условий освещения на результаты геофизических экспериментов.

5 мая 1986 г. начался второй этап экспедиции Л. Д. Кизима и В. А. Соловьева. В 16 ч 12 мин космический корабль «Союз Т-15» с космонавтами был отделен от орбитального комплекса «Мир» — «Прогресс-26» и 5 мая 1986 г. в 20 ч 58 мин состыкован с орбитальным комплексом «Салют-7» — «Космос-1686».

29 и 31 мая 1986 г. Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев осуществили выход в открытый космос. Космонавты провели исследования атмосферы вблизи орбитального комплекса. Телеметрическая информация с приборов передавалась с помощью оптико-электронной аппаратуры, установленной на иллюминаторе.

Третий этап экспедиции Л. Д. Кизима и В. А. Соловьева начался 25 июня 1986 г. В этот день в 18 ч 58 мин транспортный корабль «Союз Т-15» был отделен от орбитального комплекса «Салют-7» — «Космос-1686», а 26 июня 1986 г. в 23 ч 46 мин состыкован с орбитальной станцией «Мир». С орбитального комплекса «Салют-7» — «Космос-1686» на орбитальную станцию «Мир» космонавты перевезли 400 кг научной аппаратуры в том числе спектральную геофизическую аппаратуру, астрофизический ПСН, видеокомплекс «Нива», топографическую фотокамеру КАТЭ-140.

В начале июля 1986 г. Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев продолжили исследования природных ресурсов Земли и окружающей среды, выполнили съемку районов рудных месторождений в Приморье, геологических образований в окрестностях Душанбе, ледников Памира и Тянь-Шаня, пустынных пастбищ в Туркмении и Калмыцкой АССР, бассейнов Каспийского и Аральского морей, сельскохозяйственных площадей Казахстана, геологических структур на юге Украины, земельных угодий в Астраханском заповеднике. Затем космонавты фотографировали дальневосточное побережье страны, озеро Байкал, ледники Кавказа, Волгоградское водохранилище, геологические структуры Сахалина, вулканы Камчатки, отдельные мелководные участки Черного моря.

Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев выполнили серию съемок отдельных районов ГДР в рамках эксперимента «Геоэкс-86» по программе международного комплексного проекта «изуче-

3. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

ние динамики геосистем дистанционными методами». Фотографирование территории ГДР проводилось одновременно с орбитальной станции «Мир», с ИСЗ «Космос-1602», а также с самолетов-лабораторий. Результаты исследований будут использованы для контроля состояния лесных массивов и сельскохозяйственных угодий, а также при планировании мероприятий по охране окружающей среды в странах – членах Совета Экономической Взаимопомощи.

ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

4.1. Свечение у поверхности космических аппаратов

Уже на первом этапе космических исследований было обращено внимание на те преимущества, которые дают наблюдения из космоса за оптическими свойствами верхних слоев атмосферы и ионосферы. Поскольку интенсивность собственного верхнеатмосферного излучения невелика, непосредственная его регистрация с борта ракеты, спутника, или пилотируемого космического аппарата оказалась максимально информативной по сравнению с наземными сумеречными и ночными наблюдениями. Что касается исследований дневного свечения верхней атмосферы, то космические наблюдения являются здесь единственно возможными, так как сильное рассеяние прямого солнечного излучения в самых нижних слоях атмосферы не позволяет проводить такие исследования наземными обсерваториями.

Еще на заре ракетных оптических экспериментов было зафиксировано наличие мешающего свечения от самой околораaketной области. Первые ракетные исследования позволили установить, что в разряженных слоях атмосферы ракета окружена облаком из газов и пыли, образованным как за счет обычной дегазации ее корпуса, так и из продуктов сгорания топлива, выхлопа газов и частиц сажи из ракетного двигателя. Все эти компоненты с большой эффективностью испускаются в разряженную внешнюю среду, но на высоте 80—150 км не покидают околораaketную область. Это связано с весьма малой — не более нескольких десятков см — длиной свободного пробега продуктов дегазации на данных высотах верхней атмосферы.

Первое описание собственного околораaketного свечения приведено в [257]. Оно обнаружено бортовым фильтровым фотометром при исследованиях высотного хода яркости ночных атмосферных эмиссий в следующих длинах волн: 630, 589,3, 557,7 и 533,5 нм. На нисходящей ветви траектории на участке высот 112—88 км во всех фильтрах обнаружена сзади ракеты область дополнительного свечения с пиком интенсивности на

высоте 100—95 км. Область светилась, как яркая планета (минус третьей звездной величины) с угловым размером несколько градусов. Авторы связали это свечение «со следом от ракеты», в котором происходит возбуждение верхней атмосферы за счет движения тела ракеты. Скорость движения около 1 км/с, что, конечно, недостаточно для ударного возбуждения или ионизации верхнеатмосферных компонентов, но, по предположению авторов [257], благодаря высокой частоте их столкновений с поверхностью тела ракеты, достаточно для увеличения плотности окружающего газа. В таком случае растет и интенсивность обычного на этих высотах хемилюминесцентного свечения, в том числе в известном атмосферном континууме при образовании молекулы NO_2 .

Существование конусного следа голубого цвета ночью на высоте 83—112 км как на восходящей, так и на нисходящей ветвях траектории полета ракет того же класса (т. е. с апогеем на высоте 150—170 км) зарегистрировано дважды в [364]. Максимальная интенсивность составила 15 ± 5 крэлей на высоте около 100 км. Длина этого самосветящегося следа достигала 1 км, а угол раствора составлял $8 \pm 2^\circ$.

Интересным является то обстоятельство, что свечение регистрировалось только фильтром на длину волны полосы N_2 427,8 нм (с полной шириной на половине максимума $\Delta\lambda = 3,7$ нм), а в зеленой линии атомарного кислорода 557,7 нм ($\Delta\lambda = 2,5$ нм) сигнал меньше по крайней мере в 40 раз. Это не имеет объяснения, особенно если учитывать, что ракетные эксперименты проводились в авроральной зоне при наличии хотя и довольно слабых полярных сияний, у которых соотношение интенсивностей данных линий обратное.

В восьми ракетных пусках [322], предназначенных для исследования кислородных эмиссий верхней атмосферы в области спектра 0,275—1,61 мкм, зарегистрировано сильное постоянное свечение на высоте 90—130 км как на восходящей, так и на нисходящей ветвях траектории. Свечение располагалось в узкой области следа ракеты, имело значительную интенсивность в большей части указанного интервала длин волн и было неоднородно в пространстве. По спектру интенсивность пропорциональна собственному свечению атмосферы в тех же фильтрах, а радиационное время жизни свечения около 10^{-2} с.

Недавно [290] в ночные часы на ракете с апогеем 106 км зарегистрировано заметное по интенсивности (около 300 рэ-

лей/нм) излучение околоракетной области на высоте 92—100 км только на восходящем участке траектории в системе полос Мейнела ОН (в последовательности $\Delta v = 2$) с максимумом на высоте 96 км. При этом в канале бортового фотометра на полосу (0,0) ИК системы атмосферных полос кислорода O_2 свечение отсутствовало. Возможной причиной авторы работы [290] считают малую спектральную ширину данного канала на 1,27 мкм, которая в 7 раз меньше, чем в каналах на полосы излучения ОН. Это дало основание привлечь для объяснения природы околоракетного свечения механизм образования гидроксила ОН, колебательно возбужденного по подуровням основного электронного состояния с участием атомарного кислорода. Учитывалось и то обстоятельство, что высотные максимумы свечения околоракетной области и плотности верхнеатмосферных атомов кислорода совпали. Не определен лишь партнер реакции $O + RH \rightarrow OH + R$, поскольку из-за малой скорости ракеты (около 0,5 км/с) максимально возможная кинетическая энергия для разрыва RH связи равна 0,02 эВ. Для обычной реакции образования $OH: O + H_2O \rightarrow 2OH$ требуется не менее 0,8 эВ.

В перечисленных выше работах, начиная с [257], обсуждается невозможность объяснить наблюдаемое свечение, в том числе следа, остаточным излучением горячих газов из уже давно выключенного двигателя ракеты. Например, для обеспечения в приближении абсолютно черного тела наблюдаемого спектра околоракетного свечения необходимо иметь неправдоподобно высокую температуру, равную 2300К [290].

Аналогичные по сути результаты при наблюдении околоракетного свечения получены в отечественных работах по исследованию оптических помех, возникающих для бортовой аппаратуры на метеорологической ракете МР-12, очень широко используемой при геофизических экспериментах. Первые сведения о наличии вокруг МР-12 сильного околоракетного свечения в начальном пуске на восходящем участке траектории опубликованы в [23]. Наблюдения проводились в видимой области спектра с помощью наземной телевизионной установки с объективом «Гелиос-40». После выключения двигателя на двадцатой секунде ракета не наблюдалась до высоты 83 км, на которой она снова проявилась как светящаяся точка. Свечение усиливалось, достигло максимума на высоте 98—120 км и лишь к высоте 130 км ослабло до уровня фона. В максимум

4. ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

ме светящаяся область регистрировалась как звезда 5–6-й величины. Авторы работы [23] предположили, что свечение обусловлено взаимодействием продуктов гажения ракеты с окружающей средой.

Систематические исследования свечения газопылевого окружения и следа ракеты МР-12 в дневных и ночных усло-

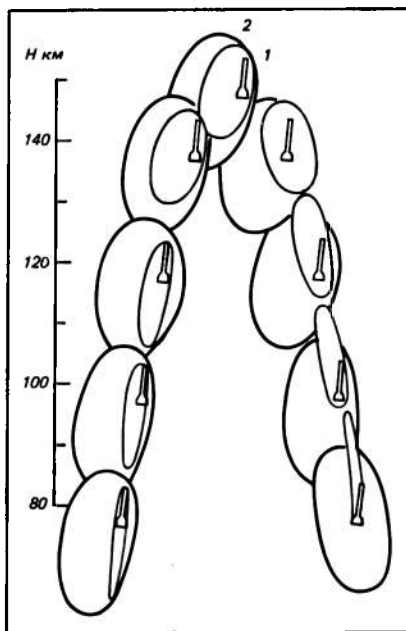


Рис. 4.1. Характер деформации газопылевого окружения при движении ракеты МР-12 на высоте 80–150 км для двух систем частиц [17].

виях выполнены в [17] на основе анализа показаний бортовых фильтровых радиометров. Бортовые радиометры располагались в передней части ракеты и имели как интегральные каналы пропускания 300–600 нм, так и сравнительно узкие, с $\Delta\lambda = 3–20$ нм, на следующие длины волн: 369, 391,4, 427,8, 457, 530, 557,7 и 576 нм. В [17] проанализированы данные более 20 пусков и при этом обнаружено наличие свечения около-ракетной области двух типов. По мнению автора этой работы свечение образуется в основном за счет рассеяния солнечного излучения на газопылевом следе (1) и газопылевом окружении (2) ракеты. Собственно в обоих случаях газопылевое облако,

согласно полученным в [17] экспериментальным данным и проведенным там оценкам, окружает тело ракеты со всех сторон. Различие заключается в формах облаков, размерах составляющих их частиц и поведении во время набора высоты и спуска (рис. 4.1). Подчеркнем, что оба типа свечения около-ракетной области МР-12 фиксируются бортовыми радиометрами как на восходящем, так и на нисходящем участке траектории полета и не только днем, но и в глубокой тени Земли. В последнем случае яркость околоракетного свечения примерно в 100 раз меньше, чем днем. Анализ возможных механизмов этого свечения в [17] позволяет заключить, что наряду с рассеянием солнечного излучения и сумеречного ореола на газах и пылевых частицах, окружающих ракету, одной из причин зарегистрированного эффекта, особенно в полной тени (при угле погружения Солнца за горизонт до 18°), может быть хемилюминесценция вследствие взаимодействия тела ракеты с атмосферой.

Свечение вокруг искусственного спутника было зарегистрировано в 1974 г. во время исследований верхнеатмосферного излучения с борта американского ИСЗ АЕ-С. В задачу основного эксперимента [361] входила регистрация собственных эмиссионных линий и полос важных составляющих верхней атмосферы: 337,1 нм (N_2), 557,7 и 630 нм (O), 520 нм (N), 732 нм (O^+) и 427,8 нм (N_2^+) с целью определения интенсивности их излучения в различных географических зонах и сравнения полученных данных с результатами соответствующих измерений наземными станциями свечения ночного неба [268]. При измерениях с борта АЕ-С временами фиксировалась очень большая интенсивность. Для лучшего освещения солнечных батарей спутник вращался таким образом, чтобы оптическая ось фотометра постепенно проходила все направления в плоскости орбиты. Это позволило получить для каждой эмиссии распределение абсолютных интенсивностей в координатах зенитный угол наблюдений — высота ИСЗ. Для примера на рис. 4.2 приведено такое типичное распределение изофот в рэ-лях в фильтре 732 нм [268, 352, 353]. Из рис. 4.2 видно, что, во-первых, интенсивность сильно увеличивается на малых высотах и максимальна в передней части ИСЗ. Последнее наблюдается вплоть до самых больших высот (более 500 км), но при этом АЕ-С выходил из тени Земли [352]. Во-вторых, другой, вдвое меньший по интенсивности и угловым размерам

4. ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

максимум имеется всегда сзади спутника, в его «следе». Наконец, пространственное распределение интенсивности свечения неоднородно, хотя передний и задний скачки яркости хорошо фиксированы в пространстве, особенно на высоте менее при-

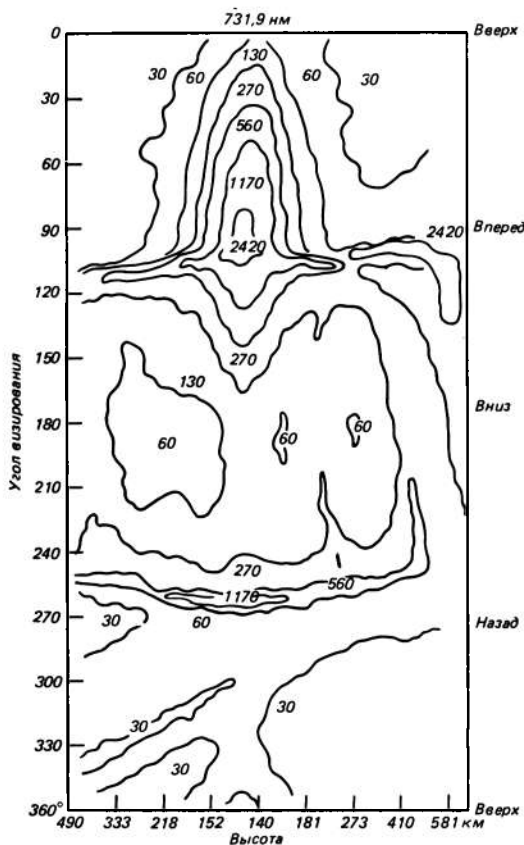


Рис. 4.2. Пространственное распределение интенсивности добавочного излучения около поверхности ИСЗ АЕ-С в полосе 731,9 нм в зависимости от высоты полета и угла визирования.

мерно 250 км. В целом ось максимальной яркости на 15° сдвинута относительно горизонтали, и в передней полусфере максимум свечения расположен выше, а в задней — ниже. Светящаяся область вокруг АЕ-С простиралась в среднем на расстояние 5–10 м от поверхности спутника. Это означает, что радиационное время жизни соответствующих возбуж-

денных частиц составляет несколько миллисекунд. Для интерпретации механизма свечения вокруг ИСЗ с учетом его наличия во всем спектральном диапазоне 337,1 – 732 нм авторы первой публикации [268] привлекли процесс образования континуального излучения NO_2 в реакции рекомбинации NO и O на поверхности спутника с учетом его движения со скоростью 8 км/с.

Несмотря на получение таких данных по АЕ-С, свечение космического корабля «Спейс шаттл» (STS) перед полетом не прогнозировалась [295]. Первый раз оно наблюдалось в марте 1982 г. во время третьего полета STS-3 на высоте 240 км [216]. Регистрировалось оранжево-красное свечение, простирающееся от обращенной к направлению движения поверхности космического корабля на расстояние до 20 см. По оценкам яркость свечения была сравнима или превышала лимбовое излучение верхней атмосферы на высоте около 90 км. Далее такие наблюдения были продолжены на серии STS-4, -5, -7, -8, -9, 41D, 41G в период с июня 1982 г. по октябрь 1984 г., а также на ИСЗ АЕ-Е и DE-B. Рассмотрим эти результаты более подробно. Уже в полете STS-4, а затем и STS-5 было замечено уменьшение яркости свечения около корабля примерно в 3,5 раза по сравнению с полетом STS-3. Это сразу удалось связать с зависимостью яркости от высоты полета, поскольку полет STS-4 и -5 проходил на большей высоте (около 300 км). Значения яркости оказались пропорциональны плотности основного компонента внешней среды – атомарного кислорода. Такая закономерность сохраняется, судя по данным АЕ-С, выше 160–180 км [373]. При полете STS-8 на высоте 222 км свечение у $\lambda = 700$ нм было настолько сильным, что наблюдалось невооруженным глазом [296]. Ниже 160 км характер высотной зависимости интенсивности свечения вокруг тела спутника АЕ-С меняется. По [339], яркость растет так же, как и плотность O_2 , а радиационное время жизни составляет примерно $5 \cdot 10^{-3}$ с. Первый вывод в дальнейшем не подтвердился [373]. Оказалось, что для условий ниже 160 км существует наложение двух закономерностей роста интенсивности свечения: пропорционально плотности атомарного кислорода и пропорционально либо квадрату плотности молекулярного азота, либо произведению плотностей двух молекулярных компонентов верхней атмосферы из трех основных на этой высоте (N_2 , O_2 и NO).

Следует подчеркнуть, что и по данным ИСЗ АЕ-С, -Е, и по наблюдениям на «Спейс шаттл» свечение вокруг космического аппарата всегда максимально у лобовой поверхности, т. е. в направлении движения, там, где образуется скоростной напор. Этот факт натолкнул на мысль привлечь для объяснения природы наблюдаемого свечения процессы кинетического возбуждения налетающим потоком атомов и молекул верхней атмосферы. В то же время в ходе наблюдений, специально проведенных во время пятого полета «Спейс-шаттл», было получено, что интенсивность свечения у лобовой поверхности не строго пропорциональна косинусу угла между перпендикуляром к ней и направлениям движения [295]. При больших углах между нормалью и вектором скорости сохраняется значительное свечение. Например, при уменьшении угла от 80 до 28° зарегистрировано возрастание свечения лишь немногим более чем в два раза, а соотношение косинусов здесь превышает пять. Подобные выводы следуют из данных рис. 4.2 для ИСЗ АЕ-С. Здесь соотношение интенсивности свечения в направлении движения и позади спутника достигает только двух. Следовательно, иной механизм, а не ударное лобовое возбуждение налетающим потоком обеспечивает по крайней мере половину свечения. Возможно, конечно, что часть возбужденных частиц имеет столь большое радиационное время жизни, что высвечивается в кильватерном следе спутника уже после его пролета. Для этого требуется лишь, чтобы время жизни возбужденного состояния превышало 10^{-3} с, что, по-видимому, реально.

При определении наиболее вероятных процессов образования локального оптического возбуждения оранжево-красного свечения важнейшая роль принадлежит сведениям о спектральных характеристиках этого излучения. Уже данные АЕ-С подтвердили, что спектральная область свечения охватывает весь видимый диапазон и интенсивность свечения возрастает к красной области. Первый спектр свечения около «Спейс шаттл» был снят во время его четвертого полета с помощью объективной дифракционной решетки. Спектральное распределение носило диффузный характер и было сосредоточено преимущественно в красной и ближней инфракрасной областях [297]. Из-за неблагоприятных уровней яркости потребовалась длительная экспозиция (400 с). Применение в пятом полете усилителя изображения на основе микроканальной пластины

позволило уточнить, что спектр свечения диффузен и довольно однороден во всем интервале 500—800 нм. Более длинноволновый диапазон излучения поглощается иллюминатором космического корабля, а в зелено-голубой области спектра сигнал от свечения был ниже порога чувствительности фотографической аппаратуры [295]. Интегральная интенсивность излучения в полосе чувствительности прибора (500—800 нм) составляла несколько сотен крэлей, а в области зеленой линии атома кислорода 557,7 нм — 4—6 крэлей [295]. Наиболее информативные исследования свечения около «Спейс шаттл» были проведены во время его девятого полета в ноябре — декабре 1983 г. с помощью аппаратуры из состава «Спейслэб-1». В работе [299] получены данные о наличии свечения в интервале длин волн 200—750 нм с широким максимумом у 600—700 нм. Тогда же [355] с помощью системы из пяти бортовых спектрографов исследовался широкий интервал длин волн 30—1270 нм с разрешением 0,3—0,6 нм. До сих пор опубликованы лишь данные в диапазоне 115—800 нм [354]. Спектр содержит различные атмосферные эмиссии, в том числе сильные молекулярные полосы между 640 и 800 нм, отождествленные в основном с первой положительной системой полос азота. В то же время максимум, отмеченный в работе [299] в таком подробном спектре не выявился. По мнению авторов работы [354], возможно, сказались существенно различные условия регистрации свечения. В отличие от всех предыдущих фотометрических измерений спектрограммы, приведенные в [354], получены не ночью, а днем. Да и для регистрации континуума эти спектрографы пригодны мало.

Новые данные по ночному свечению около STS 41 D, летавшего в сентябре 1984 г., подтвердили наличие пика в красной области с максимумом около 680 нм [298, 347], а на STS 41 G при высоком спектральном разрешении аппаратуры

Таблица 4.1

Интенсивность свечения (рэлей/нм) около космического корабля STS-41G на высоте 360 и 230 км [317]

λ , нм	$\Delta\lambda$, нм	H , км	
		360	230
557,7	0,40	< 200	< 500
630	0,31	< 350	900
730	0,38	< 600	< 1400
760	0,40	< 700	< 1600

(0,3 нм) вновь зарегистрирована значительная яркость свечения в ночные часы (табл. 4.1).

В то же время теоретические оценки спектрального состава излучения области вокруг космического аппарата позволяют предположить о наличии основного максимума в области 1–2 мкм [345]. При этом общая яркость в диапазоне 0,2–5,5 мкм может достигать 10 Мрэлея [339].

После появления первых сведений об обнаружении и основных характеристиках приповерхностного свечения «Спейс шаттл» преимущественно на стороне, обращенной к направлению орбитального полета, было предложено несколько гипотез о механизмах его возникновения.

Наиболее привлекательной оказалась теория кинетического возбуждения окружающей космический корабль области при столкновении с набегающим со скоростью орбитального движения потоком верхнеатмосферных составляющих. В качестве стимулирующего эффекта при осуществлении элементарных актов возбуждения, начиная с первой работы по ИСЗ АЕ-С [268], отмечалась роль поверхности самого спутника или космического корабля. Действительно, в одной из первых работ, посвященных объяснению оранжево-красного свечения вокруг «Спейс шаттл», было предложено рассматривать гидроксил ОН как главный источник излучения [339]. При этом колебательно возбужденный гидроксил образуется при рекомбинации в присутствии поверхности кислородных и водородных атомов, причем в таких колебательных состояниях, что обеспечивается наблюдаемое соотношение интенсивностей [345]. Явное присутствие азотных эмиссий в спектрах свечения, а также пропорциональность интенсивности излучения на малых высотах произведению плотностей азотсодержащих компонентов постоянно стимулируют поиск других механизмов возбуждения с участием азота [373]. В работе [253] предложено для «Спейс шаттл» рассматривать следующий механизм. Исходным процессом является диссоциация при столкновении верхнеатмосферных молекул азота с поверхностью космического корабля. Кинетическая энергия налетающего потока молекул примерно на 0,2 эВ превышает энергию диссоциации азота. Далее идет процесс обратной рекомбинации атомов азота на поверхности космического корабля или над ней с образованием метастабильного состояния $N_2A^3\sum_u^+$ преимущественно в высоких колебательных состояниях. Затем

происходит релаксация этого сильного колебательного возбуждения через излучение первой положительной системы полос N_2 в красной области спектра при переходах в нижние колебательные состояния уровня $A^3 \sum_u^+$. В таком механизме возбуждение второй положительной системы полос N_2 невозможно, но она как раз очень малоинтенсивна в экспериментальном спектре [354]. В лабораторных условиях предложенный в [253] механизм зарегистрирован [373]. По-видимому, он лучше всего соответствует и факту наблюдения ниже 160 км пропорциональности квадрата плотности молекулярного азота (N_2)² и интенсивности свечения. В то же время прямыми масс-спектрометрическими измерениями с борта ИСЗ АЕ значительной концентрации атомов азота в окрестностях спутника не обнаруживается [244]. В [347] предложен другой механизм свечения вокруг «Спейс-шаттл» с участием азота. Он, как и первое объяснение хемилюминесцентного континуального околоракетного свечения в [257], как и гипотетический механизм свечения АЕ-С, рассмотренный в [352], сводится к образованию возбужденной молекулы $NO_2^2B_1$. Эти молекулы образуются в реакции приповерхностной рекомбинации атомов кислорода и азота (образованных при ударной диссоциации) через промежуточный этап — образование возбужденной окиси азота $NO^2\Pi$, которая в свою очередь рекомбинирует с атомами кислорода налетающего потока атмосферы. Интересно, что недавно [362] прямыми масс-спектрометрическими измерениями подтверждено наличие NO около «Спейс шаттл» в количестве, достаточном для объяснения наблюдаемых уровней яркости свечения около космического корабля.

Перечисленные механизмы в совокупности в первом приближении удовлетворяют наблюдаемым спектральным и пространственным характеристикам свечения окрестностей спутника и космического корабля. Однако все они основаны на привлечении поверхностных химических реакций, осуществление которых на стенках космических аппаратов не доказано. При диссоциации азота на поверхности должна быть использована почти вся энергия налетающих с первой космической скоростью молекул, но часть из них упруго отражается от корпуса космического аппарата. При этом удваивается энергия движения этих частиц относительно ионосферной плазмы. Данный эффект использован в [318] для объяснения образова-

ния свечения около «Спейс шаттл» за счет зажигания плазменно-пучкового разряда упруго отраженными ионами ионосферы у поверхности корабля. Эта гипотеза встретила возражения, прежде всего по спектральным данным [281, 354].

Прямое ударное возбуждение набегающего на поверхность космического аппарата потока верхнеатмосферных составляющих также может быть источником наблюдаемого свечения. В работе [354] допускалась возможность такого возбуждения для первой положительной системы полос азота, при этом предполагалось, что собственная атмосфера космического аппарата дополнительно обогащена молекулами N_2 . Детальной разработке нового механизма свечения около «Спейс шаттл» за счет ударного возбуждения атмосферных молекул окиси азота при соударении с поверхностью корабля посвящены работы [302, 336]. При скорости 8 км/с возможно колебательное возбуждение NO в основном электронном состоянии вплоть до $v \sim 35$. Вообще говоря, при основном излучении этих молекул в инфракрасной области часть из них, при переходах $\Delta v = 8 - 13$, может дать и видимое красное свечение. Однако при $v' > 30$ наиболее вероятны переходы $\Delta v = 4$, лежащие в инфракрасном диапазоне спектра. Авторы работ [302, 336] выполнили энергетический расчет этого механизма свечения. На высоте 300 км полное излучение лобовой поверхности «Спейс шаттл» для всех инфракрасных переходов с $\Delta v \leq 4$ из v вплоть до 35-го уровня может составить $170 S \times 10^{-6}$ Вт, где S — площадь корабля в поперечном сечении (в m^2). Здесь главное допущение делается при предположениях об эффективности перехода кинетической энергии соударения газовый поток-поверхность в колебательное возбуждение окиси азота. Эта эффективность в наибольшей степени определяется отношением атомных масс газа и основного элемента поверхности. Конкурирующий процесс упругого соударения превалирует при малом значении этого отношения. Таким образом, интенсивность свечения около космического аппарата определяется прежде всего как площадью поперечного сечения лобовой поверхности, так и ее материалом.

Обратимся к возможности наблюдения свечения у борта долговременной орбитальной станции типа «Салют». Как известно, оно до сих пор не зафиксировано. Этому способствует ряд причин, основными из которых являются отсутствие в по-

ле обзора иллюминаторов станции «Салют» ее поверхности, кроме поверхностей солнечных батарей, и длительность пребывания станции в режиме пилотируемых полетов на сравнительно большой высоте (около 350 км). Длительность пребывания космического аппарата на большой высоте гарантирует отсутствие газовыделения в его окрестностях, очень сильное в первые часы после запуска на орбиту. В случае ИСЗ АЕ определенную роль в этом плане могло играть опускание спутника в перигейной точке до высоты около 140 км. Ведь все обсужденные выше механизмы образования свечения около космического аппарата будут более эффективны при увеличении плотности его собственной атмосферы в результате процессов гажения и особенно выделения молекул азота. Вопросы оптического исследования газопылевого окружения космических аппаратов рассмотрены в [90].

На сравнительно малых высотах свечение космических кораблей «Союз» наблюдалось неоднократно начиная с апреля 1971 г. При ночном спуске «Союза-10» бортинженер Н. Н. Руквишников зарегистрировал приповерхностное свечение перед входом в плотные слои атмосферы, т. е. выше 100—120 км. Наблюдалось яркое голубое свечение, переходящее в розовый цвет, при этом создавалось зрительное впечатление, что интенсивность этого излучения может быть сравнима с солнечным освещением.

Итак, в данном разделе приведены сведения об особенностях проявления и основных характеристиках оптического свечения области, возмущенной полетом в верхней атмосфере ракеты или космического аппарата на примерах зарубежных и советских геофизических ракет, а также американских спутников АЕ-С, -Е и корабля «Спейс шаттл». Показано, что это свечение обычно существует со всех сторон космического аппарата, но сильнее всего в направлении его полета. Интенсивность в видимой области превышает сотни рэлей/нм, и поэтому использование в оптических исследованиях верхней атмосферы широкополосных фильтров приводит к большим погрешностям. В самом деле при ширине полосы пропускания фильтров 3—20 нм сигнал от свечения, обусловленного излучением околоракетной области, достигает 1—10 крэлей, что в десятки раз превышает уровни яркости естественного излучения верхней атмосферы в основных эмиссионных линиях и полосах.

4.2. Визуально-инструментальные наблюдения оптических эмиссий верхней атмосферы

Собственное эмиссионное излучение верхней атмосферы и ионосферы Земли превышает по яркости пороговую чувствительность человеческого глаза, и поэтому его можно наблюдать с борта пилотируемого космического корабля визуально, невооруженным глазом.

Методика визуально-инструментальных исследований слабых верхнеатмосферных свечений имеет свои особенности. Прежде всего необходимо время (10—15 мин) для адаптации зрительной системы в неосвещенном отсеке космического корабля. Поиск самих областей свечения ведется, как правило, при панорамном сканировании от линии кажущегося горизонта вверх на угол, достигающий до 10° . Желательно проведение наблюдений одновременно двумя или несколькими членами экипажа, особенно при исследовании либо аномально слабосвещающихся объектов, либо таких крупномасштабных явлений, как планетарное свечение второго эмиссионного слоя или полярные сияния. Важнейшим моментом при визуальных наблюдениях верхнеатмосферных свечений является оценка уровня фона, прежде всего при подсветке Луной в разных фазах и после сильных геофизических возмущений.

Преимущество наблюдений с низкоорбитальных космических аппаратов заключается в том, что при этом регистрация верхнеатмосферных излучений ведется вдоль основных эмиссионных слоев — в направлении наибольших оптических толщин и контрастов. Именно поэтому присутствие хорошо подготовленных космонавтов-наблюдателей на борту космического корабля позволило получить принципиально новые результаты по временным и пространственным характеристикам таких свечений.

Свечение ночного неба было известно, начиная с первого десятилетия нашего века. Здесь не имеется в виду полярное («северное») сияние, которое люди знают с древних времен, а постоянное свечение верхних слоев атмосферы, регистрацию которого проводят наземные астрофизические и астрономические обсерватории. Около 30 лет ведутся спутниковые исследования этого свечения. С началом полетов человека в космос большое количество материалов получено при визуальных наблюдениях. Накопленные сведения позволили выявить основ-

ную морфологию ночного и сумеречного излучения и качественно разобраться в роли тех элементарных процессов, которые приводят к возбуждению верхнеатмосферных и ионосферных компонентов. Однако детали явлений, подчас весьма важные для практики, остаются неизученными. Дело в том, что верхнеатмосферное собственное свечение — хороший индикатор состояния как самой нейтральной атмосферы, так и ионосферных характеристик, а также уровня поступающей в околоземное космическое пространство энергии (солнечных и корпускулярных потоков). Однако контроль всех относящихся к процессам возбуждения и ионизации параметров даже на данном этапе не налажен, и комплексные геофизические измерения проводятся лишь эпизодически. Вот почему продолжение и активизация исследований верхнеатмосферных свечений с целью дистанционного контроля состояния атмосферы и ионосферы, а также для прогноза геофизических возмущений остается очень актуальной задачей.

Свечение сосредоточено в основном в двух слоях: в узком первом эмиссионном слое (ПЭС), расположенном в *E*-области ионосферы на высоте около 90 км, и во втором эмиссионном слое (ВЭС), расположенном в *F*-области на высоте примерно 220—340 км [133]. Из космоса ПЭС впервые описал астронавт Дж. Глен при полете по баллистической траектории 20 февраля 1962 г. [250]. Последовавшее первое объяснение [313] трактовало это наблюдение как ошибочное и связало зарегистрированную картину с простым отражением линии горизонта в двойном стекле иллюминатора капсулы Глена. Через три месяца Карпентер для проверки сообщения Глена проводил наблюдения за горизонтом через зеленый светофильтр и увидел только ПЭС, хотя горизонт был хорошо освещен Луной [226]. За рубежом цветной снимок ПЭС был получен 3 сентября 1973 г. Гарриоттом.

Максимум свечения обнаруживается на линии визирования его нижнего края. Максимальная яркость слоя в спокойных условиях составляет $(4,8—6,2) \cdot 10^{-3}$ кд/м² по результатам фотографирования в районе экватора 15 марта 1978 г. на орбитальной станции «Салют-6» Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко [199]. Цвет ПЭС бывает различным, обычно неопределенным, пепельным с легкой примесью коричневатого [14], но при повышенной активности он приобретает зеленоватый оттенок, а иногда и зеленый цвет. Обычно хорошо прослеживается

4. ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

и слоистость ПЭС с более зеленоватой верхней и красноватой нижней частями. Расслоение ПЭС на два, а иногда и три слоя обнаруживается в экваториальной зоне [38]. В работе [14] подробно исследован случай такого раздвоения с прослойкой по горизонту до 40° темно-бурого цвета, связанный с главной фазой мировой магнитной бури.

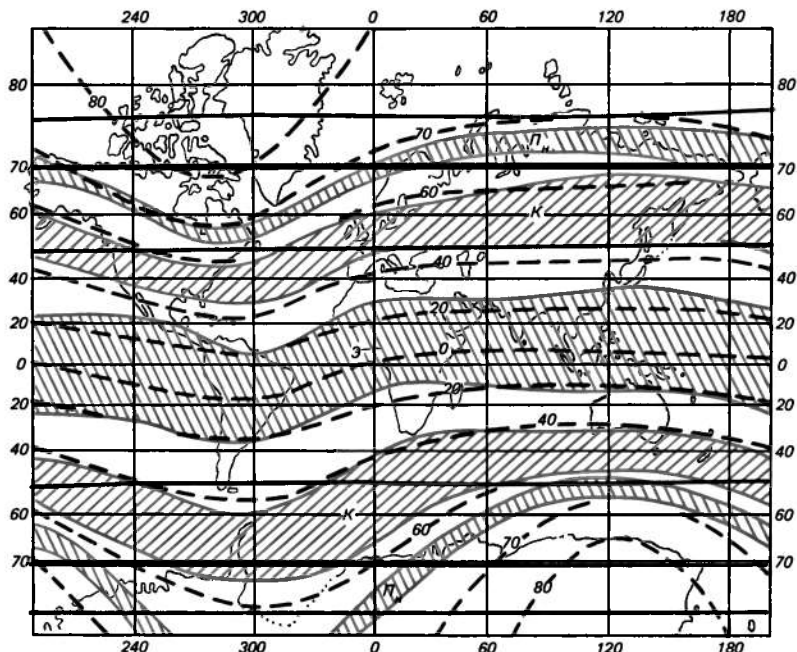


Рис. 4.3. Зоны свечения верхней атмосферы Земли и возможности их наблюдения с «Салюта-6» [14].

Π_n — области ночных полярных сияний. К — области стабильных красных дуг. Э — экваториальное свечение; штриховые линии — геомагнитные широты; жирные линии: на широте $\pm 51,6^\circ$ — границы возможного наблюдения в нади́р, на широте $\pm 70^\circ$ — границы возможного наблюдения земной поверхности (горизонты для «Салюта-6»), на широте $\pm 77^\circ$ — границы возможного наблюдения нижнего края полярного сияния ($h = 80$ км) при высоте перигея линии визирования, равной 30 км.

Второй эмиссионный слой первыми наблюдали В. Г. Лазарев и О. Г. Макаров в полете на «Союзе-12» в сентябре 1973 г. в приэкваториальной ночной зоне [97]. По данным [38], яркость ВЭС здесь составляет $(1,2 - 1,6) \cdot 10^{-3}$ кд/м² и он ощущается красноватым (коричневатым).

Среди главных эмиссий, участвующих в образовании излу-

чения ПЭС и ВЭС — линии атома кислорода: зеленая 557,7 нм и красные (дублет) 630/636,4 нм. Их глобальная морфология подробно исследована с ИСЗ. Оказалось, что интенсивность излучения этих и других верхнеатмосферных эмиссий распределена весьма своеобразно. Собственно, главным параметром здесь, как и в ионосферных характеристиках, является не географическая, а геомагнитная широта (рис. 4.3). Интенсивность зеленой линии максимальна в ПЭС в средних (около 30°) и высоких широтах, а в ВЭС максимум приходится на экватор [252]. В результате этого на экваторе излучение в зеленой линии обоих эмиссионных слоев почти сравнивается, во всех остальных широтных зонах излучение нижнего слоя намного интенсивнее ВЭС. В красной области излучает практически только ВЭС. Обнаружены экваториальные (на геомагнитных широтах $\pm 10 \div 30^\circ$) и среднеширотные красные дуги.

Последние располагаются вдоль геомагнитных параллелей около $\pm 53^\circ$ на высоте 300—700 км с фотометрическим центром тяжести примерно на уровне 400 км, т. е. значительно выше, чем ВЭС. Их интенсивность обычно несколько рэлей, но в отдельных случаях, при повышенной геомагнитной активности, она возрастает и тогда может наблюдаться визуально. Поскольку ВЭС располагается довольно высоко относительно орбиты большинства пилотируемых космических кораблей, условия наблюдения за среднеширотными красными дугами с них не лучше, чем с наземных геофизических обсерваторий.

Интересно сопоставить инструментально регистрируемые уровни яркости второго эмиссионного слоя и возможности визуальных ощущений этого свечения с учетом его спектрального состава. Как уже говорилось, в [199] с помощью прибора с усилителем яркости с борта станции «Салют-6» было получено, что яркость второго слоя в районе геомагнитного экватора составила $(1,2 - 1,6) \cdot 10^{-3}$ кд/м². При фильтровых измерениях в линии 630 нм на спутниках OGO-4 и OGO-6 в 1967—1969 гг. (т. е., как и в [199], в период максимума солнечной активности) полученные в [327] значения зенитных интенсивностей достигали 200—500 рэлей. С учетом линии 636,4 нм полная интенсивность красного дублета в зенитном направлении, по данным [327], составила 265—660 рэлей, в среднем 460 рэлей. В горизонтальном направлении, при визи-ровании вдоль слоя с борта станции «Салют-6», эта величи-

на возрастает в 22 раза (при толщине слоя около 100 км), т. е. доходит до 10 крэлей, что составляет $1,7 \cdot 10^{-3}$ кд/м². Итак, измеренная в [199] яркость второго эмиссионного слоя целиком может быть объяснена эмиссией красного дублета 630,0/636,4 нм и не требует привлечения других эмиссионных линий и полос. Кстати, зеленая линия атома кислорода с длиной волны 557,7 нм, имеющая зенитную интенсивность у экватора около 30 рэлей [252], дает в горизонтальном направлении около 660 рэлей, т. е. лишь 7% от полной яркости слоя. Однако вклад зеленой линии в визуальное ощущение при наблюдении второго слоя в экваториальной зоне является определяющим, поскольку линия 557,7 нм при уровнях яркости $(1 \div 10) \cdot 10^{-4}$ кд/м² создает примерно такое же зрительное ощущение, как и линии 630/636,4 нм, будучи примерно в 20 раз меньше по энергетической яркости. В ПЭС свечение наряду с зеленой линией обусловлено атмосферным континуумом и гидроксидом [196].

В работе [199] говорится, что ее авторы наблюдали второй эмиссионный слой только в экваториальной зоне. Однако летчик-космонавт В. В. Коваленок, один из авторов данной книги, во время второй и пятой экспедиций на станции «Салют-6» неоднократно наблюдал свечение этого слоя и в средних широтах. В данных случаях можно оценить реализуемую пороговую яркость, основываясь на результатах сопутствующих измерений интенсивности эмиссии 630 нм фотометрами в Абастумани в период с 6 по 9 июля 1978 г. [12]. В ночи с 6 на 7 и с 8 на 9 июля при возрастаниях интенсивности свечения во время солнечных вспышек эта эмиссия была выше 200 рэлей. Ночью с 7 на 8 июля после окончания вспышечного периода она не превышала 80–100 рэлей. Таким образом, уровень 200 рэлей (265 рэлей для дублета 630/636,4 нм) для визуальной регистрации красной атмосферной эмиссии является близким к предельному пороговому уровню чувствительности глаза, реализованному в длительных пилотируемых космических полетах. В условиях горизонтального визирования (вдоль слоя) это соответствует 5,85 крэлей ($1,0 \cdot 10^{-3}$ кд/м²). Зенитная интенсивность зеленой линии во втором эмиссионном слое на средних широтах (более 25°) достигает лишь 10 рэлей [252], что при горизонтальном визировании составляет около 220 рэлей. Это уже менее 5% от полной яркости среднеширотной F-области во время солнечной вспышки. Так что вклад зе-

ленной линии в зрительное ощущение второго слоя на средних широтах меньше вклада красного дублета, хотя и близок к нему по величине.

Итак, все приведенные оценки показывают, что, во-первых, уровни яркости эмиссий F -области превышают пороговую чувствительность человеческого глаза как по красным линиям, так и по зеленой, во-вторых, вклад зеленой линии в зрительное ощущение существен, особенно в экваториальной зоне, что, по-видимому, и предопределяет уверенную регистрацию ВЭС именно в районе экватора. Ведь красная эмиссия кислорода, в отличие от зеленой, имеет максимум на широтах $\pm 20^\circ$, а не на экваторе.

Увеличение интенсивности эмиссионного излучения среднеширотной верхней атмосферы происходит при повышении геомагнитной активности, особенно в периоды мировых магнитных бурь.

Во время бурь наземные исследования среднеширотных эмиссий ночного неба проводились неоднократно [189–191, 206]. Основное энерговыделение во время мощных магнитных бурь происходит в излучении красной линии 630,0 нм. В [79] считается, что ее возбуждение связано с магнито-гидродинамическими волнами или плазменными колебаниями. В свете данных [169] о том, что в средних широтах в сильную бурю значительно возрастает число выпадающих электронных потоков, достигающее значений, присущих зоне полярных сияний, представляется возможным объяснить часть этого свечения разогревом ионосферы этими электронами. Собственно, в период таких выпадений, а они, как следует из данных [169], продолжаются до 15–20 ч, в средних широтах есть все условия для интенсивных полярных сияний, что и наблюдается в действительности. В [206] среднеширотные сияния в линиях 630,0 и 557,7 нм наблюдались с самолета и отмечено, что поля излучения имеют сложную структуру, а интенсивность эмиссии испытывает сильные и быстрые колебания, причем нет регулярной связи с изменением геомагнитного поля. В [190, 206] зарегистрированы возмущения эмиссии до начала магнитной бури, причем примерно за сутки, например в ночь, предшествующую буре, излучение 557,7 нм превышало нормальный уровень в 2–3 раза, а эмиссия 630,0 нм — в 3–4 раза [206]. В низких широтах в таких же случаях отмечено уменьшение интенсивности излучения линии 630 нм [190], а также измене-

ния в озоновом слое, в спорадическом *E*-слое ионосферы, атмосферного давления и вращательной температуры ОН. Эти предвестники связываются с циркуляцией атмосферы. Небольшие усиления интенсивности эмиссии ночного неба, по данным наземных наблюдений, зарегистрированы и после окончания магнитных бурь [31, 206], причем в работе [206] отмечено усиление эмиссии 557,7 нм лишь по прошествии нескольких суток после бури. Предвестниковые эффекты в виде усиления свечения атмосферы были достоверно обнаружены и подробно описаны во время работы второй экспедиции на станции «Салют-6». Из космоса и в глобальном масштабе это было выполнено впервые.

Свечение атмосферы является индикатором многих форм геофизической активности. Так, давно замечено появление свечения приземной атмосферы непосредственно перед или в самый момент сейсмического толчка [127]. Излучение верхней атмосферы реагирует на землетрясение примерно за 10 ч. Так, в [127] обнаружен факт увеличения интенсивной красной линии атома кислорода в ночь перед землетрясением.

При искусственных возмущениях, создаваемых в ионосфере, также может наблюдаться, в том числе визуально, увеличение интенсивности верхнеатмосферных эмиссий. Так, зарегистрировано свечение ионосферы при воздействии мощной радиоволны [42], при выпусках в ионосферу паров воды и ряда газов [300], при этом возрастают интенсивности как красной, так и зеленой линий. В [33] обнаружена возможность самовоспламенения паров этилена и других органических веществ, выпускаемых в ионосферу на высоте области *E*.

Наряду с такими глобальными неоднородностями, как среднеширотные и экваториальные дуги, в свечении верхней атмосферы наблюдаются пространственные образования более мелкого масштаба.

По данным многолетних наземных исследований в Ашхабаде [72], в 98,2 % случаев в свечении зеленой линии наблюдаются пятна, которые расположены в основном на высоте ПЭС. Размеры пятен варьируют в больших пределах (от десяти до нескольких тысяч километров), время их существования также различно (в основном несколько минут). Двигаются пятна в основном вдоль параллелей — с запада на восток, а вытянуты они чаще приблизительно вдоль меридиана. Пятна наблюдаются и в распределении атмосферного континуума.

Согласно теоретическим оценкам, имеющим определенные экспериментальные подтверждения, в ионосферных и верхнеатмосферных характеристиках, в том числе, возможно, и в свечении, могут присутствовать устойчивые вихри — циклонические ячейки [14]. Они могут проявляться в виде тех пятен в свечении зеленой и красной эмиссий, которые фиксируются с ИСЗ, в том числе (для дублета 630/636,4 нм) в ВЭС [327].

Остановимся на вопросе о влиянии приливных волн в атмосфере на интенсивность ее излучения. Одним приливообразующим фактором является гравитационное действие Луны, которое более чем в два раза превышает солнечную силу (несмотря на значительно большую массу Солнца) из-за большой разницы в расстояниях [204]. Главные приливы — суточные и полусуточные. Солнечный гравитационный прилив накладывается на лунный, что обуславливает увеличение лунного прилива в новолуние и полнолуние и уменьшение его в промежуточные фазы. Из-за изменения расстояния от Земли до Луны возникают значительные (до $\pm 20\%$) вариации в гравитационной приливообразующей силе. Вторым типом приливов является солнечный термический прилив, который преобладает над лунным гравитационным приливом. В ПЭС влияние Луны уже отмечено, причем интенсивность зеленой линии увеличивается на 15% [72]. Поскольку амплитуда приливной вариации давления растет с высотой, то в ВЭС влияние приливов будет еще заметнее. С этой позиции интересно сопоставить результаты визуальных наблюдений пространственной неоднородности приэкваториального свечения ночной F-области [38,199]. Обнаруживаются три долготные области такого свечения протяженностью по 3000—4000 км с промежутками более 3500 км. Наивысшая яркость свечения наблюдалась в районе Бразильской отрицательной магнитной аномалии [121]. Другая область максимальной интенсивности приэкваториального свечения обнаружена В. В. Коваленком в 1978 г. над югом Аравийского п-ова [8]. Наличие трех долготных максимумов свечения в приэкваториальной зоне может быть связано с наличием трех пучностей и провалов в экваториальной верхней атмосфере из-за прохождения двух приливных волн [265].

4.3. Волновая структура второго эмиссионного слоя

Орбиты пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций проходят, как правило, в ВЭС (F -области ионосферы). Поэтому неудивительно, что именно по излучению ВЭС были получены наиболее неожиданные результаты, не выявленные до этого даже в долговременных прецизионных измерениях специальной аппаратурой с автоматических спутников и наземных обсерваторий. Тут сказались все преимущества визуально-инструментальных исследований — сам «эффект присутствия» человека и уникальные возможности его зрительной системы.

В результате полетов советских космонавтов были обнаружены два новых явления в ВЭС: устойчивая горизонтальная оптическая неоднородность (вертикально-лучевая структура) в свечении сумеречной и ночной верхней атмосферы [24, 31, 36, 207] и реакция ночной верхней ионосферы (F -области) на солнечные вспышки [8, 14, 144, 145, 170]. В этом разделе представлены результаты по первому явлению, а в следующем — по второму.

Лучевая структура эмиссионного свечения наблюдалась впервые советскими космонавтами во время полета «Союза-4» в октябре 1968 г. Наиболее подробно исследования визуальных картин этого явления проводились в июне — июле 1975 г. на орбитальной станции «Салют-4» [31] и в марте 1981 г. на станции «Салют-6» [121]. Надо отметить, что на первом этапе исследований наблюдался определенный скептицизм со стороны ряда ученых. Это было связано с рядом обстоятельств, среди которых можно выделить следующие: необходимость выполнения конкретных условий проявления структуры, трудно выявляемые различия в способностях зрения разных космонавтов и недооценка высокой степени контрастной чувствительности человеческого глаза в условиях небольших (около 10^{-3} кд/м²) уровней яркости верхнеатмосферных свечений. Однако результаты комплексных радиофизических исследований горизонтальной волновой неоднородности в различных слоях ионосферы (E , $F1$ и $F2$), особенно больших в сумеречной зоне [31], а также данные прямых наземных приборных измерений о существовании волновой структуры в свечении верхней атмосферы с одинаковой фазой во всех областях ионосферы подтвердили правильность трактовки на-

блюдаемой визуально картины лучевой (волнообразной) горизонтальной неоднородности эмиссионного свечения верхней атмосферы как проявление волновой активности [31, 85, 108].

Рассмотрим результаты оптических исследований наземными обсерваториями волновых вариаций интенсивности излучения оптических эмиссий ночного неба (гидроксила, зеленой и красных линий атомарного кислорода, гелия, натрия) на высотах их максимального свечения.

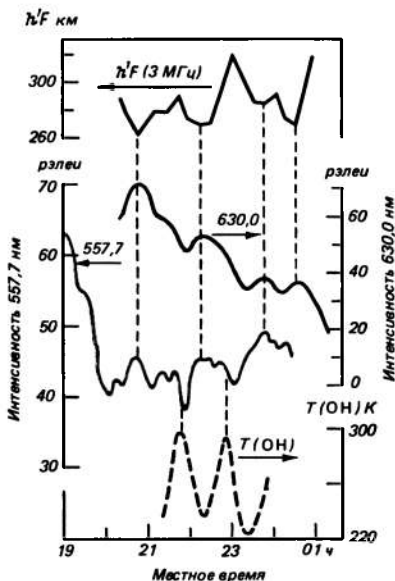


Рис. 4.4. Результаты одновременных оптических и ионосферных наблюдений волнообразных вариаций интенсивности излучения ночного неба, действующих высот F-области ионосферы и вращательной температуры гидроксила [210].

По-видимому, о возможном влиянии инфразвуковых атмосферных волн на изменение интенсивности эмиссий верхней атмосферы впервые было сказано в работе В. И. Красовского [78].

Подробные исследования волновых вариаций интенсивности оптических эмиссий атомарного кислорода в спектре ночного неба, получаемого с поверхности Земли, проведены в [71, 81, 168, 209, 210, 243, 282, 306, 338]. При этом в работе [306] для линии 630 нм было показано, что обнаруженный спектр флуктуаций в ее интенсивности не может быть однозначно связан с возбуждением неоднородными в пространстве или

времени высыпающимися потоками электронов. Тщательный анализ этих результатов привел авторов к выводу о наличии во время измерений «горизонтальной структуры в свечении верхней атмосферы» [306]. В отличие от эмиссий ОН и зеленой линии атомарного кислорода (а также Na и O_2), максимум свечения которых лежит около высоты 90 км, линии 630 нм наблюдаются на значительно большей высоте — в районе F_2 -слоя ионосферы (250—350 км). В качестве возможного источника наблюдаемых флуктуаций интенсивности этой линии предложены исходные вариации плотности ионосферной плазмы, связанные с наличием «компрессионных волн» [306] (по определению [307], это акустические волны). Одновременно аналогичные вариации ионосферной плотности фиксировались на тех же высотах радиофизическими методами.

Очень интересные результаты были получены в работе [210], в которой одновременно со спектрометрическими измерениями по гидроксильному излучению ночного неба в средних широтах проводились фотометрическая регистрация вариаций интенсивности красной (630 нм) и зеленой (557,7 нм) линий атомарного кислорода и ионосферное радиозондирование. Эти результаты хорошо видны на рис. 4.4 [31], выполненном по графикам, взятым из [210]. Из рисунка следует:

- доказательство, что АГВ в атмосфере есть одновременно в высотном интервале от мезосферы до, по крайней мере, высоты F_2 -пика, а в ионосферной плотности также в значительной области высот (рис. 4.5 [210]);

- подтверждение хорошей корреляции вариаций интенсивности линии 630 нм, ионосферной плотности и интенсивности линии 557,7 нм.

Точно такие же выводы следуют и из более новой работы [267], в которой подчеркивается, что в течение 2—3 ч после захода Солнца часто зеленая и красные эмиссии кислорода меняются одинаково из-за одинаковых волновых движений в E и F -областях ионосферы.

В то же время в [210] показано отсутствие определенной корреляции между вариациями интенсивностей зеленой и красной линий кислорода с одной стороны, и вращательной температуры ОН — с другой. На наш взгляд, такое рассогласование может быть связано с вертикальным волновым движением в мезопаузе [232].

Таким образом, и оптические наблюдения волновых varia-

ций интенсивности излучения ночного неба подтверждают, что верхняя атмосфера на различных высотах промодулирована по плотности акустико-гравитационными волнами, при этом может наблюдаться хорошая корреляция (отсутствие фазовых сдвигов) в волне на разных высотах [210]. При этом следует, конечно, отдавать себе отчет в том, что полная картина волн носит самый сложный характер и прежде всего из-за одновременного действия нескольких источников генерации. Одна-

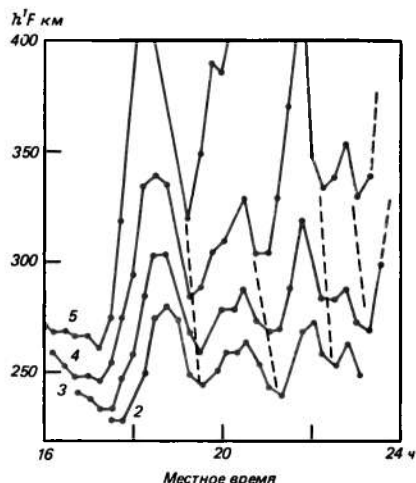


Рис. 4.5. Квазипериодические вариации в действующих высотах при измерении вариаций интенсивности оптических эмиссий [210].

ко благодаря фильтровым свойствам верхней атмосферы выделяются доминантные колебания, которые, модулируя переналожение всех остальных волн, и создают лучевую структуру. Особенно большие амплитуды акустико-гравитационных волн, вызывающих волновые неоднородности в свечении ВЭС, обнаружены в F -области ионосферы в основном в утренние и вечерние часы [179], что связано, по-видимому, с ролью солнечного терминатора в их генерации. Интересно, что по данным оптических наблюдений сумеречных эффектов в Абастумани на высотах 200—450 км, т. е. в ВЭС, также получено наличие пуга среднемасштабных волн в виде нескольких колебаний у терминатора. Именно они, по мнению авторов работы [105], ответственны за волнообразные возмущения ионосферы, а вследствие этого и за регистрируемые эффекты в свечении красной эмиссии кислорода и гелия.

Анализ данных первых наблюдений лучевой структуры в эмиссионном свечении на «Союзе-3» и «Союзе-9» показал, что структура регистрируется в основном в околотерминаторной зоне при углах погружения Солнца за горизонт менее 15° [24, 26, 146]. Это хорошо объяснимо [85]. Во-первых, по спутниковым и наземным данным именно здесь наблюдаются наибольшие амплитуды волновых возмущений ионосферных и верхнеатмосферных параметров. Во-вторых, в сумеречной зоне ВЭС уже действуют дополнительные механизмы возбуждения свечения, связанные с солнечной подсветкой. Наконец, именно в околотерминаторной зоне условия для детальных наблюдений структуры свечения являются наиболее выгодными, так как эти наблюдения можно вести с ночной стороны орбиты в отсутствие мешающего рассеянного на нижней атмосфере и стеклах иллюминаторов солнечного видимого излучения.

Однако уже на орбитальной станции «Салют-4» в июне — июле 1975 г. был зарегистрирован случай наблюдения лучевой структуры при угле погружения Солнца за горизонт более 70° [36] в районе тропических красных дуг. Наиболее подробно подобный случай описан в [121]. Это наблюдение было выполнено с «Салюта-6» в период полета пятой экспедиции 28 марта 1981 г. в F2-области ионосферы в районе Бразильской отрицательной магнитной аномалии. Регистрация велась независимо В. В. Коваленком и В. А. Джанибековым. Описание наблюдаемой картины на двух витках подряд из боржурнала В. В. Коваленка приведено на рис. 4.6. Положение станции «Салют-6», направление наблюдения и угловые размеры структур приведены на рис. 4.7. Случай 1 наблюдался в 0 ч 34 мин UT в направлении почти на запад, правее созвездия Корма, при этом вертикально-лучевая структура на уровне второго эмиссионного слоя (на высоте 250—350 км) занимала протяженность по горизонту больше 5° и имела наклон вправо (к геомагнитному экватору) около 10° от вертикали. Случай 2 зафиксирован более детально. Наблюдение началось в 1 ч 54 мин UT при визировании на юго-запад в направлении между созвездиями Южный Крест и Ложный Крест (Корабль), при

Рис. 4.6. Фотография записи и зарисовки горизонтальной неоднородности F-слоя ионосферы в районе Бразильской магнитной аномалии из боржурнала В. В. Коваленка. «Салют-6», 28 марта 1981 г. [90].

этом горизонтальная протяженность структуры доходила до $25-30^\circ$. Согласно записи в бортирунале В. В. Коваленка, «вертикально-лучевая структура была с отчетливо просматриваемыми лучами и просветами-прожилками между лучами. Отдельные лучи были более толстыми и более яркими. По высоте тоже имели различный уровень».

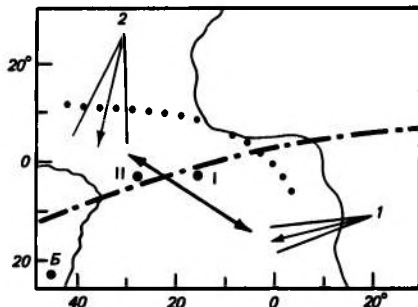


Рис. 4.7. Схема регистрации свечения в районе Бразильской аномалии 28 марта 1981 г. [121].

В обоих случаях станция находилась в глубокой тени Земли (угол погружения Солнца за горизонт до 61°), поэтому наблюдаемое излучение можно однозначно отнести к земной атмосфере, исключая из рассмотрения свечение зодикального света и солнечной короны [31]. В поле зрения космонавтов не находилось и какой-либо туманности, поскольку ближайшая из них к направлению визирования — Большое Магелланово облако — располагалась за горизонтом в случае 2 (на зенитном расстоянии более 110°). В случае 1 эта туманность находилась над горизонтом примерно под углом $25 \div 35^\circ$ к горизонту и вне области наблюдения структуры по азимуту. Малое Магелланово облако в обоих случаях располагалось под горизонтом. Кроме того, специальное изучение визуальных картин во время прохождения туманностей через второй эмиссионный слой показало, что такие картины не включают наблюдаемую структуру.

Фотоэлектрические и визуальные исследования излучения F-слоя в районе Бразильской аномалии проводились и ранее [38, 134, 258, 305, 310, 340, 359, 365, 366], однако горизонтальная структура свечения в визуальных наблюдениях [38, 134] не зафиксирована. В то же время она постоянно регистрируется в наземных фотометрических измерениях интенсивности свече-

ния ночного неба в красной линии атомарного кислорода 630 нм [258, 305, 310, 340, 359, 365, 366]. Результаты этих измерений показывают, что существует широкий спектр размеров таких неоднородностей — от 2,5 и 50 — 250 км [310, 366] ($80 \div 100$ км [258]) до 350 — 500 км [340] и нескольких тысяч км [258]. На основании детальных исследований [359] показано, что неоднородности преимущественно вытянуты вдоль азимутального направления $330 - 350^\circ$ ($10 - 30^\circ$ к западу от направления на северный магнитный полюс) [291, 359]. При этом вариации интенсивности излучения в линии 630 нм от максимума к минимуму превышают 2 раза [291], что при общем высоком уровне яркости второго эмиссионного слоя в районе Бразильской аномалии [38] вполне достаточно для визуальной регистрации структуры.

Подробные исследования мелкомасштабной структуры в излучении линии 630 нм *F*-слоем ночной ионосферы над Бразилией проводились в течение 26 месяцев [213]. Было показано существование значительной сезонной зависимости в появлении такой структуры — наиболее часто она обнаруживается в весенне-летний период (с максимумом как раз в марте), реже всего — в период зимнего солнцестояния. По времени суток быстрые вариации высоты *F*-слоя приэкваториальной ионосферы происходят преимущественно в $21 \div 0,5$ ч местного времени [219]. Мелкомасштабная структура интенсивности свечения линии 630 нм и есть одно из проявлений таких вариаций [308]. Повышенное свечение в районе Бразильской аномалии можно связывать с неупругим взаимодействием корпускулярных потоков с верхней атмосферой в области пониженных высот точек отражения. Действительно по данным ИСЗ «Космос-381» было получено [169], что вся область Бразильской аномалии является зоной проникновения до ионосферных уровней интенсивных потоков энергичных электронов с энергией более 20 — 40 кэВ почти при всех уровнях геомагнитной активности. Северная граница зоны проникновения таких потоков для условий средней активности, соответствующей периоду наблюдений, показана на рис. 4.7 пунктиром, а их интенсивность составляет $10^6 - 10^7$ см⁻² · с⁻¹ · ср.⁻¹ [169]. Такие потоки уже близки к авроральным и поэтому могут участвовать в разогреве и оптическом возбуждении ионосферы.

Однако обнаруженная в свечении *F*-слоя структура не мо-

жет быть прямо связана с высыпанием корпускул, поскольку ее наклон лишь на 10° от вертикали не соответствует малым значениям магнитного наклона на этих широтах (вблизи геомагнитного экватора, см. штрих-пунктирную линию на рис. 4.7). По-видимому, так же как и в авроральной зоне, нагревание нижней термосферы при высыпаниях приводит к локальной генерации акустико-гравитационных волн. Образующиеся при прохождении этой волны вариации плотности возбужденных и ионизованных частиц, прежде всего свободных электронов и ионов O_2^+ (диссоциативная рекомбинация которых приводит к излучению линии 630 нм), могут дать вклад в визуально наблюдаемую с борта орбитальной станции картину в виде зафиксированной горизонтальной структуры. Такой механизм подробно рассмотрен в работе [31].

Мы не случайно остановились на возможной роли акустико-гравитационных волн в появлении наблюдаемой структуры. В настоящее время для объяснения природы средне-масштабных волновых возмущений (с периодом 10–15 мин) в электронной концентрации экваториальной ионосферы привлекаются волны, генерируемые в тропической зоне прежде всего грозовыми явлениями [333, 334], при этом обнаруживается хорошая сезонная и географическая корреляция между волнообразными перемещающимися ионосферными возмущениями и активностью конвективных тропических зон [333]. Одной из основных таких зон в районе Бразильской аномалии являются северные области бассейна р. Амазонки [213, 333]. Другой источник генерации волн в экваториальной ионосфере — терминатор — здесь главной роли не играет, т. е. действует во всей приэкваториальной зоне, а не только в районе наблюдения.

В серии работ [213, 340, 365, 366] мелкомасштабная структура в свечении линии 630 нм из слоя F связывается с появлением в нем областей уменьшенной плотности заряженного компонента ионосферы (bubbles) [256, 291]. По-видимому, с помощью наземных наблюдений за структурой свечения ночного неба трудно однозначно выделить различия, возникающие при уменьшении плотности или под действием акустико-гравитационных волн. Наблюдения четкой вертикально-лучевой структуры волнового характера сразу во всей области высот F -слоя позволяет говорить о волнах как основной причине обнаруженной структуры в районе Бразильской анома-

лии. Интересно, что в [258] показано наличие большой волновой активности мелкомасштабного класса около полуночной выпуклости давления (т. е. в антисолнечной точке). Антисолнечные точки для случаев 1 и 2 показаны на рис. 4.7 римскими цифрами I и II соответственно. Видно, что для случая 2 антисолнечная точка расположена близко к области наблюдения горизонтальной структуры. И период наблюдения структуры — 23 ч 56 мин местного времени — хорошо соответствует результатам [258] о преимущественном появлении волн у антисолнечной точки около местной полуночи.

Обратимся к геометрии наблюдения. Наилучшие условия наблюдения второго эмиссионного слоя с орбиты «Салюта-6» (с высоты 350 км) относятся к области не далее 2500 км. При угловых размерах элемента горизонтальной структуры примерно 1° его размер в картинной плоскости на таких расстояниях составляет около 40 км, что соответствует длине волны 80 км. Это как раз соответствует мелкомасштабным структурам, хорошо регистрируемым по свечению неба в линии 630 нм с земной поверхности [258, 305, 366]. По данным наземных наблюдений [308], общие размеры областей с мелкомасштабной структурой составляют до 1000 км и более как по широте, так и по долготе. Горизонтальный размер областей наблюдаемых из космоса структур может быть около 1000 км в случае 2 и не более 220 км в случае 1. Здесь, однако, следует обратить внимание на известное ограничение в возможности фиксировать наличие волновой структуры при наблюдении под углом к фазовому фронту волны [31, 64]. Ограничение при визуальных наблюдениях определяется как амплитудой волны, так и яркостью светящейся области. На рис. 4.7 стрелкой с двумя заостренными концами показано возможное положение фазового фронта гипотетической волны, идущей от точки Б — центра Бразильской аномалии на высоте 350 км (23° ю. ш., 46° з. д. [65]).

Тем не менее эта очень условная схема на основании углов между фазовой плоскостью гипотетической волны и направлениями наблюдения из точек 1 и 2 (углы составляют $50-70^\circ$) позволяет оценить амплитуду волны, которая может достигать 40–50%. При этой оценке использованы формулы [64]. Такие амплитуды мелкомасштабной структуры свечения неба в линии 630 нм в экваториальной зоне приводятся в работе [359]. Обратим внимание на недостаточность сведений о про-

странственных характеристиках волн, которые могли наблюдаться 28 марта 1981 г. Не исключено, что оба случая относятся к наблюдению волн различных источников, либо, наоборот, какая-то основная волна изменила направление своего фронта. Известны случаи, когда перемещающиеся ионосферные возмущения изменяли направление горизонтального движения на несколько градусов в минуту [259]. Однако выбранное нами направление расположения фазового фронта не только позволяет схематично представить условия наблюдения в случаях 1 и 2 (см. рис. 4.7), но и хорошо коррелирует с выводами работ [291, 359] о преимущественной вытянутости неоднородностей в свечении ночного неба именно при азимутах до 330° относительно магнитного полюса. При склонении -17° (для обеих точек наблюдения) это как раз соответствует указанному на рис. 4.7 положению стрелки.

Следует подчеркнуть, что успешному наблюдению обнаруженного эффекта горизонтальной структуры в излучении F -слоя ионосферы в районе Бразильской магнитной аномалии сопутствовало несколько условий, в том числе сезон года (преимущественно весна — март [213]), направление наблюдения и, может быть, геофизическая активность. Одной из причин, что такая структура не наблюдалась при одновременных визуальных наблюдениях приэкваториального свечения в [38, 134], в том числе в марте 1978 г., являются, видимо, индивидуальные возможности зрительной системы космонавтов по порогу контрастной чувствительности. При наблюдениях [34] она оценена самими авторами довольно низко — примерно 100% при уровнях, соответствующих яркости второго эмиссионного слоя. В то же время морфологические и фотометрические данные, полученные в [38] по всей приэкваториальной области свечения, представляют хорошее дополнение к картографическим регистрациям эмиссии верхней атмосферы в линиях 630 и 557,7 нм [327] со спутников.

4.4. Реакция ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки

Верхней ионосферой Земли является F -область, совпадающая по высоте со вторым эмиссионным слоем. Но если F -область существует на всех широтах, то до 1978 г. ВЭС наблюдался

космонавтами только в приэкваториальной зоне [97].

Совершенно новые данные о свечении второго эмиссионного слоя не только в экваториальных, но и в других широтах были получены при проведении визуальных наблюдений основным экипажем второй экспедиции на орбитальной научной станции «Салют-6» в составе В. В. Коваленка и А. С. Иванченкова в июне — октябре 1978 г. [14]. Эти наблюдения были продолжены В. В. Коваленком и В. П. Савиных в апреле — мае 1981 г. (в период работы пятой экспедиции).

Анализ гелиогеофизической ситуации во время проведенных исследований, выполненный в [8, 14, 170], показал, что все такие случаи свечения ВЭС совпадают с периодами вспышек на Солнце. Был сделан вывод, что обнаружено новое геофизическое явление — быстрая реакция верхней атмосферы Земли (на высоте F -области ионосферы) на некоторые солнечные вспышки. Его существование впоследствии подтвердилось при рассмотрении результатов прямых патрульных измерений сети ионосферных станций [144] и станций свечения ночного неба [12]. Следует подчеркнуть, что несмотря на многолетнюю историю наземных исследований свечения ночного неба и непосредственных спутниковых измерений оптического излучения верхней атмосферы, такое явление ранее известно не было. Описанный в работе [234] факт усиления интенсивности свечения ночного неба в зеленой линии атома кислорода через несколько часов после сильных солнечных вспышек (в последующую после дня вспышки ночь) имеет, очевидно, другую природу и относится к нижней ионосфере (высоте примерно 90 км). В [138] представлены данные о появлении геомагнитных пульсаций определенного вида при усилении красной эмиссии ночного неба в средних широтах. В связи с этим были проанализированы данные обсерватории Борок о геомагнитных пульсациях в периоды, отмеченные космонавтами, и сделан вывод, что для случаев свечения ВЭС пульсаций, аналогичных упомянутым в [138], не зафиксировано [8].

В настоящем разделе представлены основные данные по обнаруженному явлению и его теоретическая модель. Гелиогеофизическая обстановка во всех случаях регистрации с «Салюта-6» второго эмиссионного слоя в планетарном масштабе на ночной стороне Земли приведена в табл. 4.2 и 4.3. Случаи планетарного свечения можно разделить на два типа: кратко-

Таблица 4.2
Кратковременные случаи наблюдения планетарного свечения

Видимое свечение F-области		Трехчасовой K_p -индекс	Солнечная вспышка в H _α		Время начала ВИБ UT, ч мин	Предшествующие магнитные бури		Знак сектора ММП в предше- дущие сутки	Последующие магнитные бури	
Дата	Время UT, ч мин		Время UT, ч мин	Балл		Дата	$K_{\text{макс}}$		Дата	$K_{\text{макс}}$
14 VIII 1978	0 45 – 0 50	2 ⁺	0 02 – 0 48	1F	0 06	11–14 VIII 1978	7	+/-	17–20 VIII 1978	7
28 X	20 30 – 21 05	1 ⁻	20 01 – 21 04	SB	20 11	26–27 X	7	+/-	29–31 X	8
28 X	22 44	3 ⁻	22 28 – 22 44	SB	22 31	26–27 X	7	+/-	29–31 X	8
3 V 1981	0 38	1 ⁺	0 22 – 0 46	SF	—	1–2 V 1981	4	-/+	8–12 V 1981	8
3 V	15 52 – 15 56	1	15 49 – 16 08	SN	15 47	1–2 V	4	-/+	8–12 V	8

Таблица 4.3
Суточные периоды наблюдения планетарного свечения

Дата видимого свечения F-области	Средний K_p -индекс за сутки	Число ВИБ за сутки	Предшествующие магнитные бури		Знак сектора ММП в предыдущие сутки	Последующие магнитные бури	
			Дата	$K_{\text{макс}}$		Дата	$K_{\text{макс}}$
7 VII 1978	3 ⁻	9 (3)	3–7 VII 1978	8	-/+	13–15 VII 1978	6
9 VII	2	14 (7)	3–7 VII	8	-/+	13–15 VII	6
16 IX	2 ⁻	5 (1)	11–13 IX	5	+/-	20–21 IX	3
17 IX	2 ⁺	8 (1)	11–13 IX	5	+/-	20–21 IX	3

Примечание. В скобках указано число ВИБ, сопровождающих солнечную вспышку с увеличением потоков рентгеновского излучения.

временные, с точной фиксацией времени наблюдения (пять случаев, табл. 4.2) и квазинепрерывные в течение суток (четыре случая, табл. 4.3). Ограничение по времени наблюдения каждого из пяти случаев из табл. 4.2 по сравнению с длительностью солнечной вспышки связано, как показывает специальное рассмотрение, лишь с условиями визуальной регистрации слабых свечений с борта орбитальной станции. Данные обеих таблиц использованы для выявления характерной гелиогеофизической ситуации и определения поведения ночной среднеширотной ионосферы в рассматриваемые периоды. Для этого данные ночных наземных станций для случаев из табл. 4.3 анализировались в моменты внезапных ионосферных возмущений (ВИВ) на дневной стороне по [73, 341].

Из табл. 4.2 и 4.3 следует, что появлению визуально наблюдаемого планетарного свечения F -области ночной ионосферы соответствует вполне определенная геофизическая ситуация:

- в период свечения геомагнитная активность ниже средней ($K_p \leq 3$);
- за сутки и более до свечения каждый раз была сильная мировая магнитная буря;
- в предыдущие сутки дважды наблюдалась смена сектора межпланетного магнитного поля (ММП) (порядок последней смены знаков приведен в таблицах);
- через сутки и более после свечения всегда происходила мировая магнитная буря, сопровождаемая появлением среднеширотных полярных сияний, которые уверенно фиксировали космонавты.

Следует отметить, что тип начала предшествующей и последующей бурь был одинаков, при этом в случае постепенного начала между бурями проходило три-четыре дня, а в случае внезапного начала вдвое больше — семь-восемь дней. Это обстоятельство и приводит к некоторой неопределенности указанных нами выше промежутков (1 сут и более) между временем наблюдения свечения и предшествующей и последующей магнитными бурями.

Свечение верхней ионосферы наблюдается именно в периоды вспышек на Солнце, которые также характеризуются рядом особенностей:

- при наблюдениях в линии H_α вспышка классифицируется обычно как слабая, чаще всего это субвспышка;

4. ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

— возникающие во время данных вспышек внезапные ионосферные возмущения (на дневной стороне) имеют низкий балл, но регистрируются большим числом наземных станций (с достоверностью, близкой к максимальной);

— при патрульных наблюдениях за рентгеновским излучением Солнца в большинстве таких вспышек увеличенного потока рентгеновского излучения в области спектра 0,05—0,8 нм не зафиксировано.

Остановимся подробнее на следствиях из выявленной геологофизической ситуации. Невысокий уровень геомагнитной активности подтверждает отсутствие среднеширотных высыпаний электронных и протонных потоков. Наличие во всех случаях предшествующей магнитной бури свидетельствует о значительных потоках ионов H^+ , а также O^{++} [7, 242] из области F вверх в плазмосферу, существующих первые десятки часов после интенсивной магнитной бури. Характер смены знаков секторов ММП говорит об окончании активного периода, т. е. об определенной стабилизации геофизической активности перед исследуемым явлением. Наконец, обязательная последующая сильная магнитная буря (буря 20—21 сентября 1978 г. сменяется сильнейшей бурей 24—25 сентября с $K_{\text{макс}} = 7 \div 9$) является указанием на то, что рассматриваемые эффекты сопутствуют вспышкам особо повышенной геоактивности. Действительно, несмотря на то, что в оптическом и рентгеновском диапазонах вспышка на Солнце является очень слабой, она вызывает хорошо фиксируемые, хотя и низкого балла, внезапные ионосферные возмущения. На их величине, по-видимому, сказывается то обстоятельство, что основное возмущение вызывается непатрулируемым ультрафиолетовым излучением солнечной вспышки. Это излучение приводит главным образом, к таким возмущениям в F -области, которые обычно не регистрируются наземными ионосферными станциями. Вклад ультрафиолетового компонента солнечной вспышки в возмущение нижней ионосферы невелик.

Результаты обработки количественных спутниковых данных о вариациях всех трех компонентов ММП — радиального (B_x), азимутального (B_y) и вертикального (B_z) подтвердили, что периодам наблюдений свечения соответствуют очень спокойные условия с отсутствием сколько-нибудь значительных высыпаний магнитосферных частиц в среднеширотную ионосферу [8]. Об этом прямо свидетельствуют близкие

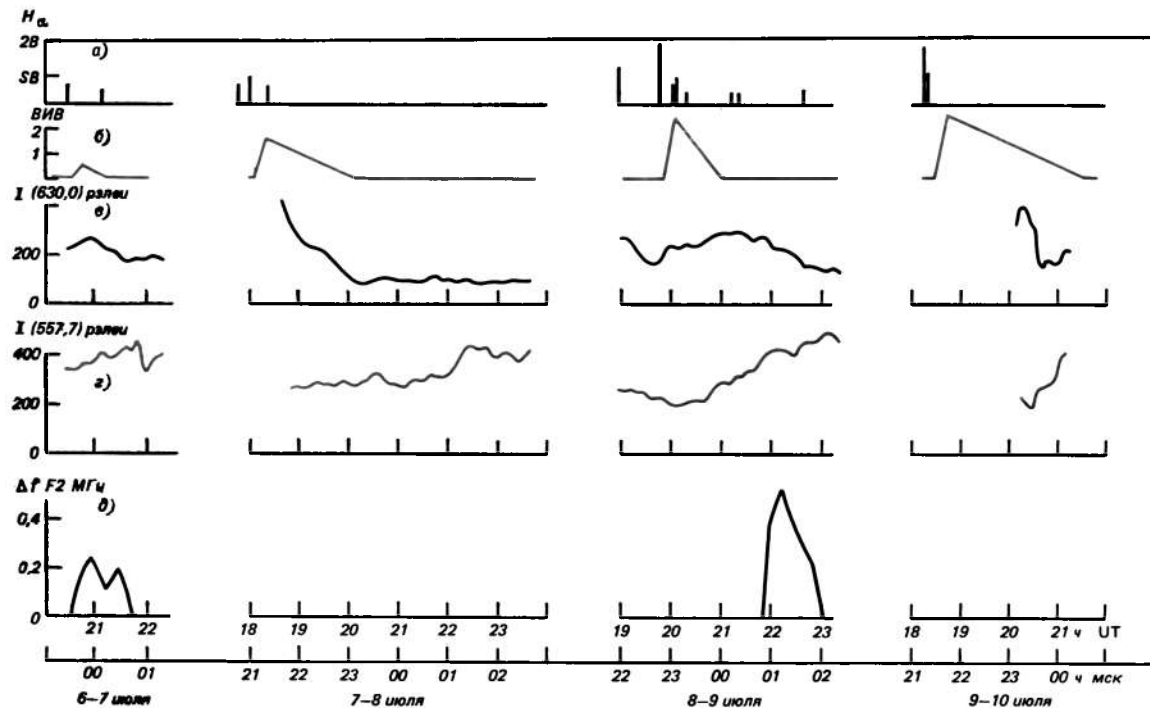
к нулю значения B_z . Следовательно, нет никаких оснований связывать наблюдаемое свечение второго слоя на средних широтах с полярными сияниями как по геомагнитной активности, так и по вертикальному компоненту ММП.

Для уверенной идентификации обнаруженного увеличения свечения во время некоторых солнечных вспышек важное значение имело определение количественных характеристик степени возмущения верхней атмосферы. Как упоминалось в п. 4.2, наземные измерения вариации интенсивности свечения ночного неба в красной линии атомарного кислорода с длиной волны 630 нм дают надежную информацию об изменениях в F -области ионосферы. Ниже по данным [8, 12] приводятся результаты анализа временных вариаций интенсивности свечения ночного неба в линии 630 нм по наземным измерениям в Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузинской ССР в периоды наблюдения среднеширотного второго эмиссионного слоя.

Вследствие плохих атмосферных условий и мешающего влияния света Луны для периодов, приведенных в табл. 4.2 и 4.3, имеются наземные данные только за ночи 6—10 июля 1978 г. По данным космонавтов, усиленное свечение наблюдалось 7 и 9 июля и отсутствовало 8 июля. Более полная информация — о точном времени наблюдения такого усиленного свечения с борта «Салюта-6» — в данные дни отсутствует. В дни, когда такая временная привязка есть в боржурналах космонавтов, наблюдения в Абастумани не проводились. Однако поскольку 7 и 9 июля вспышек на Солнце, сопровождающихся обширными внезапными ионосферными возмущениями на дневной стороне, было много (9 и 14 соответственно), а именно такие периоды оказались характерными для усиленного свечения ночной F -области ионосферы, нами был проведен поиск периодов усиления интенсивности свечения неба в линии 630 нм в периоды солнечных вспышек в ночи с 6 по 10 июля 1978 г.

Вариации интенсивности эмиссий 630 и 557,7 нм по данным наблюдений в Абастумани приведены на рис. 4.8. На рис. 4.8 *а, б* приведены сведения о начале и интенсивности солнечных вспышек в H_α и о продолжительности и балле сопутствующих внезапных ионосферных возмущений на дневной стороне по радиофизическим наблюдениям [73], а на рис. 4.8 *в, г* представлены временные вариации абсолютных интенсивно-

Рис. 4.8. Вариации интенсивности атмосферных эмиссий и критической частоты по данным ст. Абастумани и Тбилиси в июле 1978 г.



стей эмиссий 630, 557,7 нм, измеряемые каждые 7,5 мин. Набор двух различных эмиссий позволяет определять поведение как F_2 -области, так и E -области ночной ионосферы.

Прямые сопоставления вариаций интенсивности эмиссий ночного неба с солнечными вспышками в H_α возможны в ночи с 6 на 7 и с 8 на 9 июля. Хорошо видно, что после начала солнечной вспышки в H_α , как 6 июля в 20 ч 28 мин и 21 ч 10 мин UT, так и 8 июля в 19 ч 43 мин (начало события в рентгеновском излучении по данным спутника GOES [341]), 20 ч 03 мин, 21 ч 17 мин и 22 ч 37 мин UT, происходит рост интенсивности свечения линии 630 нм в течение 15–30 мин. В то же время на интенсивности эмиссии 557,7 нм влияние вспышки не заметно. В ночь с 8 на 9 июля наблюдаемое после отдельных вспышек возрастание интенсивности 630 нм накладывается на продолжительный рост интенсивности этой линии, что, по-видимому, обусловлено небольшими периодами между вспышками. А в таких случаях известен эффект определенного накопления возмущенности в дневной F_2 -области от следующих друг за другом солнечных вспышек, поскольку время релаксации здесь для электронной концентрации достигает 10^3 с и более.

В ночи с 7 на 8 и с 9 на 10 июля вспышки на Солнце в периоды наблюдений свечения неба в Абастумани не происходили. Но можно заметить достижение устойчивого минимума в интенсивности линии 630 нм начиная с полуночи 8 июля. И космонавты отмечали, что 8 июля свечение F -области не регистрировалось. Интересно также, что по данным наземных наблюдений свечения в периоды, налагающиеся на периоды ВИБ (в первую часть ночей с 7 на 8 и с 9 на 10 июля), интенсивность линии 630 нм аномально повышена.

Итак, данные наземных наблюдений в Абастумани за интенсивностью эмиссии 630 нм подтверждают, что в периоды визуальных наблюдений космонавтами планетарного свечения F_2 -области интенсивность красной линии увеличивается во время солнечных вспышек. Ранее такой эффект известен не был. Его существование и связь с F_2 -слоем сомнений не вызывает, так как одновременные ионозондовые измерения вариации критической частоты $f_0 F_2$ -области на ст. Тбилиси, расположенной на расстоянии менее 200 км от ст. Абастумани, показывают четкое возрастание $f_0 F_2$ в моменты усиления интенсивности эмиссии в 630 нм. По данным мировой сети ионозондов, подобное повышение критической частоты происхо-

дило во всех случаях, рассмотренных в табл. 4.2 и 4.3. Из-за плохих условий для приема отраженного от ионосферы радиосигнала в периоды наблюдения свечения неба по ст. Тбилиси есть только ионосферные данные во время вспышек в ночь с 6 на 7 июля и с 0 ч 9 июля (см. рис. 4.8). При сравнении ионосферных и оптических данных видна их четкая взаимная корреляция в росте амплитуды вариаций после вспышки на Солнце. Сами же амплитуды вариаций неодинаковы, амплитуда в критической частоте составляет 3% в период вспышки 6 июля в 20 ч 28 мин UT и 7,8% — 8 июля в 22 ч 15 мин UT, а амплитуда интенсивности эмиссии 630 нм значительно больше. Так, в ночь с 6 на 7 июля она составила не менее 50 рэлей, т. е. 20–25%, а ночью с 8 на 9 июля общий рост в серии вспышек превысил 150 рэлей, т. е. примерно 100%. Таким образом, интенсивность линии 630 нм является гораздо более чувствительным индикатором реакции ионосферной области F_2 .

Приведенные выше результаты о количественной стороне реакции ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки позволили построить теоретическую модель данного явления. В работах [14, 170] было высказано предположение, что основным фактором, ответственным за добавочное ионообразование и оптическое возбуждение ночной F -области во время вспышки на Солнце, является увеличение интенсивности рассеянного на геокороне ультрафиолетового излучения этой вспышки. Это рассеянное на ионах и атомах гелия излучение, проникая в ночную ионосферу, способно производить фотоионизацию всей среднеширотной F -области. Однако теоретический расчет в рамках такой модельной картины потребовал существенного уточнения типовых распределений интенсивности рассеянного излучения геокороны, его угловой анизотропии и временных вариаций интенсивности. Все эти уточнения, выполненные в [8], основаны на анализе совокупности экспериментальных данных как по ультрафиолетовой радиации геокороны, так и по возрастанию интенсивности отдельных резонансных линий солнечного спектра в периоды вспышек. Основное внимание было обращено на следующие два обстоятельства.

Во-первых, в предшествующих расчетах ночной фотоионизации верхней атмосферы не учитывалось наличие сильной анизотропии излучения из геокороны и прежде всего по зенит-

Таблица 4.4

Экспериментальные ракетные исследования излучения геокороны в линии 30,4 нм на ночной стороне Земли [8]

Дата	Время пуска ракеты, ч мин		Страна пуска	Положение Солнца		Условия наблюдения			Интенсивность линии 30,4 нм, рэлен		Активность в период измерения		Источник
	мест-ное	миро-вое		Z°_{\odot}	азимут, ...	Z°_H	высота, ...	азимут, ...	наблю-даемая	вне атмо-сферного поглощения	продолжи-тельность вспышки $H_{\text{в}}$, ч мин	K_p	
10/11 VIII 1967	23 30	5 30	США (32° с. ш., 253° в. д.)	131	350	46	215	96	6	11	5 25—5 39	30	[238, 332]
13/14 X 1969	21 00	3 00	То же	134	293	45	215	248	7,2	13	Нет	1 ⁻	[273, 332]
						75	207—217	270	5,8	16			
						85	207—217	270	3,6	> 100			
9/10 III 1970	02 05	20 35	Индия (9° с. ш., 77° в. д.)	150	90	0	250—264	—	4,5	5,3	Нет	4 ⁻	[320]
						80	250—264	90	7	> 20			
						85	250—264	270	5	> 30			
19 IX 1970	20 30	10 30	Япония (30° с. ш., 134° в. д.)	121—125	290	0	420	—	12	12	Нет	3 ⁺	[312]
						0	1200	—	4	4			
22/23 X 1971	21 45	2 45	США (32° с. ш., 253° в. д.)	132,8	286	25	177	272	1,3	3,5	Нет	10	[329]
8/9 VI 1972	23 25	5 25	То же	125	0	32	200	263	9,2	20,5	5 11—5 25	1 ⁻	[319]
						40	181	280	7,3	32,7			
						43	168	297	5,0	37			
						48	204	246	7,8	18,3			
						52	195	240	8,1	27			
						72	180	180	3,0	37			
						82	175	168	0,51	> 100			

ному углу. Наиболее интенсивное излучение приходит сверху в F -область ночной ионосферы из зоревго сегмента при зенитных углах, близких к 90° (табл. 4.4) [8]. Эта особенность принципиальна при рассмотрении добавочного ионообразования в верхней ионосфере, поскольку ионизирующее излучение с длинами волн 30–90 нм при зенитных углах 70 – 90° целиком поглощается на высоте F -области (см. п. 1.2). Частичное

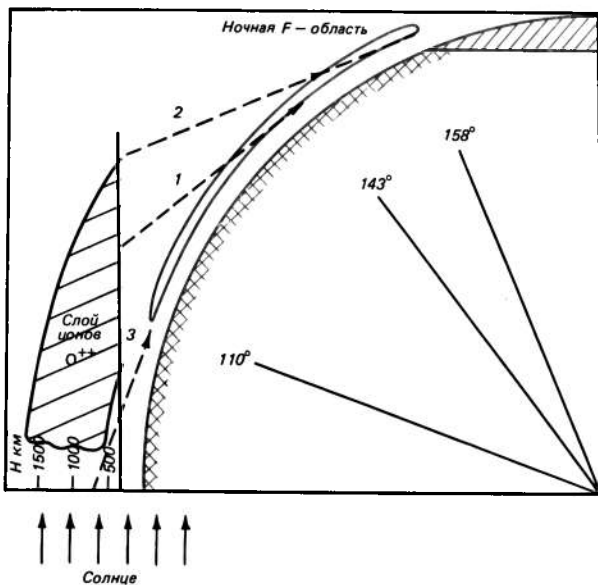


Рис. 4.9. Условия освещения F -области ночной ионосферы рассеянным солнечным излучением на геокороне.

1–3 — направление освещения под зенитными углами, близкими к 90° от слоя O^{++} (его максимума, верхней и нижней части на уровне 0,5 от максимальной плотности соответственно).

поглощение в F -области происходит и при меньших углах, так что полная интенсивность дошедшего до верхней границы E -области ультрафиолетового излучения геокороны уменьшается в несколько раз. Поэтому типовые распределения интенсивности ультрафиолетовых излучений геокороны не соответствуют полученным в [8] при анализе экспериментальных данных значениям над F -областью, являются сильно заниженными и предназначены только для расчетов ночной фотоионизации E -области.

Во-вторых, в [8] впервые оценена степень возрастания интенсивности рассеянного в геокороне ультрафиолетового излучения как при солнечных вспышках, так и после сильных гео-

магнитных бурь. Учитывался известный факт [7, 242], что в восстановительную фазу ионосферной бури в геокороне и ближней магнитосфере сильно (до 10 раз) возрастает плотность двухзарядных положительных ионов атомарного кислорода O^{++} . А эти ионы, согласно [225], эффективно участвуют в переизлучении солнечной линии 30,4 нм. Даже в обычных условиях они являются четвертым ионосферным компонентом выше 800 км [236]. После бури слой ионов O^{++} поднимается на высоту примерно 400 км, а их концентрация на высотах 1000 км и более возрастает в 10 раз и более. Из рис. 4.9 видно, что слой O^{++} может освещать большую часть ночной F -области при зенитных расстояниях от Солнца менее 158° , а область углов 143° и менее максимально подвержена влиянию рассеянного в геокороне ультрафиолетового излучения Солнца [8]. Это обстоятельство может являться объяснением природы наблюдаемого увеличения интенсивности ночной эмиссии ВЭС с ростом Z_\odot , как это получено в [130].

Итак, в первые десятки часов после мировой магнитной бури рассеянное геокороной излучение в линии 30,4 нм и других линиях O^{++} солнечного спектра (50,8; 70,3; 83,4 нм) возрастает в несколько раз. Согласно спутниковым данным, в 2—4 раза возрастает в среднем излучение этих линий и линий атома гелия 58,4 нм в моменты солнечных вспышек (см. п. 1.3).

На основании проведенного анализа была составлена табл. 4.5 модельных распределений интенсивности ультрафиолетового излучения геокороны при различных условиях.

Таблица 4.5

Модельное распределение интенсивности УФ излучения геокороны (рэлеи) при различных условиях (а — фоновое (в отсутствие магнитных бурь и солнечных вспышек), б — после магнитной бури, в — в момент солнечной вспышки (т. е. в периоды наблюдения повышенного свечения ночной F -области)) [8]

Условие	λ нм	Z_\odot				
		15	45	67,5	80	90
а	58,4	70 (5,6)	70 (5,6)	85 (6,8)	85 (6,8)	85 (6,8)
	30,4	20 (1,6)	35 (2,8)	40 (3,2)	40 (3,2)	40 (3,3)
б	58,4	80 (6,4)	80 (6,4)	100 (8,0)	100 (9,0)	100 (8,0)
	30,4	37 (2,9)	70 (5,6)	90 (7,2)	90 (7,2)	90 (7,2)
в	58,4	350 (28)	350 (28)	430 (34)	430 (34)	430 (34)
	30,4	100 (8,0)	190 (15)	250 (20)	250 (20)	250 (20)

Примечание. В скобках указана интенсивность свечения геокороны в единицах $10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$

4. ЭМИССИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

По табл. 4.5 с использованием моделей атмосферы и ионосферы из [8] были определены спектры ночных фотоэлектронов (рис. 4.10), скорости фотоионизации, добавочной ионизации и оптического возбуждения красной и зеленой ли-

$(\text{эВ} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср})^{-1}$

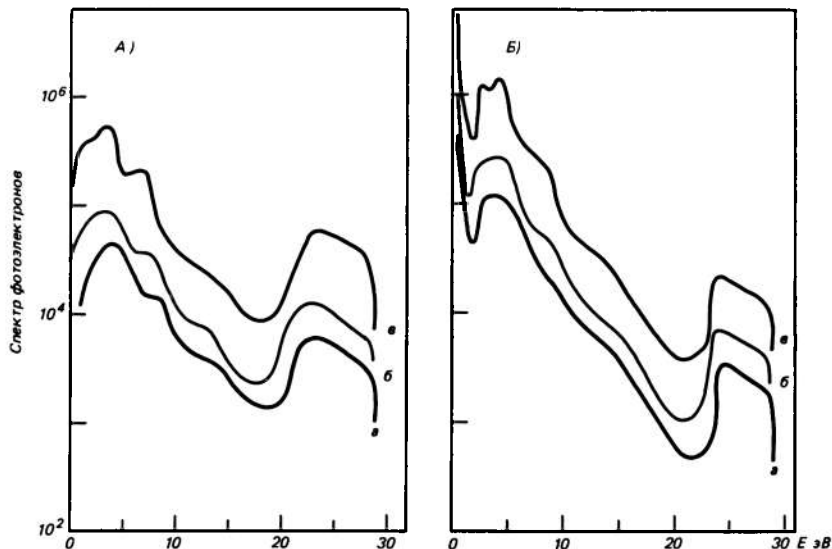


Рис. 4.10. Спектры ночных фотоэлектронов в земной ионосфере для трех случаев интенсивности излучения геокороны на высоте 360 км (А) и 180 км (Б).

а—в — соответствуют условиям, приведенным в табл. 4.5.

ний атома кислорода этими фотоэлектронами (рис. 4.11). Далее определялись фоновые значения интегральной интенсивности излучения по вертикали и их приращения при вспышке. Полученные из данного модельного расчета результаты очень хорошо совпадают с измеренными в Абастумани величинами [12]. Выявлено, что в полном приращении интенсивности вспышечного излучения роль процесса диссоциативной рекомбинации, оставаясь основной, сказывается с задержкой во времени примерно на 13 мин, а оптическое возбуждение локальными фотоэлектронами происходит практически мгновенно.

4.4. Реакция ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки

но и вклад его составляет до 40%. Расчет прироста электронной концентрации на основании данных рис. 4.10 также показывает хорошее соответствие с экспериментом [11].

Итак, в данном разделе описаны основные эксперимен-

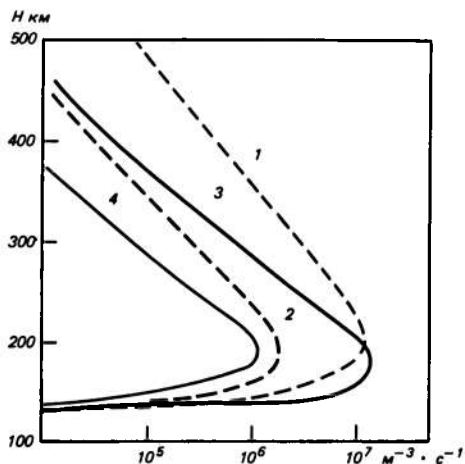


Рис. 4.11. Высотная зависимость скоростей ночной фотоионизации (1), добавочной ионизации фотоэлектронами (2), возбуждения красной (3) и зеленой (4) линии атома кислорода фотоэлектронами во время вспышки.

тальные и теоретические результаты по исследованию нового геофизического явления — реакции ночной верхней атмосферы (на высоте F -области ионосферы) на некоторые солнечные вспышки. Данное явление может быть использовано для контроля за геофизической и ионосферной обстановкой на высоте полета пилотируемых космических аппаратов. Поскольку регистрация повышенной интенсивности свечения второго эмиссионного слоя в период вспышки свидетельствует о скором возникновении мировой магнитной бури, вероятнее всего, с тем же типом начала, что и у предшествующей бури, такое явление может быть дополнительным свидетельством близкого наступления сильного магнитосферного возмущения.

5.1. Особенности наблюдения и регистрации облачного покрова из космоса

Большая обзорность, территориальная интеграция и генерализация деталей, присущие космическим методам исследования [70], позволяют широко использовать их для изучения облачного покрова, циклонов и тайфунов. Вместе с тем возможности зрительной системы, фотографической и особенно телевизионной аппаратуры, а также влияние передаточных функций атмосферы и иллюминаторов накладывают определенные ограничения на возможность изучения облачного покрова из космоса.

Облака и облачные образования при наблюдении, фотографировании или передаче телевизионного изображения из космоса на дневной стороне Земли хорошо различаются вследствие сравнительно высокого цветового или светового контраста между яркими облаками и более темными участками акватории и поверхности Земли. А структура облачных образований различается по контрастам между отдельными деталями облачного покрова, возникающим вследствие различных условий освещения прямым солнечным излучением, рассеянным излучением атмосферы и отраженным излучением поверхности Земли. Световые и цветовые контрасты между деталями облачного покрова обычно меньше контрастов между облаками и бесснежной поверхностью акватории и суши. Однако иногда контрасты между облаками и снежным или ледяным покровом поверхности Земли могут быть меньше контрастов между деталями облачного покрова. Поэтому наблюдения и особенно регистрация облачного покрова над покрытой снегом поверхностью Земли менее эффективна, чем над свободной от снега и льда. При наблюдении или регистрации облачного покрова видимые из космоса контрасты между деталями облаков или контрасты между облаками и поверхностью акватории или суши уменьшаются вследствие влияния излучения и пропускания атмосферы и иллюминатора, количественно это уменьшение определяется передаточными функциями. Все космонавты, проводившие наблюдения

облачного покрова и поверхности Земли с космических орбит, отмечают, что визуально наблюдаемые картины облаков и поверхности Земли заметно отличаются от фотографий или телевизионных изображений тех же картин, регистрируемых из космоса. По информации космонавтов ни фотографии, ни тем более телевизионные изображения облачного покрова и поверхности Земли, полученные из космоса, не дают такой полной и контрастной картины, как визуальные наблюдения. Это объясняется различием пороговых контрастов зрительной системы человека, фотографического и телевизионного изображения, а также влиянием атмосферы и иллюминатора.

В п. 2.7 было показано, что минимальные значения контрастов, необходимые для того, чтобы различать отдельные детали тропосферных облаков при наблюдении из космоса в нади́р, для зрительной системы составляют 3,0—3,5%, для фотографического изображения 15—18% и для телевизионного изображения 30—35%. Поэтому визуально наблюдаемые картины облачного покрова и поверхности Земли гораздо богаче по контрастам, чем фотографии или телевизионные изображения. Здесь сказываются исключительные достоинства зрительной системы и особенно ее высокая контрастная чувствительность и цветоразличение. Здесь не рассматривается пространственное разрешение наблюдаемых или регистрируемых картин облачного покрова, которое связано с используемой при этом оптической системой и точностью компенсации сдвига изображения, возникающего при полете космического корабля.

Влияние передаточной функции атмосферы резко возрастает при наблюдении или регистрации картин облачного покрова в направлениях, отличающихся от нади́ра. Это приводит к уменьшению видимых из космоса в этих направлениях контрастов между отдельными деталями облачного покрова и поверхности Земли. Особенно велико влияние передаточной функции атмосферы в направлениях, близких к горизонту. Здесь изменение видимых из космоса контрастов столь велико, что практически невозможно различать детали облачного покрова.

С целью повышения контрастов фотографических и телевизионных изображений при регистрации из космоса широко используются многозональное фотографирование, фотографирование на цветную фотопленку и цветное телевидение. Для

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

этой цели на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7» была установлена многозональная фотоаппаратура МКФ-6М, позволяющая проводить съемку в шести диапазонах видимой



Семейство циклонических возмущений.

и ближней инфракрасной области спектра, использовались аппараты для фотографирования на цветную фотопленку и цветное телевидение. Идея многозонального фотографирования,

цветного фотографирования и цветного телевидения состоит в том, что разные детали регистрируемого изображения имеют различные контрасты в разных диапазонах спектра. С помощью многозональной фотоаппаратуры можно получить изображения облачного покрова и поверхности Земли, гораздо более богатые деталями, чем при фотографировании в одном диапазоне спектра. Цветные фотографии, сделанные с борта космического корабля, позволили обнаружить новые процессы в облачном покрове, в Мировом океане и на поверхности Земли. В частности, было замечено, что облачные образования над океаническими течениями во многом повторяют находящиеся под ними завихрения и температурные фронты.

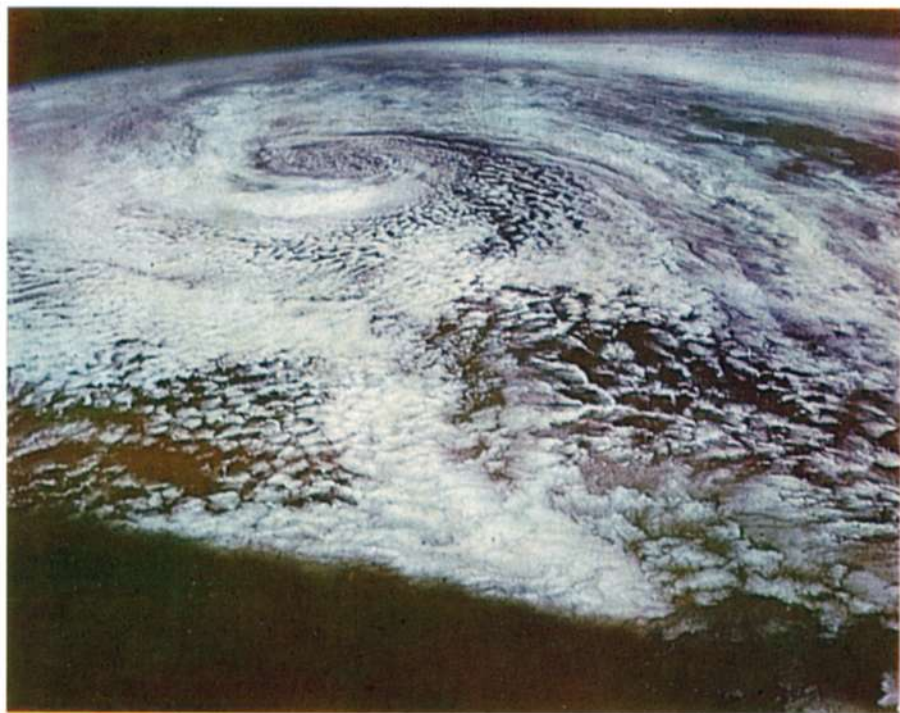
Наиболее полную картину (с точки зрения световых и цветовых контрастов) облачного покрова дают визуальные наблюдения. По оценке космонавтов, основанной на результатах визуальных наблюдений, облачный покров охватывает до 70–80% поверхности Земли. По данным же фотографических и телевизионных изображений из космоса, степень покрытия облаками поверхности Земли будет несколько меньше. Однако здесь следует напомнить, что с помощью фотографирования и телевидения в отличие от визуальных наблюдений можно документировать регистрируемые картины облачного покрова, а с помощью телевидения еще и организовать оперативную передачу изображений на Землю.

Все это позволяет рекомендовать определенный порядок проведения исследований структуры облачного покрова и его взаимодействия с различными компонентами геосферы с пилотируемых космических кораблей на дневной стороне Земли. Наиболее полную картину облачного покрова дают визуальные наблюдения космонавтов либо с помощью оптических зрительных систем со сравнительно небольшим увеличением, либо просто через иллюминатор с записью и зарисовками результатов наблюдений. Визуальные наблюдения должны быть дополнены фотографированием на цветную пленку достаточно контрастных световых и цветовых картин и передачей цветного телевизионного изображения наиболее контрастных световых и цветовых картин.

При исследовании из космоса следует обратить внимание на возможность непосредственного наблюдения взаимодействия облачного покрова с различными компонентами геосферы, а также на возможность в ряде случаев определения

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

водяных облаков. Из космоса при благоприятных условиях на водяных облаках можно наблюдать такие оптические явления, как gloria и радуга. Глория видна на верхней поверхности водяных облаков при наблюдении в направлении тени от космического корабля на угловом расстоянии $1-2^\circ$ от линии Солн-



Циклон над Тихим океаном.

це — корабль — Земля. Это первый интерференционный максимум отражения солнечных лучей от сферических капелек воды. Второй интерференционный максимум отражения солнечных лучей от сферических капелек воды под углом около 42° от линии Солнце — корабль — Земля образует хорошо известную радугу, которую тоже можно иногда наблюдать из космоса. Такую радугу наблюдал из космоса В. В. Коваленок с «Салюта-6» в 1978 и 1981 гг. у кромки облачного покрова при под-

светке солнечными лучами капель падающего дождя. Оба эти явления глория и радуга позволяют определять водные облака непосредственно из космоса.

Во время мощных пыльных бурь и интенсивных извержений вулканов космонавты довольно часто наблюдали и фотографировали облака, подкрашенные пылью. Поэтому при наблюдении из космоса следует обращать внимание и на цвета, и на цветовые контрасты облачного покрова. Цветовые картины присущи и радужным облакам, существующим на высоте более 20 км от поверхности Земли. Напомним, что в радужных облаках цветовые картины возникают вследствие интерференции солнечных лучей на ледяных частицах облаков при наблюдении под небольшими углами рассеяния.

При визуальных наблюдениях космонавты могут различать степень чистоты атмосферы, которая является следствием различного содержания оптически активных компонентов (главным образом аэрозоля и паров воды). Наиболее удобно такие различия наблюдать в том случае, когда воздушные массы, различные по чистоте, находятся одновременно в поле зрения космонавта. Контрасты между такими воздушными массами обычно невелики, поэтому чаще всего они не регистрируются фотографической и тем более телевизионной аппаратурой. Из космоса неоднократно удавалось наблюдать интенсивное образование облачности и циклонических возмущений при встрече и столкновении таких различных воздушных масс. В частности, В. В. Коваленок несколько раз наблюдал с «Салюта-6» столкновения двух или трех воздушных потоков из северного и южного полушария в районе Бермудского треугольника, которое приводило к образованию крупномасштабных (до 1000 км и даже более) тропических циклонов. Появление редких облаков в районе столкновения воздушных потоков является индикатором процесса возникновения циклона.

При полете над сумеречной зоной условия наблюдения и регистрации облачного покрова заметно изменяются по сравнению с дневной стороной Земли. Это связано с тем, что существенно изменяются условия освещения облаков при изменении зенитного угла Солнца Z_{\odot} . Естественно, что яркость облаков в сумеречной зоне зависит не только от Z_{\odot} , но и от стратификации атмосферы и особенно от содержания основных оптически-активных компонентов: аэрозоля и водяно-

го пара. Для приближенных оценок можно считать, что при $Z_{\odot} = 90^{\circ}$ яркость облаков около 10^2 кд/м², при $Z_{\odot} = 95^{\circ}$ около 1 кд/м², при $Z_{\odot} = 100^{\circ}$ около 10^{-2} кд/м² и при $Z_{\odot} = 105^{\circ}$ около $5 \cdot 10^{-4}$ кд/м². Напомним, что при $Z_{\odot} < 108^{\circ}$ орбитальные станции типа «Салют», высота орбиты которых около 350 км, еще освещены прямым солнечным излучением, поэтому при анализе возможности наблюдения облачного покрова и поверхности Земли необходимо учитывать и яркость иллюминаторов. Особенно велика яркость иллюминаторов, освещенных прямым солнечным излучением. В связи с этим наблюдения и регистрацию облачного покрова в сумеречной зоне следует проводить через иллюминаторы, на которые не попадает прямое солнечное излучение.

Ухудшение условий наблюдения облачного покрова из космоса в сумеречной зоне связано также и с ухудшением пороговых значений световых и особенно цветовых контрастов зрительной системы при резком уменьшении яркости наблюдаемых картин облачного покрова и поверхности. Особенно существенное ухудшение пороговых контрастов зрительной системы будет при $Z_{\odot} > 100^{\circ}$, когда яркость облачного покрова будет меньше 10^{-2} кд/м². При $Z_{\odot} > 100^{\circ}$ пороговые контрасты зрительной системы будут примерно такими же, как и для фотографической аппаратуры, а при $Z_{\odot} > 105^{\circ}$ даже хуже. Однако и при фотографировании, и при передаче телевизионных изображений в таких условиях возникают серьезные трудности, связанные с созданием высокочувствительной фотопленки и телевизионной аппаратуры.

На ночной стороне Земли визуальные наблюдения и регистрация облачного покрова в видимой области спектра возможны практически только в лунные ночи. При полной Луне яркость облаков на ночной стороне Земли составляет около 10^{-2} кд/м², а в безлунную ночь около $(1 \div 2) \cdot 10^{-4}$ кд/м². Поэтому при подсветке от Луны космонавты могут наблюдать наиболее контрастные картины облачного покрова, акватории и поверхности Земли, а регистрация возможна только с использованием высокочувствительной фотопленки и телевизионной аппаратуры. Для регистрации облачного покрова на ночной стороне Земли наиболее благоприятные условия в окне прозрачности атмосферы 8—14 мкм, в котором сравнительно холодные облака будут выделяться на фоне более теплой и, следовательно, более яркой поверхности Земли. Правда, при

этом при регистрации тепловизионной аппаратурой облака будут выглядеть более темными образованиями на фоне сравнительно светлой поверхности Земли.

5.2. Взаимодействие облачного покрова с динамическими образованиями на поверхности океана

Космические методы исследования исключительно удобны для изучения структурных форм облачного покрова над морями и океанами. Наибольший интерес в этой проблеме представляют процессы возникновения и существования циклонов и тайфунов и взаимодействие облачного покрова с мощными океаническими течениями. Одним из первых циклоны и тайфуны наблюдал из космоса Г. Т. Береговой во время полета на космическом корабле «Союз-3» в октябре 1968 г. В дальнейшем наблюдения и фотографирование циклонов и тайфунов проводили многие советские космонавты. В январе 1969 г. экипажи космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» наблюдали грозы, циклоны и облачные вихри. Сообщения космонавтов позволили в ряде случаев уточнить положение циклонов и рассчитать скорость их движения [97]. Наблюдения и фотографирование циклонов были включены в программу группового полета трех космических кораблей «Союз-6, -7 и -8» в октябре 1969 г. В. А. Шаталов и А. С. Елисеев 16 октября 1969 г. с космического корабля «Союз-8» наблюдали мощный циклон над Африкой, обширные циклоны над Атлантическим океаном юго-восточнее Кубы и юго-западнее Великобритании, сфотографировали ураган у берегов Северной Америки, а 17 октября 1969 г. наблюдали и фотографировали мощный циклон у берегов Камчатки и Сахалина. С космических кораблей «Союз-6, -7 и -8» на протяжении всего полета проводились наблюдения за возникновением циклонов и тайфунов, их развитием и перемещением.

Наблюдения и фотографирование циклонов и тайфунов были включены и в программу полета космического корабля «Союз-9». Космонавты А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов в июне 1970 г. неоднократно наблюдали штормы и тропические циклоны и передавали результаты этих наблюдений на Землю, где они использовались в работе службы погоды. На шестой день полета космонавты сооб-

шили, что поверхность Земли на трассе полета космического корабля «Союз-9» примерно на 80% была покрыта облаками. Облачные образования при лунном освещении были видны и на ночной стороне Земли.

Наблюдения облачного покрова и циклонов проводились и с орбитальной станции «Салют» в июне 1971 г. В. И. Пацаев в записной книжке, которую он вел на борту «Салюта», отметил, что облачные полосы на ночной стороне видны при Луне и без нее. 21 июня 1971 г. космонавты обнаружили и провели фотосъемку циклона в районе Гавайских островов. О своих наблюдениях Г. Т. Добровольский, В. Н. Волков и В. И. Пацаев регулярно докладывали Центру управления полетом во время сеансов радиосвязи. 22 июня 1971 г. в 02 ч 01 мин Г. Т. Добровольский доложил о том, что в Тихом океане северо-западнее Гавайских островов в районе около 30°N и $\Lambda 168^{\circ}$ космонавты обнаружили и сфотографировали мощный циклон. В этот же день Волков доложил о наблюдении циклона в 06 ч 36 мин в районе Австралии на $\Lambda 125^{\circ}$, а в 17 ч 48 мин в южной части Индийского океана с координатами примерно 45°S и $\Lambda 60^{\circ}$. 24 июня 1971 г. в 01 ч 06 мин Волков наблюдал циклон южнее Африки около 50°S и $\Lambda 29^{\circ}$. На следующий день в 03 ч 22 мин над Филиппинским морем около 12°N и $\Lambda 128^{\circ}$ командир экипажа Добровольский зарегистрировал тайфун. Еще через два дня 27 июня 1971 г. в 13 ч 39 мин В. Н. Волков наблюдал зарождение мощного циклона южнее Африки, около 46°S и $\Lambda 22^{\circ}$ [180].

Регулярные наблюдения облачного покрова над морями и океанами вели В. В. Коваленок и А. С. Иванченков во время полета в качестве основного экипажа второй экспедиции на орбитальной станции «Салют-6». Наиболее интересные структурные формы облачного покрова над морями и океанами космонавты зафиксировали в боржурналах [14].

Коваленок и Иванченков вели наблюдения за тропическими циклонами. Юго-западнее Индонезии 2 августа космонавты наблюдали зарождение тропического циклона с ярко выраженными спиралеобразной структурой и глазом бури. По визуальной оценке космонавтов, диаметр этого циклона достигал примерно 100 км. 7 августа 1978 г. западнее Калифорнии в районе около 30°N и $\Lambda 240^{\circ}$ В. В. Коваленок и А. С. Иванченков отметили слой облачности,

5.2. Взаимодействие облачного покрова с динамическими...

в котором появились первые признаки зарождающейся вихревой структуры.

21 августа 1978 г. космонавты восточнее Австралии в районе около 34°N и 1170° наблюдали мощный циклон диаметром примерно 100 км с хорошо выраженным глазом

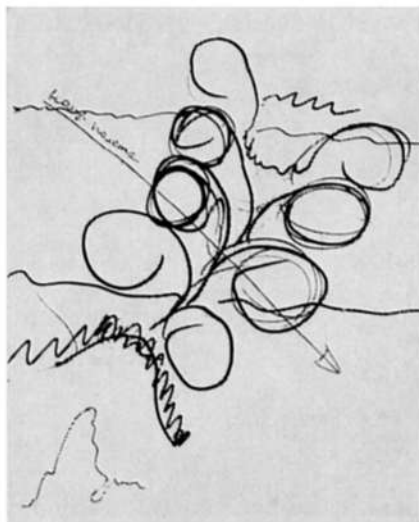


Рис. 5.1. Семейство циклонических возмущений в районе Бермудских островов. «Салют-6», 17 сентября 1978 г. [14].

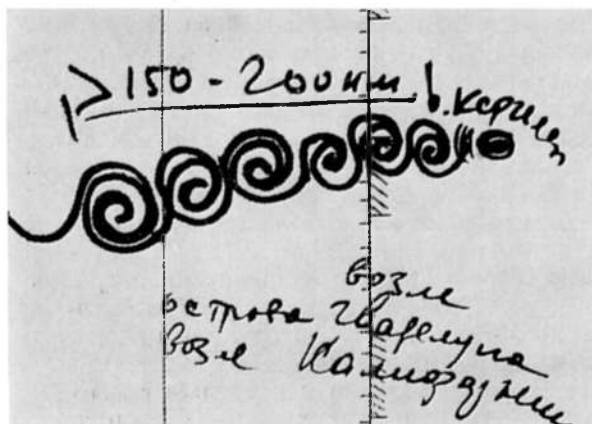


Рис. 5.2. Семейство циклонических возмущений в районе о. Кергелен. «Салют - 6», 29 сентября 1978 г. [14].

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

бури в центре. Еще один циклон они зарегистрировали 31 августа 1978 г. восточнее Японии в районе около 38°N и $\Lambda 155^{\circ}$. 17 сентября 1978 г. космонавты обнаружили семейство циклонов в районе Бермудских островов (рис. 5.1). Первую область циклонических возмущений они заметили в 14 ч 32 мин, вторую — на расстоянии 400–500 км от первой, третью область космонавты увидели слева от трассы

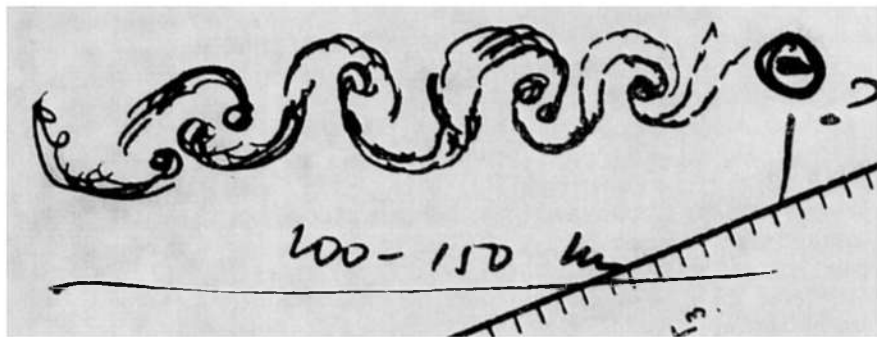


Рис. 5.3. Область циклонических возмущений восточнее Новой Зеландии. «Салют-6», 30 октября 1978 г. [14].

полета в 14 ч 37 мин, а четвертую на следующем витке в 16 ч 05 мин справа от трассы полета.

19 сентября 1978 г. с «Салюта-6» космонавты обнаружили образование тайфуна между Японией и Гавайскими островами, 29 сентября 1978 г. — в районе о. Кергелен, около острова Гваделупа и вблизи Калифорнии (рис. 5.2). Диаметр циклонических возмущений, обнаруженных космонавтами 19 и 29 сентября 1978 г., превышал 150–200 км.

Наблюдения с «Салюта-6» продолжались и в октябре 1978 г.: 11 октября В. В. Коваленок и А. С. Иванченков зарегистрировали область циклонических возмущений в районе Галапогосских островов около 2°S и $\Lambda 270^{\circ}$, 21 октября два тайфуна: Филиппс северо-западнее Марианских островов в районе около 24°N и $\Lambda 155^{\circ}$ и Рита в районе Маршалловых островов около 11°N и $\Lambda 164^{\circ}$, 30 октября циклонические возмущения восточнее Новой Зеландии (рис. 5.3).

Тропические циклоны над морями и океанами космонавты наблюдали в сравнительно узких полосах тропиче-

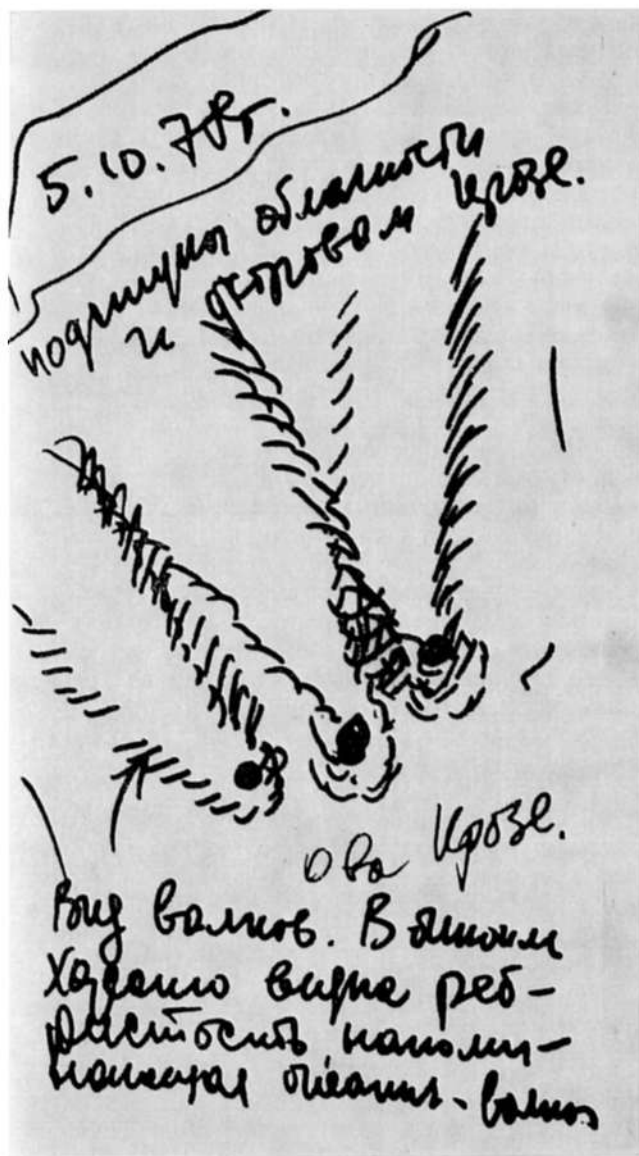


Рис. 5.4. Структура орографических облаков в районе островов Козле. «Салют-6», 5 октября 1978 г. [14].

ской зоны по обе стороны от экватора. Области циклонических возмущений образуются, как правило, на границе столкновения теплого и холодного атмосферных фронтов, где создаются условия, необходимые для возникновения огромных вихревых образований. На земном шаре в среднем за год образуется около 80 тропических циклонов.

Образование тропических циклонов связано, скорее всего, с мощными теплыми океаническими течениями, особенно в зонах дивергенции и конвергенции. Возможно также, что области наиболее вероятного образования тропических циклонов в какой-то мере связаны и с энергоактивными зонами в Мировом океане, являющимися, по идее Г. И. Марчука, своеобразными «генераторами погоды».

Основным источником энергии тропических циклонов является солнечная энергия, которая сначала поглощается толщей океанской воды, затем переходит в скрытую теплоту и выделяется в огромном количестве при конденсации паров воды в восходящих воздушных потоках. В стадии образования циклон охватывает лишь нижнюю часть тропосферы, а при дальнейшем развитии может распространяться на всю тропосферу и стратосферу. В ряде случаев влияние циклонических возмущений может распространяться и на более высокие слои атмосферы: мезосферу и ионосферу. В частности, это проявляется в возникновении внутренних гравитационных волн, являющихся причиной горизонтальной неоднородности мезосферы и ионосферы, которую из космоса можно наблюдать в виде вертикально-лучевой структуры ночного и сумеречного излучения верхней атмосферы. Обращает на себя внимание также некоторая корреляция между районами преобладающего возникновения и распространения тропических циклонов и районами, в которых из космоса наблюдались серебристые облака (см. рис. 5.16).

При образовании и перемещении тропических циклонов определяющую роль играет циркуляция вод в океанах, от которой зависят и структурные формы облачности в нижней части тропосферы. Циркуляция вод в океанах связана с целым рядом факторов. К ним относятся действие силы трения между водой и воздухом, движущимся над поверхностью океана, возникающими в воде градиентами давления и приливообразующими силами Солнца и Луны. По-

верхностные океанические течения до глубины 150–200 м возникают в основном под действием ветра (такие течения называют ветровыми). В тропических широтах под действием северо-восточных и юго-восточных пассатов образуются мощные пассатные течения, пересекающие океан с востока на запад. Пассатные течения северного и южного полушария разделяются зоной межпассатных (экваториальных) течений, движущихся с запада на восток. У восточных берегов материков пассатные течения отклоняются в сторону полюсов и движутся вдоль материков до широт 40–45°, где под действием западных ветров отклоняются на восток, образуя в южном полушарии охватывающее весь земной шар течение Западных Ветров (знаменитые ревушие сороковые широты), а в северном – Северо-Атлантическое и Северо-Тихоокеанское течения. У западных берегов материков ветви течений умеренных широт отклоняются в сторону экватора, где они сливаются с пассатными течениями и замыкают субтропические антициклонические круговороты.

Интересно отметить, что по одному из таких субтропических антициклонических круговоротов совершал свои знаменитые путешествия Христофор Колумб. От берегов Пиринейского полуострова до Канарских островов его суда шли по Канарскому течению. К югу от этих островов это течение круто поворачивает на запад и сливается с Северным Пассатным течением, по которому в 1492 г. корабли Колумба под действием северо-восточных пассатов сравнительно быстро достигли Антильских островов. Возвращался Колумб в Лиссабон в 1493 г. по Гольфстриму и Северо-Атлантическому течению мимо Азорских островов, пройдя практически по всему замкнутому субтропическому антициклоническому круговороту. В дальнейшем все парусные суда на линиях, связывающих Испанию и Португалию с Центральной и Южной Америкой, использовали эту трассу – на запад через Канарские острова и на восток – через Азорские острова. Кстати, и возникающие в Сахаре мощные пылевые облака перемещаются под действием северо-восточных пассатов вдоль Северного Пассатного течения Атлантического океана, нередко достигая берегов Америки.

К мощным поверхностным течениям относятся также

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

Гольфстрим и Куроисио (теплые течения), Лабрадорское, Бенгельское, Курильское и Перуанское (холодные течения). Кроме поверхностных течений, в циркуляции вод в океанах большую роль играют и глубинные течения, образующиеся в основном вследствие разности плотности в толще океана.



Фронтальная облачность над океаном.

В океанах происходит и непрерывный обмен между глубинными и поверхностными водами, при этом глубинные воды поднимаются на поверхность, а поверхностные опускаются в глубину по краям поверхностных течений, образуя медленные кольцевые течения — ринги (или синоптические вихри). Синоптические вихри оказывают большое влия-

ние на формирование погоды, в том числе и на образование областей циклонических возмущений.

В Мировом океане тропические циклоны зарождаются, как правило, в определенных районах. В Тихом океане наиболее часто они возникают в его западной части (до



Циклон над Южной Америкой.

$\Delta 170^\circ$) к северу от экватора, т. е. к востоку от Филиппинских островов и в Южно-Китайском море. Эти циклоны обычно называют тайфунами. В среднем в год возникает около 30 тайфунов. В этом районе существует зона дивергенции, резко изменяется вектор скорости теплого Северного Пассатного течения. Здесь течение в основном поворачи-

вает на север и сливается с теплым течением Куросио и лишь незначительная его часть отклоняется на юг и сливается с Межпассатным (Экваториальным) течением. Здесь же находится и одна из энергоактивных зон Мирового океана. Возникающие в этом районе тайфуны, перемещаясь к западу и северо-западу, проходят через Филиппинские острова и достигают берегов Индокитая, Китая и Кореи. При последующем изменении направления на северное или северо-восточное (по направлению движения Куросио) некоторые тайфуны достигают Южной Японии, а в ряде случаев Сахалина, советского Приморья и даже Камчатки.

К районам, где в основном возникают тропические циклоны, относятся также следующие области:

- в Тихом океане к западу от Калифорнии и Мексики, где в зоне дивергенции Калифорнийское течение расходится на две теплые ветви, постепенно сливающиеся с Северным Пассатным течением, и к востоку от Новой Гвинеи, где изменяет свое направление теплое Южное Пассатное течение;

- в Атлантическом океане в районе Бермудского треугольника, где теплое Северное Пассатное течение сливается с Антильским и зарождается Гольфстрим (здесь также находится одна из энергоактивных зон Мирового океана);

- в Индийском океане к востоку от Мадагаскара и к северо-западу от Австралии, где изменяет свое направление теплое Южное Пассатное течение, и на севере, в Бенгальском заливе и Аравийском море, где изменяет свое направление теплое Северо-Восточное Муссонное течение.

Одним из районов зарождения циклонов вне тропической зоны является юго-западная часть Индийского океана, где холодное течение Западных Ветров встречается с теплым течением мыса Игольного.

Проводимые космонавтами систематические наблюдения облачного покрова над морями и океанами позволяют высказать некоторые соображения о взаимосвязи крупномасштабной структуры облачного покрова с мощными океаническими течениями. По данным наблюдений космонавтов, крупномасштабная структура движения облаков нижнего яруса (локализованных в пограничном слое) подчеркивает направление движения мощных океанических течений. Наблюдая за движением облачности нижнего яруса с орбитальной станции «Салют-6» В. В. Коваленок высказывает

предположение [14] о том, что узловыми точками глобальных океанических течений являются районы о. Кергелен, расположенного в юго-западной части Индийского океана, и о. Буве, находящегося в юго-восточной части Атлантического океана. Действительно, здесь от огибающего весь земной шар на сороковых широтах южного полушария течения Западных Ветров ответвляется несколько течений около африканского и австралийского континентов. Здесь же расположен и один из районов преобладающего возникновения внетропических циклонов. Изучение динамики облачного покрова нижнего яруса позволили В. В. Коваленку и А. С. Иванченкову во время полета на орбитальной станции «Салют-6» прогнозировать состояние облачного покрова над отдельными регионами земного шара на несколько дней вперед. В качестве примера приведем одну из записей в бортжурнале Коваленка [14]:

«Предположение, что 4.10.78 южное побережье Африки будет закрыто облачностью, сбылось. Сбылось точно к тому же суточному витку. Предположение о закрытии побережья было сделано 1.10.78 на основании отслеживания течения облачности с акватории о. Буве синхронно с океаническими течениями, идущими к побережью Африки.

У южной оконечности течение раздваивается между Африкой и Мадагаскаром, с одной стороны, и вдоль западного побережья Африки и островов Зеленого Мыса — с другой...»

В юго-западной части Индийского океана В. В. Коваленок и А. С. Иванченков в начале октября 1978 г. неоднократно наблюдали орографические облака, форма которых определялась направлением ветра, а также положением и высотой горных вершин островов Кергелен и Крозе (рис. 5.4). В бортжурнале Коваленок делает соответствующую запись [14]: «Подступы облачности к островам Крозе. Вид валков. В бинокль хорошо видна ребристость, напоминающая океанические волны».

Интересны результаты выполненных В. В. Коваленком наблюдений облачного покрова над «подвижными» и «неподвижными» регионами Мирового океана. Над «неподвижными» регионами облака «возникают аморфно, растекаются слабо и растворяются». Над районами океанических течений облака текут как бурные реки, за сутки проходят 1000–2000 км» [14].

При наблюдении грозовых фронтов и грозовых разрядов с «Салюта-6» В. В. Коваленок обратил внимание на их связь со структурой и динамикой облачных образований и их географическим положением. Как правило, наиболее интенсивная грозовая деятельность наблюдалась в узкой зоне между 20° с. ш. и 20° ю. ш. Интенсивная грозовая деятельность была замечена также в западной части Тихого океана, прилегающей к Японским и Курильским островам, в западной части Атлантического океана у берегов США до 40° с. ш. В результате этих наблюдений Коваленок высказал предположение о том, что существует несколько районов наиболее быстрого формирования крупномасштабных циклонов с интенсивной грозовой деятельностью. К ним относятся районы Бермудского треугольника, Большого Антильского архипелага и Филиппинских островов, район Тихого океана восточнее Кораллового моря. Многократные наблюдения за образованием циклонов в этих районах показали, что они образуются при столкновении воздушных потоков, движущихся из высоких широт в сторону экватора из северного и южного полушария параллельно крупным океаническим течениям.

Особое внимание было уделено району Бермудского треугольника. По наблюдениям В. В. Коваленка, в этом районе происходит встреча не двух воздушных потоков с севера и юга, а трех, при этом третий поток ориентирован параллельно



Тайфун Рита над юго-восточной частью Тихого океана.

пассатному течению и направлен в сторону Бермудского треугольника через зону Панамского канала и Карибского моря. Возможно, что это и определяет особенности Бермудского треугольника, как мощной энергоактивной зоны, привлекающей к себе всеобщее внимание многочисленными легендами, связанными с гибелью самолетов и судов. Ни судовые, ни самолетные наблюдения не позволяли обнаружить эти особенности Бермудского треугольника, своевременно предсказать характер атмосферных процессов и предупредить о надвигающейся опасности экипажи летательных аппаратов и морских судов. И только визуальные наблюдения с космического корабля, охватывающие расстояние до 2000 км, позволили обнаружить эту особенность атмосферных процессов в районе Бермудского треугольника и определить зарождение мощных циклонов за время, не превышающее 3–4 ч. Из космоса зарождение циклонов при встрече двух или трех безоблачных воздушных потоков с быстрым образованием циклонической области, наблюдалось, как правило, в виде диска диаметром от нескольких сотен до почти тысячи километров.

Ночью эти образования подчеркивались интенсивной грозовой деятельностью, которая чаще всего носила очаговый характер, но иногда охватывала и весь циклон. Разряды молний над циклоном были непрерывно видны в разных направлениях, и их протяженность достигала не-

скольких сотен километров. В грозовой деятельности над тайфунами наблюдаются разряды непрерывно вращающиеся в свободном от облаков глазе тайфуна. В частности, это явление В. В. Коваленок и А. С. Иванченков наблюдали в глазе циклона Рита в Тихом океане 21 октября 1978 г. В этом же регионе были замечены грозовые разряды, простирающиеся по всему диаметру тайфуна и достигающие по протяженности до тысячи километров. Блики от подобного рода грозовых разрядов космонавты отчетливо наблюдали на элементах конструкции орбитальной станции «Салют-6» в виде голубого свечения.

На полученной Коваленком фотографии тайфуна Рита над относительно гладкой поверхностью облачного покрова выделяется ряд образований. По описанию Коваленка, это области с практически непрерывными грозовыми разрядами. Днем они выделяются повышенной яркостью, а ночью в них непрерывно видны грозовые разряды. По его наблюдению, в отдельные моменты времени грозовые разряды пронизывали всю циклоническую область, группируясь в основном около центра тайфуна. Максимальная протяженность грозового поля в такие моменты достигала диаметра тайфуна, т. е. составляла около 1000 км.

Огромные грозовые поля космонавты наблюдали и до полета второй экспедиции на «Салюте-6». Напомним, что первые грозы из космоса наблюдали А. Г. Николаев и П. Р. Попович в августе 1962 г. Огромные грозовые поля с тысячами одновременно бушующих гроз наблюдал Г. С. Шонин в октябре 1969 г. В. И. Севастьянов и П. И. Климук 22 июня 1975 г. наблюдали мощный грозовой фронт над Африкой в районе терминатора. По впечатлению В. И. Севастьянова, грозовые разряды из космоса были очень похожи на солнечные флоккулы, а П. И. Климук даже сравнивал их с розами.

Мощный грозовой фронт в августе 1976 г. при полете на орбитальной станции «Салют-5» над Северной Америкой видели Б. В. Вольнов и В. М. Жолобов. Большую часть горизонта освещали гигантские потоки молний, а континент покрывали густые облака, напоминавшие украшения из крема на торте.

Огромные грозовые поля над Юго-Восточной Азией, Вьетнамом и Индией наблюдали В. В. Коваленок и В. В. Рюмин в октябре 1977 г. По визуальной оценке космонавтов, размеры

этого поля составляли около 1000×1000 км², т. е. поле имело те же размеры, что и тайфун Рита, который Коваленок наблюдал через год. В этом случае, как и над тайфуном Рита, грозовые разряды были видны то одновременно на большой площади, то в отдельных участках грозового поля.

Приведенные здесь результаты исследований структурных форм облачного покрова над океанами показывают исключительные возможности космических методов исследования. При этом особенно эффективны систематические визуальные наблюдения космонавтов с последующей фоторегистрацией наиболее интересных и достаточно контрастных картин облачного покрова. Изучение динамических картин облачности возможно и методом замедленной киносъемки с последующей точной пространственной ориентацией регистрируемых картин.

Большая обзорность космических методов исследования в сочетании с высокой контрастной чувствительностью зрительной системы позволяет проводить детальные исследования структуры облачного покрова как в региональном, так и в глобальном масштабе. Для этого необходима соответствующая подготовка космонавтов и разработка программ целенаправленных экспериментов.

5.3. Дневной горизонт

При наблюдении из космоса у горизонта Земли отчетливо проявляется достаточно сложная, чаще всего слоистая структура атмосферы, неоднородная как по высоте, так и по глобальному распределению. На ночном горизонте Земли хорошо видны эмиссионные слои верхней атмосферы и области свечения полярных сияний, на сумеречном горизонте — серебристые облака и изменяющаяся в зависимости от стратификации атмосферы и угла погружения Солнца структура сумеречного ореола атмосферы Земли. На дневном горизонте наиболее отчетливо проявляется слоистая структура облачного покрова и атмосферного аэрозоля. Атмосферный аэрозоль является одним из самых активных оптических компонентов атмосферы, оказывающим существенное влияние на ее оптические характеристики и радиационный режим.

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

С самолетов, аэростатов, геофизических ракет или при лазерном зондировании с поверхности Земли можно исследовать только высотное распределение атмосферного аэрозоля, причем для ограниченного региона. Исследования же из космоса позволяют получить данные о глобальном пространственно-временном распределении, но в основном для стратосферного аэрозоля. Исследования тропосферного аэрозоля из космоса,

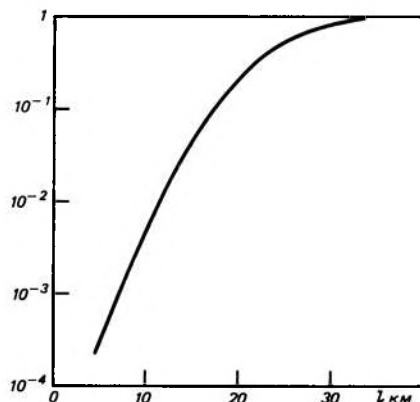


Рис. 5.5. Прозрачность чистой безоблачной атмосферы τ в видимой области спектра при наблюдении из космоса в зависимости от перигея линии визирования для горизонтальной видимости 23 км [82].

по-видимому, мало эффективны вследствие сильного молекулярного рассеяния и поглощения атмосферы и экранирования тропосферными облаками. В качестве примера на рис. 5.5 приведены данные о прозрачности чистой безоблачной атмосферы в видимой области спектра при наблюдении из космоса в зависимости от перигея линии визирования (для горизонтальной дальности видимости 23 км) [82].

Первым из космоса дневной горизонт Земли увидел Ю. А. Гагарин с космического корабля «Восток» 12 апреля 1961 г. Он увидел очень красивый голубой ореол с плавными переходами цветов от нежно-голубого через голубой, синий, фиолетовый в совершенно черный цвет космоса. Такой же голубой ореол наблюдал Г. С. Титов с космического корабля «Восток-2» 6 и 7 августа 1961 г., а в дальнейшем и другие космонавты и астронавты.

К. П. Феоктистов сделал более подробное описание дневного горизонта Земли, который он наблюдал с космического корабля «Восход» 12–13 октября 1964 г. По его рассказу «он светлый, беловатый, потом становится голубее» [117]. Феокти-

стов наблюдал до трех слоев яркости и обратил внимание на то, что верхние слои яркости нестабильны и изменчивы. Через пять месяцев, в марте 1965 г., слои яркости на дневном горизонте Земли наблюдал А. А. Леонов с космического корабля «Восход-2». После полета он написал картину «Земля голубая», на которой изображен дневной горизонт с тремя слоями яркости. Леонов также обратил внимание на нестабильность и изменчивость верхних слоев яркости. Результаты этого наблюдения он использовал при написании картины «Разорванные слои яркости», на которой дневной горизонт Земли изображен в виде двух слоев яркости: нижнего, стабильного, и верхнего, разорванного на отдельные слоистые образования.

Подробное описание и зарисовку видимого горизонта Земли на дневной стороне сделал П. И. Климука во время полета на борту орбитальной станции «Салют-4» в 1975 г. [122]. На зарисовке в его бортжурнале на дневном горизонте непосредственно у края диска Земли виден слой, напоминающий серую прозрачную облачность. Это тропосферный слой, над морем он бывает голубовато-серым. Над тропосферой — синяя полоска, над которой, по описанию Климука, расположен первый слой яркости на высоте около 20 км от поверхности Земли. Это хорошо известный стратосферный аэрозольный слой Юнге. Из космоса он виден всегда в виде четко очерченного тонкого слоя. Над слоем Юнге располагается еще одна синяя полоска, над которой второй слой яркости в виде более бледной расплывчатой и разлохмаченной полосы. При этом, по наблюдению П. И. Климука, второй слой яркости виден не всегда, иногда на его месте виден не один, а два расплывчатых и разлохмаченных слоя яркости, разделенных синим фоном. Это второй стратосферный аэрозольный слой, расположенный на высоте 30—35 км. Синие полоски между слоями — зоны очищения, где плотность аэрозоля значительно меньше, чем в аэрозольных слоях.

Пространственно-временная неоднородность и нестабильность стратосферных аэрозольных слоев нашли свое отражение и в существенных различиях аэрозольных моделей. В качестве примера на рис. 5.6 приведены вертикальные профили аэрозольного коэффициента ослабления для длины волны $\Lambda = 0,55$ мкм. Различия отражают не только ошибки экспериментов, но и пространственно-временную изменчивость тропосферного и особенно стратосферного аэрозоля.

Облака сосредоточены в основном в нижней части атмосферы — тропосферы, которая простирается в среднем на высоте 8—10 км в полярных широтах, 10—12 км в средних широтах и 16—18 км в тропических. Температура воздуха на верхней границе тропосферы — в тропопаузе — меняется от $-40 \div -60^\circ\text{C}$ в полярных и средних широтах до $-70 \div -80^\circ\text{C}$

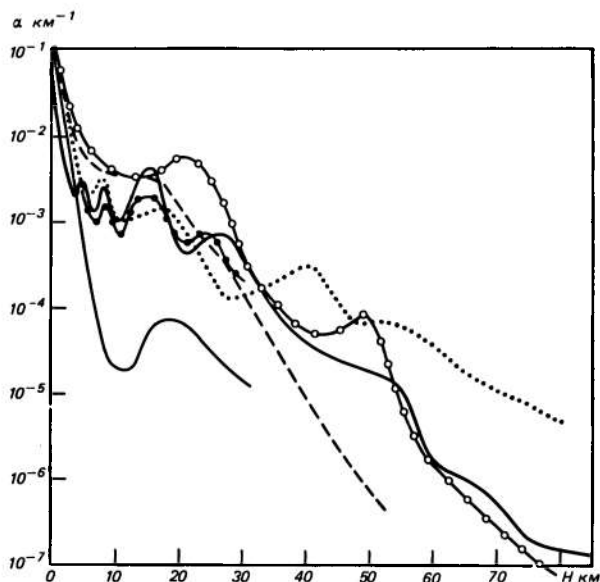


Рис. 5.6. Вертикальные профили коэффициента аэрозольного ослабления α для длины волны 0,55 мкм, полученные разными авторами.

в экваториальных. В тропосфере сосредоточена большая часть атмосферной воды (в виде пара и облаков), и поэтому в ней возникают в основном все облака. Еще выше в стратосфере на высоте 20—30 км могут существовать перламутровые (радужные) облака, а на верхней границе мезосферы — в мезопаузе — на высоте 80—85 км серебристые облака.

В тропосфере с высотой температура понижается в среднем на $0,6^\circ\text{C}$ на 100 м. Однако в каждом отдельном случае это изменение температуры с высотой может быть различным: от 1°C на 100 м до отрицательных значений, т. е. до возрастания температуры с высотой. Перепады температур на различных высотах приводят к вертикальным перемещениям воздуха. При этом влажный воздух при подъеме вверх охла-

ждается слабее, поскольку при подъеме происходит выделение тепла при конденсации водяного пара. При опускании вниз воздух нагревается аналогичным образом. Чем больше перепады температур, тем интенсивнее вертикальные перемещения воздушных масс. Вместе с воздухом происходят и вертикальные перемещения облачных масс, образуя облака вертикального развития. Тропосферные перистые и кучево-дождевые облака вертикального развития нередко могут проникать и в стратосферу, достигая высоты 16—18 км.

Из космоса облака вертикального развития впервые наблюдал А. А. Леонов с космического корабля «Восход-2» в марте 1965 г. Подобные облака он изобразил на картине «Мощные барические образования». На этой картине облака имеют сравнительно неширокое основание и растянутые плоские вершины с причудливыми очертаниями. В августе 1974 г. облака вертикального развития наблюдали Л. С. Демин и Г. В. Сарафанов с борта космического корабля «Союз-15» [47]. Экипажу удалось заметить процесс возникновения облачности и ее структуру в восходящих и нисходящих потоках. Космонавты видели как «сплошную ровную облачность, занимавшую все видимое пространство в иллюминаторе, так и облачность, напоминавшую лунную поверхность, изрытую кратерами». Кратерами космонавты назвали просветы в облаках. Демин и Сарафанов наблюдали и ровные ряды кучевых облаков, похожих на шапки. Эта картина, по словам космонавтов, напоминала цветущий весенний сад, видимый с горы, а облака были как цветущие деревья. В некоторых облачных образованиях космонавтам удалось заметить отдельные высокие облака, выступающие из общей массы, т. е. облака вертикального развития.

Анализ результатов наземных экспериментов показывает, что вероятность появления облаков верхнего яруса, в том числе и облаков вертикального развития, достаточно высока. В некоторых регионах она может превышать 50%. Наиболее часто облака верхнего яруса наблюдаются в низких широтах, несколько реже в средних широтах и еще реже в высоких, что связано с высотой тропосферы на соответствующих широтах.

Таким образом, на дневном горизонте Земли космонавт практически всегда видит сероватый (над океанами серовато-голубой) слой облачной или безоблачной тропосферы, через который не видно края диска Земли и прилегающих к нему

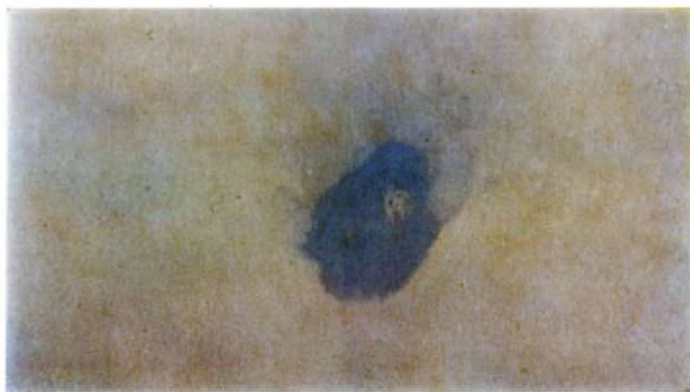
участков поверхности суши, морей и океанов. Высота этого слоя зависит от состояния облачности и содержания аэрозоля, водяного пара и озона в пригоризонтном слое атмосферы и составляет примерно 10—15 км. Над этим слоем из космоса практически всегда видна синяя полоска сравнительно чистой незамутненной атмосферы (зона очищения), а над ней сравнительно ярко светящийся и четко очерченный аэрозольный слой Юнге, расположенный на высоте около 20 км. На высоте 15—18 км в основном в низких широтах встречаются тропосферные облака вертикального развития.

Над слоем Юнге также практически всегда видна синяя полоска чистой незамутненной атмосферы на высоте 20—30 км, в которой иногда можно наблюдать перламутровые (радужные) облака. На высоте более 30 км в некоторых случаях можно наблюдать непостоянный и изменчивый второй стратосферный аэрозольный слой в виде более бледной расплывчатой и разлохмаченной полосы, иногда разделенной синей полоской на два слоя. Выше 35—40 км яркость атмосферы быстро уменьшается с высотой и при наблюдении через незащищенный от световых помех иллюминатор космонавт на высоте более 60—70 км не отличает атмосферу от темного фона космоса.

5.4. Пылевые облака

Пылевые облака (литометеоры) и порождающие их пыльные бури — явление, достаточно широко распространенное на нашей планете. Зарождение пыльных бурь и пылевых облаков чаще всего наблюдается над засушливыми районами поверхности Земли. Основным источником пыльных бурь является ветер. Для образования пыльных бурь достаточно, чтобы скорость ветра достигала 6—10 м/с. Пыльные бури и пылевые облака переносят огромное количество пыли на расстояния в сотни и тысячи километров, оказывая губительное воздействие на урожаи, принося огромный вред людям. Поразительно точно сумел отметить некоторые наиболее характерные особенности пыльных бурь Кейс: «Пыльная, или песчаная, буря в действительности такой же транспортирующий агент, как любая река. По сравнению с большой рекой это гигант среди потоков, несущих осадочный материал. Ширина такого потока

составляет 300—500 км по сравнению с 2—3 км для крупнейших рек. Он несется со скоростью 60 км/ч вместо 5—10 км/ч, переносит в сотни тысяч раз больше обломочного материала, громаднейшая часть которого выносятся из засушливых областей в полусухие и влажные области» [40].



Вулкан Тусиде, пустыня Сахара.

Основными очагами мощных пыльных бурь являются засушливые районы Сахары, Аравийского полуострова, Прикаспийской низменности, северо-восточного побережья Аральского моря и др. Самый крупный на Земле источник пыли — пустыня Сахара. По оценкам специалистов, ежегодно ветровые потоки поднимают в Сахаре от 60 до 200 млн. т пыли и переносят ее на сотни и тысячи километров. Исследования пыльных бурь имеют многолетнюю историю, однако принципиально новые результаты были получены с помощью космических экспериментов. С пилотируемых космических кораблей и автоматических искусственных спутников Земли были получены не известные ранее данные об очагах пыльных бурь и облаков, их размерах, динамике, направлениях переноса и т. д. Высокая обзорность космических методов исследования позволила изучать крупномасштабные пылевые образования.

В этом разделе будут рассмотрены в основном результаты визуальных наблюдений и инструментальных оптических исследований пылевых образований с советских пилотируемых космических кораблей. Выше уже упоминалось о преимуществах визуальных наблюдений, позволяющих уверенно фиксировать даже сравнительно малоконтрастные объекты и обра-

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

зования, что имеет существенное значение при изучении пылевых облаков из космоса.

Из космоса пыльные бури в Сахаре и порожденные ими пылевые облака наблюдали многие советские космонавты. Несколько раз наблюдали пыльные бури члены экипажа орби-



Нагорье Ахаггар в центре пустыни Сахары.

тальной станции «Салют». Одну из пыльных бурь они зарегистрировали 19 июня 1971 г. в 14 ч 58 мин при полете над Западной Сахарой в районе около 17°N и $\Lambda 344^{\circ}$ [180]. Мощную пыльную бурю, возникшую над Сахарой, наблюдали 23 июня 1975 г. П. И. Климук и В. И. Севастьянов с борта орбитальной станции «Салют-4» при полете над Атлантическим океаном. Пылевое облако от этой бури закрывало часть Средиземного моря, часть Италии и достигало Югославии.

Пыльные бури неоднократно наблюдали В. В. Коваленок и А. С. Иванченков во время полета на «Салюте-6» в 1978 г.

Во время одного из таких наблюдений они увидели огромное пылевое облако, возникшее над Сахарой и постепенно перемещавшееся практически вдоль Северо-Атлантического течения в западном направлении. Это облако пересекло Атлантический океан, прошло над Канарскими островами и почти достигло Саргассова моря. По наблюдению космонавтов пылевое облако постепенно рассеивалось, становилось менее плотным.

Мощную пыльную бурю над Африкой наблюдали В. А. Ляхов и В. В. Рюмин с борта орбитальной станции «Салют-6» в начале апреля 1979 г. Облако пыли от этой бури распространялось на огромную территорию.

Наблюдения космонавтов хорошо подтверждают результаты многолетних исследований распространения пылевых облаков, возникающих над Сахарой. С помощью космических экспериментов и результатов комплексных экспериментов ПИГАП было установлено, что ежегодно над Атлантическим океаном пылевые облака переносят 25—50 млн. т минеральных частиц. Пылевые облака обычно существуют 5—6 дней, постепенно рассеиваясь по мере перемещения над Атлантическим океаном. Большая часть минеральных частиц выпадает на поверхность океана и участвует в образовании осадочных пород на дне. Плотность пылевого облака по мере его перемещения над океаном быстро падает от 10^4 — 10^5 м^{-3} у берегов Африки до 20 м^{-3} у берегов Америки. При этом более тяжелые частицы падают в океан, а наиболее легкие достигают берегов Америки. Больше всего частиц выпадает на поверхность океана на расстоянии менее 1000 км от места образования пылевого облака. Это приводит к тому, что у берегов Африки над морем почти всегда плохая видимость. Об этом знали еще древнегерманские мореплаватели, которые называли эти моря «темно-серыми».

Пылевые облака, возникшие над Сахарой, нередко перемещаются и в сторону Европы. При этом пылевые потоки через Средиземное море устремляются к Испании, Франции, Италии, а наиболее мощные из них достигают Северной Европы и Балканского полуострова. Одну из таких мощных пыльных бурь и наблюдали П. И. Климук и В. И. Севастьянов с борта орбитальной станции «Салют-4» в июне 1975 г.

Благодаря космическим исследованиям удалось существенно уточнить районы подъема пыли и перемещения пылевых облаков в Прикаспийской низменности. Снимки, полученные с метеорологического спутника 22 августа 1978 г., позволили выявить на северо-восточном побережье Каспийского моря «интересное и ранее не замечавшееся явление — мощный многоструйный пылевой вынос», что указывало «на наличие не одного, а нескольких очагов пыльных бурь» [40]. Предположение подтвердилось при анализе фотографий этого района, полученных В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым с космиче-

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ



Горы Куньлунь и северо-западная часть пустыни Такла-Макан.

ского корабля «Союз-12» в сентябре 1973 г. На этих фотографиях было видно шесть очагов пыльной бури и положение зоны активных очагов пылевых выносов, которые «находились в береговой полосе шириной около 50 км» [40]. Пыльную бурю в районе Прикаспийской низменности с борта орбитальной станции «Салют-6» 17 сентября 1978 г. наблюдали В. В. Коваленок и А. С. Иванченков. Эта буря возникла над полуостровом Мангышлак, где сильный ветер поднял частицы пыли с большой площади. Пылевое облако перемещалось в северном направлении и достигло устья Волги.

С орбитальной станции «Салют-5» Б. В. Вальнов и В. М. Жолобов в августе 1976 г. наблюдали пыльную бурю в пустыне Такла-Макан, расположенной в Западном Китае и являющейся одной из крупнейших песчаных пустынь мира. Пылевое облако от этой бури распространялось в восточном направлении и охватывало значительную территорию [155].

Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко во время полета на орбитальной станции «Салют-6» в декабре 1977 г. — марте 1978 г. регулярно передавали на Землю сведения о наблюдаемых из космоса стихийных бедствиях, в том числе и о пыльных бурях [156].

В августе 1982 г. А. Н. Березовой и В. В. Лебедев с борта орбитальной станции «Салют-7» засняли на пленку зарождение гигантской пыльной бури в пустыне Тар, расположенной на территории Индии и Пакистана. Образовавшееся огромное пылевое облако перемещалось в сторону Аравийского полуострова.

Наблюдения за пыльными бурями и дымовыми загрязнениями атмосферы по заданию специалистов проводили и члены экипажа второй экспедиции орбитальной станции «Салют-7» В. А. Ляхов и А. П. Александров в 1983 г.

Исследования мощных пыльных бурь и гигантских пылевых облаков с пилотируемых космических кораблей и автоматических искусственных спутников Земли показали, что пыль может перемещаться практически над любым районом Земли и, следовательно, это явление имеет глобальный характер. Возникновение пыльных бурь связано как с природными физико-географическими условиями, сложившимися в отдельных регионах планеты, так и в ряде случаев с хозяйственной деятельностью людей, приводящей к изменению этих условий. Поэтому изучение пылевых образований из космоса

имеет большое практическое значение. Исследования пыльных бурь и пылевых облаков включаются в программы практически всех долговременных экспедиций советских космонавтов.

5.5. Кажущееся увеличение и провалы в атмосфере

При наблюдении поверхности отдельных участков суши и акватории океанов, а также атмосферы из космоса у В. В. Коваленка несколько раз в течение небольшого отрезка времени возникало впечатление увеличенного изображения объектов и образований на поверхности Земли, как будто бы наблюдения проводились через увеличительное стекло. Первый раз такое ощущение возникло при наблюдении 27 июля 1978 г. около 6 ч по московскому времени гористого района на территории Ирана южнее Каспийского моря. У В. В. Коваленка создалось впечатление, что он видит центр вала с большим увеличением, а его края с несколько меньшим. Также с увеличением он видел овраги с очень крутыми склонами и песчаную осыпь. О подобных впечатлениях рассказывали А. А. Леонов, В. И. Севастьянов, Ю. Н. Глазков и другие советские космонавты. Описания некоторых из этих наблюдений приведены в главе 3.

Как уже отмечалось в главе 2, на наблюдаемые из космоса контрасты наземных объектов и образований существенное влияние оказывают передаточные функции атмосферы и иллюминатора, которые определяются их пропусканием и излучением. Поэтому одной из причин возникновения эффекта кажущегося увеличения наблюдаемых из космоса наземных объектов и образований может быть сравнительно резкое изменение передаточной функции атмосферы в отдельных регионах земного шара и передаточной функции иллюминатора при невысоком положении Солнца над горизонтом. Рассмотрим сначала влияние передаточной функции атмосферы.

На рис. 5.7 показана зависимость пороговых контрастов K^* от линейных размеров l объектов и образований при наблюдении из космоса в надир с высоты полета орбитальной станции «Салют-6» для различных значений передаточной функции атмосферы, а также без учета влияния атмосферы. Из сопоставления этих зависимостей для очень чистой безоблачной атмосферы и для обычной безоблачной атмосферы следует, что

возможность наблюдения наземных объектов и образований, имеющих контрасты 0,3–0,4 и линейные размеры 300–500 м, очень сильно зависит от передаточной функции атмосферы, т. е. от ее яркости и прозрачности, которые существенно отличаются для очень чистой и обычной безоблачной атмосферы. Примерно такой же характер носит влияние передаточной функции иллюминатора космического корабля. При этом

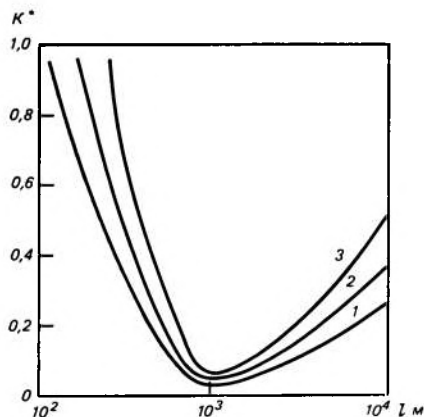


Рис. 5.7. Зависимость пороговых контрастов K^* зрительной системы космонавтов от линейных размеров L объектов и образований на поверхности Земли при наблюдении с высоты полета орбитальной станции «Салют-6» [14]. 1 — без учета влияния атмосферы, 2 — для очень чистой безоблачной атмосферы, 3 — для обычной безоблачной атмосферы.

сильно отличаются передаточные функции иллюминаторов, освещенных прямым солнечным излучением и освещенных только излучением Земли и атмосферы.

В связи с этим возможно, что при наблюдении в отдельных регионах планеты кажущийся эффект увеличения возникает у космонавтов в том случае, когда над ними образуется очень чистая незамутненная атмосфера и Солнце находится невысоко над горизонтом. При этом наблюдения проводятся через иллюминатор, который не освещается прямым солнечным светом. Для очень чистой незамутненной атмосферы характерна высокая прозрачность, а ее яркость невелика вследствие небольшого значения оптической толщины очень чистой атмосферы, а также вследствие того, что при наблюдении из космоса в надир при невысоком положении Солнца над горизонтом угол рассеяния близок к 90° (напомним, что коэффициент рассеяния атмосферы минимален при угле рассеяния 90°). Не исключено, что возможны и другие причины,

создающие кажущийся эффект увеличения наземных объектов и образований при наблюдении из космоса. В частности, он может быть связан и с изменением пороговых контрастов зрительной системы при определенных условиях наблюдения через очень чистую атмосферу. Это явление можно было бы назвать эффектом кажущегося увеличения при наблюдении через очень чистую незатуманенную атмосферу.

Во время первого полета в качестве командира космического корабля «Союз-25» Коваленок отметил и другой случай кажущегося увеличения атмосферы. В октябре 1977 г. над Индийским океаном между Мадагаскаром и Индией из космоса ему хорошо была видна океанская зыбь, напоминавшая по форме стиральную доску. Сначала наблюдения проводились через сравнительно чистую атмосферу, а затем появились участки океана, покрытые легкой дымкой. Во время перехода от наблюдения через чистую атмосферу к наблюдению через атмосферу с легкой дымкой у космонавта возникло впечатление, что дымка создавала увеличенное изображение зыби. Это явление можно объяснить уменьшением видимых из космоса контрастов океанской зыби как вследствие изменения передаточной функции атмосферы при появлении дымки, так и вследствие изменения характера освещения океана от прямого и рассеянного атмосферой с дымкой солнечного излучения.

Нетрудно показать, что с появлением дымки в освещенности поверхности океана уменьшается доля прямого солнечного света, создающего наиболее резкие контрасты зыби, и увеличивается доля рассеянного атмосферой с дымкой солнечного излучения, сглаживающего контрасты волновых образований на поверхности океана. Таким образом, появление дымки приводит к уменьшению реальных контрастов океанской зыби. А передаточная функция атмосферы с дымкой уменьшает видимые из космоса контрасты волновых образований океанской зыби гораздо сильнее, чем атмосфера без дымки. Следовательно, появление дымки приводит к существенному уменьшению видимых из космоса контрастов волновых образований океанской зыби. Зрительная система космонавта перестает различать малоразмерные образования зыби, что и создает кажущийся эффект увеличения, так как космонавт видит только крупноразмерные образования зыби.

Для объяснения этого явления обратимся к зависимости пороговых значений видимых из космоса контрастов K^* на

поверхности океана при наблюдении в нади́р с высоты полета космического корабля «Союз-25» в зависимости от линейных размеров l волновых образований зыби через обычную безоблачную атмосферу и через атмосферу с дымкой (рис. 5.7 б). При сравнении кривых 2 и 3 можно сделать вывод о том, что при появлении дымки космонавт с высоты полета космического корабля «Союз-25» перестает различать небольшие волновые образования, а видит только крупномасштабные. Это явление и воспринималось космонавтом как увеличение волновых образований. Его можно было бы назвать эффектом кажущегося увеличения при помутнении атмосферы.

Существование отдельных регионов планеты с очень чистой незамутненной атмосферой подтверждается и другими экспериментальными данными. При наблюдении атмосферы Земли с борта орбитальной станции «Салют-6» у В. В. Коваленка несколько раз создавалось также впечатление провалов в атмосфере. Ощущение такого провала в атмосфере возникало при наблюдении в районе Байкала при невысоком положении Солнца над горизонтом (зенитный угол Солнца около 70°). По оценке космонавта, этот провал имел форму неправильного круга диаметром около 100 км. В этом районе атмосфера была заметно темнее, чем над соседними регионами, что и создавало впечатление провала. Известно, что более темные участки атмосферы являются менее замутненными, т. е. более чистыми, чем соседние. В работе [90] провалы в атмосфере объяснялись меньшей плотностью аэрозоля в слое Юнге. Но возможно, что они связаны с пониженной плотностью аэрозоля не только в стратосфере, но и в тропосфере. Наблюдения провалов в атмосфере позволяют высказать предположение о наличии крупномасштабной горизонтальной неоднородности плотности аэрозоля как в стратосферном аэрозольном слое Юнге, так и в тропосфере. Это предположение не противоречит и данным наземных, самолетных и аэростатных исследований атмосферного аэрозоля.

5.6. Радужные облака, gloria

Из космоса можно наблюдать и некоторые цветные картины, возникающие вследствие интерференции солнечных лучей на капельках воды или ледяных частицах. Наиболее часто это

проявляется при наблюдении из космоса радужных облаков и глюрии. Впервые радужные облака из космоса наблюдали В. В. Коваленок и А. С. Иванченков 25 августа 1978 г. при полете орбитальной станции «Салют-6» юго-восточнее Южной Америки. Радужные облака космонавты наблюдали в направлении Антарктиды на широтах около $55-60^\circ$ ю. По визуальной оценке, они находились на высоте около 40 км и имели желто-коричневый цвет, поэтому космонавты называли их «горчичными» облаками [14]. Космонавты видели облака горчичного цвета на витке 5216 полета станции «Салют-6» с 13 ч 25 мин до 13 ч 30 мин UT. Эти облака в направлении Антарктиды были видны и в последующие дни полета, с 26 по 28 августа 1978 г.

В конце октября 1978 г. Коваленок и Иванченков наблюдали в направлении Антарктиды радужные облака фиолетового цвета. Во время этих наблюдений еще перед восходом Солнца над оранжевым слоем сумеречного ореола хорошо были видны образования фиолетового тона. А после восхода Солнца в направлении Антарктиды появились фиолетовые облака, которые, по визуальной оценке космонавтов, находились на высоте около 20 км.

Радужные облака хорошо известны и по наблюдениям с Земли. Их можно видеть на небольшом угловом расстоянии от Солнца (примерно до 30°) при невысоком положении Солнца над горизонтом. На угловом расстоянии от Солнца до 2° радужные облака при наблюдении с Земли кажутся ослепительно белыми, затем с увеличением углового расстояния чаще всего приобретают пурпурно-красную или желтую окраску. С дальнейшим увеличением угла от Солнца цвет радужных облаков постепенно бледнеет.

Цветовые картины радужных облаков связаны с интерференцией солнечного света на облачных образованиях, состоящих из тонких ледяных пластинок. В таких облаках всегда найдутся пластинки, ориентация которых создает френелевское отражение солнечного света от их поверхности в направлении наблюдателя. При этом лучи, отраженные от передней и задней поверхностей пластинки, создают интерференционную цветовую картину радужных облаков, в которой при наблюдении с Земли видимые цвета не насыщены. Это означает, что толщина образующих радужные облака ледяных пластинок в 4—5 раз превышает длину волны видимого излучения,

т. е. около 2 мкм. Цвет радужных облаков зависит как от толщины ледяных пластинок, так и от углового расстояния от Солнца. При небольших расстояниях большая часть солнечных лучей отражается от передней поверхности ледяной пластинки, поэтому радужные облака кажутся ослепительно белыми. С увеличением углового расстояния отражение происходит как от передней, так и от задней поверхности ледяной пластинки и возникает цветовая интерференционная картина. При угловом расстоянии от Солнца, превышающем 30° , резко уменьшается коэффициент френелевского отражения поверхностей ледяных пластинок и соответственно исчезает цветовая интерференционная картина на фоне рассеянного излучения атмосферы и облаков. Радужные облака, состоящие из ледяных пластинок одинаковой толщины, имеют одинаковый по всему объему цвет. Одним из редких типов радужных облаков являются перламутровые облака, возникающие на большой высоте (примерно 22—30 км). Перламутровые облака наблюдаются сравнительно редко, обычно на широте $55-60^\circ$ при низком положении Солнца над горизонтом. При высоком положении Солнца над горизонтом с Земли их не видно из-за более яркого рассеянного излучения в нижних слоях атмосферы. Однако наблюдению из космоса и даже с аэростатных высот это излучение не мешает. Наблюдаемые космонавтами с орбитальной станции «Салют-6» облака горчичного и фиолетового цветов, скорее всего, следует отнести к разновидности перламутровых облаков.

Другим оптическим явлением, возникающим вследствие интерференции отраженных солнечных лучей, является gloria. Цветовые картины радужных облаков — это результат интерференции отраженных солнечных лучей от облаков, состоящих из ледяных пластинок, а gloria — отражения солнечных лучей от капелек воды, образующих водяные облака или туманы. Gloria наблюдается и с земной поверхности, преимущественно в горах, когда облака или легкий туман расположены ниже наблюдателя и на значительном расстоянии от него. Еще лучше наблюдать глаорию при полете на самолетах над водяными облаками.

Глория представляет собой цветной ореол, наблюдаемый в направлении тени от наблюдателя на облаках или слое тумана, находящихся от наблюдателя на значительном расстоянии. Ореол внутри голубого цвета, а снаружи — красного.

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

Из космоса глаорию впервые наблюдали В. В. Коваленок и А. С. Иванченков с орбитальной станции «Салют-6» 2 октября 1978 г. с 18 ч 22 мин до 18 ч 28 мин UT, а затем еще несколько раз в течение октября. Картину глаории Коваленок за-

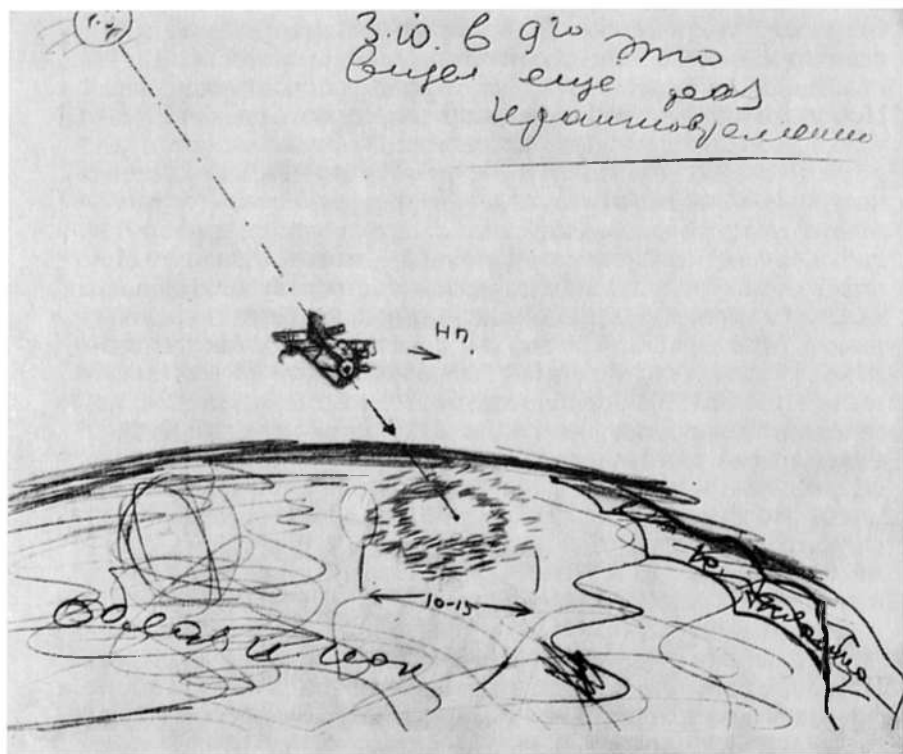


Рис. 5.8. Глаория. «Салют-6», 2 октября 1978 г. [14].

рисовал в боржурнале (рис. 5.8). Сущность этого явления заключается в следующем. При полете орбитальной станции «Салют-6» над дневной стороной Земли космонавты в направлении тени от станции видели на облачном покрове цветовой радужный ореол преимущественно оранжево-красного цвета. Ореол перемещался вместе с орбитальной станцией. Радужный ореол имел эллиптическую форму и слегка меняю-

шие размеры, в среднем равные примерно 10–15 км. В дальнейшем глорию из космоса наблюдали и другие советские космонавты с орбитальной станции «Салют-7».

Глорию образует один из максимумов интерференционной

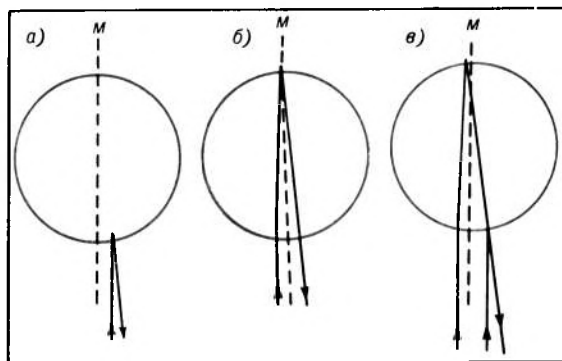


Рис. 5.9. Интерференция лучей, отраженных от наружной (а), внутренней (б), а также от обеих поверхностей (в) сферической капли [14].

картины, возникающей при отражении солнечных лучей от передней и задней поверхности сферической капли дождя или тумана. Следующий максимум интерференционной картины образует хорошо известную цветовую картину радуги. Глорию образуют лучи, падающие на центральную часть капли (параксиальный пучок лучей). Часть параксиального пучка отражается от наружной поверхности сферической водяной капли по законам френелевского отражения, а часть вошедшего в каплю пучка испытывает френелевское отражение от внутренней поверхности капли. Интерференция этих двух отраженных частей параксиального пучка и образует, по-видимому, цветовую интерференционную картину глории (рис. 5.9). В этой картине центр может быть темным, но никогда он не бывает ярче первого интерференционного кольца. Яркость следующих интерференционных колец значительно слабее первого, поэтому они обычно не заметны на фоне рассеянного света. По визуальной оценке В. В. Коваленка, угловые размеры глории несколько изменялись, но в среднем составляли $1-2^\circ$. Возможно, что изменение размеров глории может быть объяснено изменением размеров капель в облачных образованиях, над которыми пролетала орбитальная станция «Салют-6».

5.7. Серебристые облака

На основании многочисленных результатов наземных, самолетных и ракетных экспериментов было разработано представление о пространственно-временном распределении, морфологических структурных формах и природе серебристых облаков. Введенный В. В. Шароновым в 1960 г. термин «климатология серебристых облаков» подразумевает их пространственно-временное распределение, т. е. закономерности их сезонного, суточного и географического распределения [193]. До 1964 г. исследования по климатологии серебристых облаков проводились в основном по материалам одной или нескольких станций. После введения в 1964 г. единой международной программы стало возможным осуществлять эти исследования по результатам более обширных наблюдений [193]. В 1964 г. в Тарту при Институте астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР был создан специальный геофизический центр (во главе с Ч. И. Виллманном), который взял на себя координацию исследований серебристых облаков на сети станций Госкомгидромета.

По результатам наземных наблюдений за серебристыми облаками были высказаны некоторые предположения об их пространственно-временном распределении.

В северном полушарии с поверхности Земли серебристые облака чаще всего наблюдались летом (с марта по октябрь более 95% их регистраций за год, при этом до 90% наблюдений в июне—августе, а максимум приходится на июль). Были годы, когда в северном полушарии в июле серебристые облака регистрировались каждую ночь. Они могут появляться как в вечерние, так и в утренние часы и видны на фоне зоревоего сегмента, чаще всего при углах погружения Солнца от 6 до 16°. Наибольшее число случаев наземных наблюдений серебристых облаков зарегистрировано в широтной зоне 45—70° с., причем максимум приходится на 55—57° с. ш., однако эта зона может немного смещаться к северу и югу. Вместе с тем и в малонаселенных более высоких широтах также отмечались случаи регистрации серебристых облаков. В связи с этим было высказано предположение о том, что появление серебристых облаков возможно во всей полярной зоне вплоть до полюса. Наблюдения серебристых облаков южнее 45° с. рассматривались обычно как аномальные случаи. В южном

полушарии серебристые облака с Земли наблюдались южнее 52° ю. Здесь максимум их наблюдения приходится на январь. Зависимость случаев наблюдения серебристых облаков от долготы не обнаружена, что позволило сделать вывод о равновероятном их появлении на различной долготе. Серебристые облака с поверхности Земли наблюдаются от не-

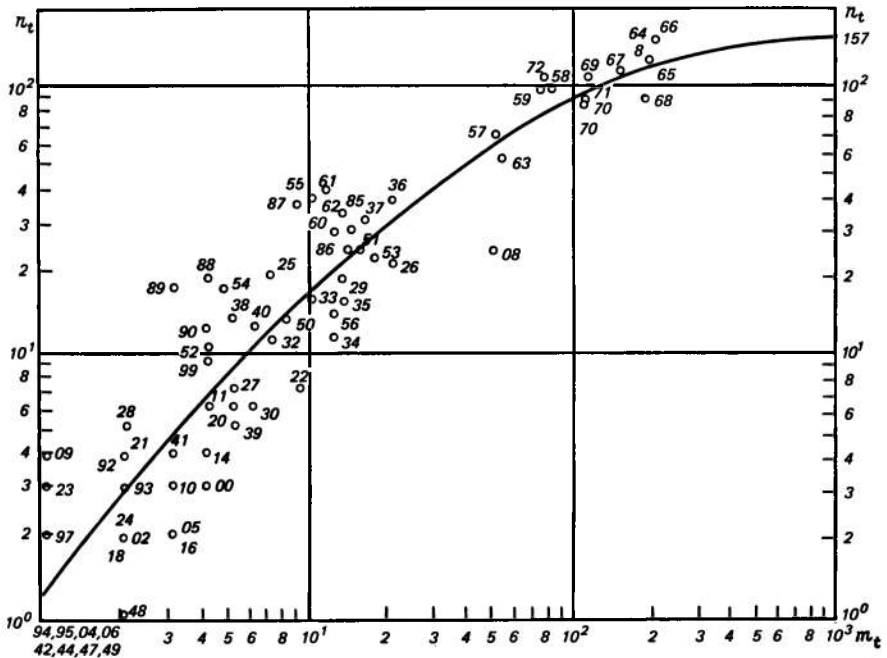


Рис. 5.10. Зависимость между числом ночей с серебристыми облаками (n_t) и числом станций, отметивших появление серебристых облаков (m_t) [193].
Цифры у точек означают две последние цифры каждого года.

скольких минут до четырех часов и более. Они имеют тенденцию появляться в течение нескольких дней подряд (образовывать серию облаков). Результаты многолетних наблюдений с Земли позволили выявить 11-летнюю периодичность в активности появления серебристых облаков с максимумом появления примерно через два года после Года спокойного Солнца.

Одной из характеристик частоты наблюдения серебристых облаков может служить зависимость числа ночей n_L с серебристыми облаками от числа станций m_L , отметивших появление серебристых облаков (рис. 5.10). С увеличением числа станций постепенно растет число ночей, во время которых регистрируются серебристые облака. При этом число ночей с серебристыми облаками асимптотически приближается к значению примерно 160. По данным наземных наблюдений, наибольшее число ночей с серебристыми облаками (144 ночи) было зарегистрировано в 1966 г. [193].

Серебристые облака обычно наблюдаются на высоте 74—92 км, хотя наблюдались иногда и выше [193]. Чаще всего они наблюдаются на высоте 80—85 км, а средняя высота составляет около 82 км, что соответствует высоте мезопаузы. Толщина серебристых облаков не превышает 2 км, в то время как вертикальная амплитуда волновых образований в их полусах и гребнях составляет 0,5—3,0 км [197].

Серебристые облака состоят из рассеивающих частиц, природа которых до сих пор не ясна и имеет ряд непонятных особенностей. В настоящее время существуют две гипотезы о природе серебристых облаков. Согласно первой, так называемой конденсационной гипотезе, облака состоят из капелек воды или кристалликов льда, образованных путем конденсации из водяного пара. Согласно второй (вулканической или метеоритной), облака состоят из пылевых частиц вулканического или микрометеоритного происхождения, на которых конденсируются пары воды, образуя ледяные кристаллы. Приведенные в ряде работ экспериментальные данные показывают, что частицы серебристых облаков имеют водную оболочку и содержат твердые ядра конденсации. Вместе с тем статистический анализ данных наблюдений за серебристыми облаками не позволяет сделать вывод о корреляции между появлением серебристых облаков и метеорными потоками, что ставит под сомнение гипотезу о роли пылевых частиц [14].

Авторы многих работ высказывают предположение о том, что появление серебристых облаков может быть удовлетворительно объяснено конденсационной (ледяной) гипотезой и что их возникновение тесно связано со структурой и динамикой атмосферы в районе мезопаузы. В последнее время возникновение ледяных частиц серебристых облаков связывают с существованием заряженных кластеров воды. По результатам ис-

следований яркости и поляризации серебристых облаков, а также сравнения их яркости в линиях 557,7 и 589,3 нм было высказано предположение о том, что типичный размер частиц серебристых облаков меньше 0,1 мкм, а их форма — иглоподобные кристаллики льда [14]. В одном из докладов [230] на Международном симпозиуме по серебристым облакам, проходившем в Таллине в августе 1984 г., на основании результатов спутниковых измерений излучения серебристых облаков в УФ области спектра было высказано предположение, что размеры их частиц в полярной мезопаузе находятся в интервале 20—60 нм.

По существующей классификации различают ряд морфологических структурных форм серебристых облаков: флер, полосы, волны и вихри [27]. Флер — это достаточно однородная туманообразная форма, присутствующая практически всегда в серебристых облаках. Флер обычно заполняет пространство между неоднородными формами. На фоне флера выделяются довольно размытые туманообразные полосы. В полосах выделяют струи — резко очерченные полосы с более высоким контрастом на фоне флера. На фоне флера также обычно достаточно четко видны и волны.

Новые возможности изучения серебристых облаков появились с запусками пилотируемых и беспилотных космических кораблей.

Из космоса первым серебристые облака на сумеречном горизонте Земли наблюдал летчик-космонавт СССР В. И. Севастьянов 9 июня 1970 г. с борта космического корабля «Союз-9» [137, 146]. Это наблюдение показало принципиальную возможность исследования серебристых облаков из космоса на сумеречном горизонте Земли. В дальнейшем широкая программа исследований серебристых облаков была выполнена в 1975—1981 гг. с орбитальных станций «Салют-4» и «Салют-6» [90]. В США первые исследования серебристых облаков из космоса проводились с геофизического спутника OGO-6 на дневной стороне Земли в видимой области спектра, а затем были продолжены с космического аппарата SME с 1981 г. в области полярной мезопаузы в УФ области спектра.

С орбитальной станции «Салют-4» летчиками-космонавтами СССР П. И. Климуком и В. И. Севастьяновым была выполнена широкая программа инструментальных исследований,

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

визуальных наблюдений и фотографирования серебристых облаков на сумеречном горизонте Земли [27]. С 12 июня по 23 июля 1975 г. космонавтами было зарегистрировано 27 случаев наблюдения серебристых облаков. Одновременно с наблюдениями с «Салюта-4» проводились наблюдения серебристых облаков с ряда наземных станций Советского Союза и Западной Европы.

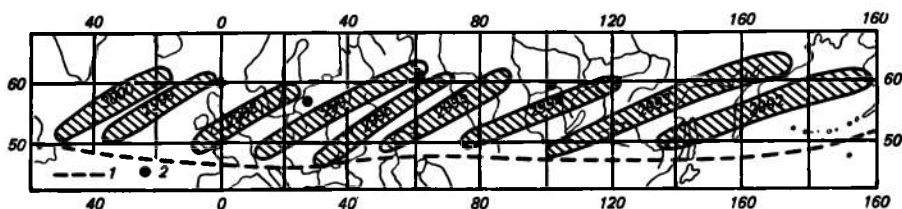


Рис. 5.11. Проекция полей серебристых облаков, наблюдаемых с борта «Салюта-4» 3—4 июля 1975 г. [27].

1 — проекция всей вертлной области распространения поля серебристых облаков за время наблюдения; 2 — наземные станции, где в это время наблюдались серебристые облака; цифры в овалах — номера витков полета.

Особенно протяженные поля серебристых облаков П. И. Климук и В. И. Севастьянов наблюдали 3—4 июля 1975 г. на девяти витках орбитальной станции подряд (рис. 5.11). В эти дни наблюдения проводились и с наземных станций. По результатам наблюдений 3—4 июля 1975 г. было подтверждено ранее высказанное предположение о том, что серебристые облака иногда образуют сплошную полосу, охватывающую в северном полушарии более половины земного шара на соответствующих широтах [27]. Это предположение для южного полушария в дальнейшем было подтверждено по результатам наблюдений Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко в январе 1978 г. с орбитальной станции «Салют-6». Наличие обширных полей серебристых облаков в настоящее время является общепризнанным.

Наблюдения Климук и Севастьянова с «Салюта-6» подтвердили возможность появления многослойной структуры полей серебристых облаков. На ряде витков они наблюдали двух- и даже трехъярусное поле серебристых облаков. Наблюдения многоярусных полей серебристых облаков позволяют

судить о тонкой структуре мезопаузы, т. е. о более детальном распределении в ней температуры и влажности. При наблюдении с «Салюта-4» Климук и Севастьянов видели такие же морфологические структурные образования серебристых облаков, какие наблюдались и с Земли. Они наблюдали и волновые формы полей серебристых облаков, полосы и струи на фоне флера. В связи с этим был сделан вывод о том, что классификация структурных форм серебристых облаков, принятая по результатам исследований с Земли, может быть использована и при проведении космических экспериментов.

Доброкачественных фотографий с «Салюта-4» было получено мало, так как недостаточно точно было определено время экспозиции. Реальная яркость серебристых облаков была больше ожидаемых значений, поэтому большинство снимков оказалось передежанными.

С «Салюта-4» четырехканальным радиометром «Микрон» проводились и инструментальные исследования серебристых облаков в ближней инфракрасной области спектра. Измерения в каждом из каналов проводились в сравнительно узких спектральных диапазонах, вырезаемых интерференционными фильтрами. Центры этих диапазонов около длин волн 1,35; 1,9; 2,2 и 2,7 мкм, а ширины полос пропускания фильтров соответственно 0,21; 0,28; 0,25 и 0,34 мкм. Угловые размеры круглых полей зрения каждого канала составляли $10 \div 13'$, что с высоты полета «Салюта-4» соответствовало линейному разрешению у горизонта Земли 6—8 км. Измерения яркости серебристых облаков радиометром «Микрон» проводились 2, 3, 6 и 7 июля 1975 г. в сумеречной зоне во время восхода Солнца сканированием поля зрения радиометров в пределах $\pm 4^\circ$ от направления максимальной яркости серебристых облаков с угловой скоростью $0,5^\circ$ в 1 с. Сканирование проводилось в направлении, перпендикулярном горизонту Земли. Всего космонавты провели более 20 сканов. В качестве примера на рис. 5.12 для диапазона с центром около 1,9 мкм приведены результаты измерений энергетической яркости зоревоего сегмента при наличии серебристых облаков. Из рисунка видно, что вблизи перигея линии визирования около 81 км энергетическая яркость серебристых облаков примерно на полпорядка превышает яркость зоревоего сегмента для соседних значений перигея линии визирования. Результаты измерений радиометром «Микрон» показали, что энергетическая яркость сере-

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

бристых облаков изменялась в пределах порядка величины в зависимости от структуры и оптической толщины серебристых облаков, а также от условий их подсветки прямым

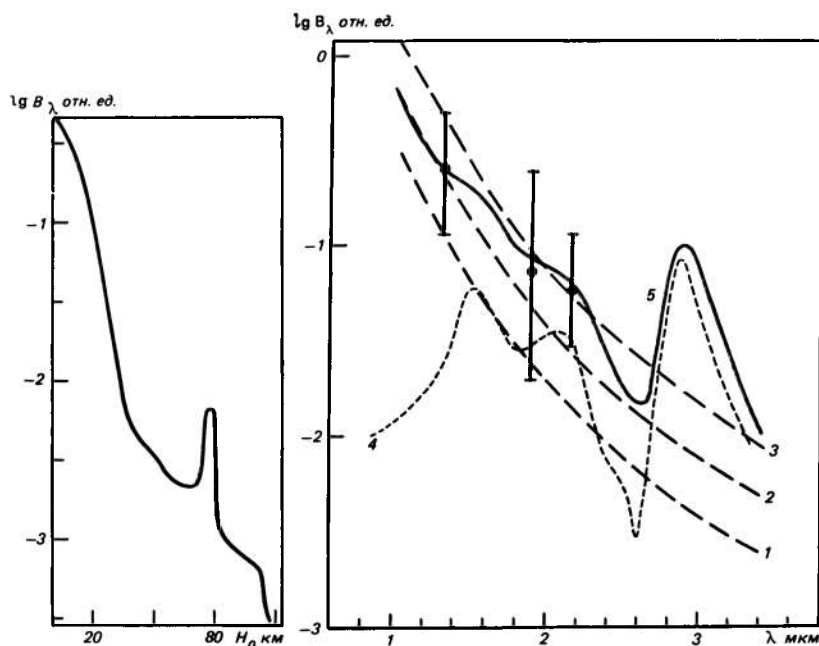


Рис. 5.12. Измерение яркости горизонта при появлении серебристых облаков при $\lambda = 1,9$ мкм [195].

Рис. 5.13. Спектральное распределение яркости серебристых облаков при угле рассеяния $\varphi = 80^\circ$ [195].

1, 2, 3 — соответственно яркость серебристых облаков, рассчитанная при оптической плотности $\tau = 10^{-5}$; $5 \cdot 10^{-5}$; 10^{-4} ; 4 — эмиссия OH; 5 — суммарная яркость серебристых облаков при $\tau = 5 \cdot 10^{-5}$ и эмиссии OH; 6 — средние экспериментальные значения.

солнечным излучением и излучением сумеречного ореола атмосферы Земли (рис. 5.13). Результаты измерений радиометром «Микрон» получены только для трех диапазонов с центрами около длин волн 1,35; 1,9 и 2,2 мкм. На рис. 5.13 приведены средние экспериментальные значения и макси-

мальные отклонения спектральной плотности энергетической яркости серебристых облаков для диапазонов около 1,35; 1,9 и 2,2 мкм, а также расчетные значения спектральной плотности энергетической яркости серебристых облаков для оптических толщин 10^{-5} ; $5 \cdot 10^{-5}$ и 10^{-4} в диапазоне 1,0—3,2 мкм для угла рассеяния 80° и расчетные значения спектральной плотности энергетической яркости эмиссионного излучения гидроксила при наблюдении в направлении перигея линии визирования на высоте 81 км для 60° с. ш., вычисленные с учетом содержания гидроксила при появлении серебристых облаков [195].

Большой объем исследований серебристых облаков был выполнен советскими космонавтами с борта орбитальной научной станции «Салют-6». Основной экипаж первой экспедиции на «Салюте-6» в составе Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко проводил визуальные наблюдения и фотографирование серебристых облаков с 23 декабря 1977 г. по 2 февраля 1978 г. в южном полушарии на 128 витках полета станции. За это время они зафиксировали несколько периодов постоянного наблюдения серебристых облаков в течение нескольких дней на протяжении 7—8 витков полета станции, что создавало впечатление сплошной кольцевой зоны серебристых облаков, охватывающей южнее 52° ю. ш. более половины земного шара. В некоторые дни, например с 24 декабря 1977 г. по 5 января 1978 г., серебристые облака были видны на всех витках, на которых были благоприятные условия для их наблюдения. В период проведения наблюдений серебристых облаков с борта орбитальной станции «Салют-6» с антарктической станции Молодежная (66° ю. ш., 46° в. д.) проводились еженедельные запуски метеорологических ракет с целью измерения температуры и характеристик ветра в стратосфере и мезосфере. За период наблюдений с 28 декабря 1977 г. по 25 января 1978 г. дни, когда регистрировалось наиболее сильное понижение температуры в мезопаузе (до 140—150 K), приблизительно совпадают с временем, когда космонавты наиболее часто наблюдали серебристые облака. В периоды повышения температуры серебристые облака в этих районах не регистрировались [172].

Г. М. Гречко и Ю. В. Романенко сделали более 40 черно-белых и 5 цветных фотографий серебристых облаков, из них около 30 черно-белых снимков пригодны для фотометрической обработки. На рис. 5.14 в качестве примера приведены

5. ОБЛАЧНЫЙ ПОКРОВ

фотометрические разрезы, полученные по одному из снимков 15 января 1978 г. в 14 ч 36 мин. Разрезы сделаны с интервалом по азимуту 1° , при этом разрез 1 находится в солнечном вертикале. Уменьшение яркости серебристых облаков по мере удаления от солнечного вертикала может быть объяснено индикатрисным эффектом [172].

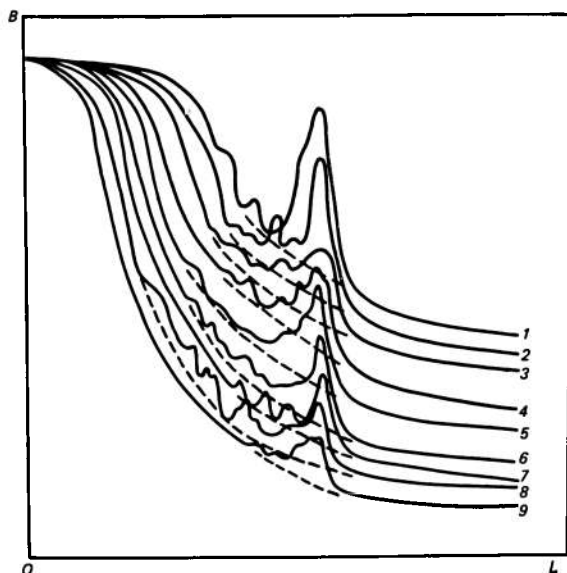


Рис. 5.14. Семейство фотометрических разрезов фона и серебристых облаков по снимку, сделанному 15 января 1978 г. в 14 ч 35 мин UT с «Салюта-6» [195]

Основной экипаж второй экспедиции на «Салюте-6» в составе В. В. Коваленка и А. С. Иванченкова в соответствии с имевшимися в то время представлениями о климатологии серебристых облаков был ориентирован на проведение исследований в северном полушарии в июле — августе 1978 г. на широтах севернее 45° , где в это время предполагался максимум их появления. Коваленок и Иванченков, так же как и предыдущие экипажи, в течение нескольких дней подряд наблюдали серебристые облака на 7—8 витках подряд. И снова это создавало впечатление, что они образуют кольцевую зону, охватывающую севернее 45° с. ш. больше половины земного шара.

Неожиданные результаты были получены В. В. Ковален-

ком и А. С. Иванченковым с 25 июня по 5 июля 1978 г. В это время станция «Салют-6» находилась на солнечной орбите, что создавало особенно благоприятные условия для наблюдения серебристых облаков над сумеречной зоной Земли. Космонавты на всех доступных для наблюдения с «Салюта-6» широтах, включая низкие и экваториальные, над ореолом Земли постоянно на высоте мезопаузы видели тонкую полосу серебристого цвета, толщина которой составляла примерно четвертую часть от толщины первого эмиссионного слоя. Эта полоса была четко выражена (даже более четко, чем обычно наблюдаемые серебристые облака) и была видна под углом около 2° от видимого горизонта Земли, т. е. на высоте серебристых облаков. При обсуждении результатов этих наблюдений с В. И. Севастьяновым выяснилось, что аналогичную узкую полосу на различных широтах, включая и экваториальные, П. И. Климук и В. И. Севастьянов наблюдали при полете на орбитальной станции «Салют-4» летом 1975 г. Однако при анализе данных их наблюдений на это не было обращено должного внимания [14].

В связи с неожиданностью полученных результатов было решено продолжить подобные наблюдения во время полета на орбитальной станции «Салют-6» экипажей следующих экспедиций. Наиболее благоприятные условия для таких наблюдений из космоса создаются при полете станции «Салют-6» на солнечной орбите. В связи с этим в июне 1979 г. А. С. Иванченков обратился к членам основного экипажа третьей экспедиции летчикам-космонавтам СССР В. А. Ляхову и В. В. Рюмину с просьбой о проведении наблюдений за серебристыми облаками на всех широтах, доступных для их наблюдений во время полета станции «Салют-6» по солнечной орбите. Ляхов и Рюмин подтвердили, что полоса серебристого цвета на высоте 80—90 км действительно была видна на всех доступных для наблюдения с «Салюта-6» широтах, т. е. от экватора и примерно до 70° с. ш. и 70° ю. ш. Аналогичные результаты наблюдений были получены и членами основного экипажа четвертой экспедиции на «Салюте-6» летчиками-космонавтами СССР Л. И. Поповым и В. В. Рюминым в июне 1980 г., когда станция «Салют-6» снова оказалась на солнечной орбите. В качестве примера приведем выдержку из сообщений космонавтов [181]:

«Три дня назад видели серебристые облака... Они были

в южном полушарии, перед экватором, примерно за три минуты до него. А в северном полушарии они опускаются до тридцати градусов северной широты».

Основной экипаж пятой экспедиции на орбитальной станции «Салют-6» летчики-космонавты СССР В. В. Коваленок и В. П. Савиных были специально нацелены на проведение наблюдений и фотографирование серебристых облаков в низких и экваториальных широтах. К сожалению, в связи с большой загруженностью другими работами, у них было сравнительно немного времени для проведения визуальных наблюдений. Поэтому наблюдения за серебристыми облаками Коваленок и Савиных проводили не систематически, а только в свободное от других занятий время.

На рис. 5.15 приведена карта-схема участков траектории полета станции «Салют-6» и видимых из космоса районов серебристых облаков, которые Коваленок и Савиных наблюдали в марте — мае 1981 г. Первая запись о наблюдении серебристых облаков появилась в бортжурнале Коваленка 21 марта 1981 г. В этот день космонавты видели большое поле серебристых облаков протяженностью от 75 до 37° з. д. и от 15 до 45° с. ш. перед заходом Солнца. Во второй записи, сделанной Коваленком и Савиных через два дня после исключительно мощного полярного сияния 11—13 апреля 1981 г., зарегистрированы и координаты станции «Салют-6» во время наблюдения серебристых облаков перед восходом Солнца 22° ю. ш. и 212° д. 18 апреля 1981 г. космонавты наблюдали двухслойные серебристые облака, а 1 мая наблюдения серебристых облаков проводились на дневной стороне Земли, следовательно, яркость серебристых облаков составляла не менее нескольких процентов от яркости рассеянного иллюминатором излучения Земли и атмосферы. Большую серию наблюдений космонавты выполнили 10 мая 1981 г. [90]. В своих бортжурналах космонавты зарисовывают наблюдаемую картину и записывают основные данные визуальных наблюдений. В. В. Коваленок пишет [90]:

«10 мая, виток 803—804. Постановка в гравитационную. Орбита близка к солнечной. Заря существует постоянно. За 3—5 мин до захода Солнца подтверждается наличие узкой белой полосы на $H = 70—80$ км по всей окружности, что может говорить о подтверждении гипотезы о существовании облаков в планетарном масштабе.

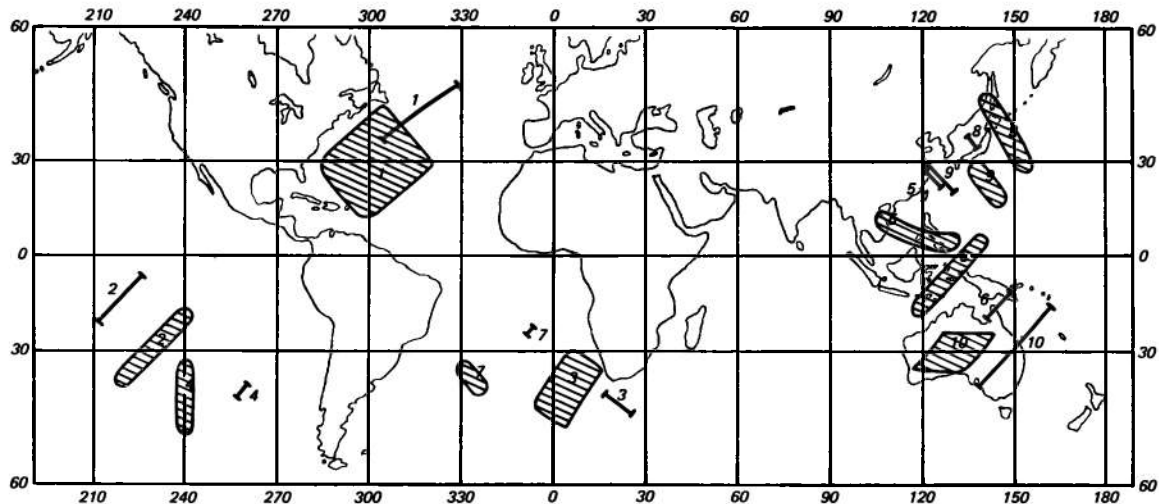


Рис. 5.15. Карта-схема участков траектории полета станции «Салют-6» и видимых из космоса районов серебристых облаков.

I — участок траектории, *II* — область наблюдения за серебристыми облаками: 1) виток 024, 21 марта, 21 ч 50 мин — 21 ч 56 мин; 2) виток 412, 15 апреля, 14 ч 16 мин — 14 ч 20 мин; 3) виток 461, 18 апреля, 18 ч 02 мин 30 с — 18 ч 04 мин 30 с; 4) виток 669, 1 мая, 21 ч 00 мин; 5) виток 750, 6 мая, 23 ч 38 мин — 23 ч 40 мин; 6) виток 803—804, 10 мая, 9 ч 06 мин — 9 ч 10 мин; 7) виток 825, 11 мая, 18 ч 36 мин; 8) виток 858, 13 мая, 19 ч 37 мин; 9) виток 859, 13 мая, 21 ч 12 мин — 21 ч 15 мин; 10) виток 865, 14 мая, 7 ч 00 мин — 7 ч 08 мин.

После восхода Солнца узкая серебристая полоска идет впереди Солнца. На $H = 70-80-90$ км. Иногда имеет утолщение и раздваивается, но в основном имеет форму узкой белой полосы.

Такие картины наблюдаются на восходе и заходе Солнца каждого из витков с 803—804 по 807 в течение 6—10 мин».

Записи о наблюдении серебристых облаков 10 мая есть и в боржурнале В. П. Савиных [90]:

«10 мая 1981 г. Заход Солнца на витке 803. 9 ч 10 мин серебристые облака над горизонтом, в 9 ч 06 мин их протяженность была примерно 160° . 2—3 полосы. Потом были разрывы, в 9 ч 08 мин слева от точки восхода видна полоска серебристых облаков. По высоте первый слой облаков находился над синей полоской и оранжевым слоем. Толщина нижнего слоя серебристых облаков достигала $5'$, а верхнего примерно $10'$. Сделал пробную фотосъемку.

...Виток 805. 11 ч 58 мин, перед заходом Солнца наблюдаются серебристые облака, $h_c \approx 35^\circ$.

...Виток 806, после захода Солнца в 12 ч 45 мин наблюдаются серебристые облака на $H = 70$ км. Толщина верхнего слоя примерно $8'$. 12 ч 49 мин, серебристые облака поднялись выше, но их толщина стала меньше. 12 ч 52 мин, наблюдаются столбы. На краях зари изображение серебристых облаков размыто.

Виток 807. Видны серебристые облака после восхода Солнца в 14 ч 17 мин. От Солнца примерно на 90° в обе стороны они видны, но от Солнца градусов на 30 их не видно».

Во время наблюдений серебристых облаков 10 мая 1981 г. с 9 ч 10 мин при заходе Солнца на витке 803—804 станция «Салют-6» пролетала в южном полушарии над северо-восточной частью Австралии и западной частью Кораллового моря. Поле серебристых облаков, которое космонавты наблюдали со стороны захода Солнца, находилось в экваториальной зоне над Тиморским и Арафурским морями, Новой Гвинеей и западной частью Тихого океана, между 8° с. ш. и 18° ю. ш. и 117 и 142° в. д. (см. рис. 5.15). Поле серебристых облаков, которое В. В. Коваленок и В. П. Савиных наблюдали на витках 805—807 полета станции «Салют-6» в направлении захода Солнца, находилось в экваториальной зоне над значительной частью Полинезии и Индийского океана на протяжении нескольких тысяч километров.

13 мая 1981 г. космонавты вели наблюдения серебристых облаков на витках 858 и 859. На витке 858 наблюдения начались в 19 ч 37 мин. Облака были видны практически по всей длине зари. Над первым слоем временами просматривался второй слой, более тонкий, но более яркий с разрывами по $10-15^\circ$. Последняя запись о наблюдении серебристых облаков была сделана 14 мая 1981 г. на витке 865. В этот день космонавты наблюдали серебристые облака над территорией Австралии.

Полученные результаты наблюдений серебристых облаков из космоса позволяют существенно расширить представление об их пространственном распределении. Прежде всего они подтверждают существование серебристых облаков в интервалах широт, определенных по наблюдениям с поверхности Земли, т. е. в северном полушарии севернее 45° ш. и в южном — южнее 52° ш. Вместе с тем они указывают на возможность появления серебристых облаков в низких широтах и вблизи экватора. Таким образом, результаты космических экспериментов позволяют сделать вывод о том, что серебристые облака могут появляться практически на всех широтах северного и южного полушария. При этом в ряде случаев они образуют поля протяженностью в несколько тысяч километров. Данные космических экспериментов пока не позволяют сделать какие-либо выводы о климатологии серебристых облаков, т. е. об их широтном, сезонном и суточном распределении. Необходимо накопить достаточно представительный статистический материал многолетних наблюдений. При этом следует учитывать, что на результаты космических экспериментов, так же как и на результаты наземных наблюдений, большое влияние оказывает наличие благоприятных условий для наблюдения серебристых облаков.

Почему же наземные наблюдения не позволили установить столь казальное бы очевидный факт? Тому есть ряд объективных причин. В полярных районах серебристые облака невозможно обнаружить потому, что летом в высоких широтах не бывает сумерек, в это время там полярный день. К тому же эти районы практически не заселены. Поскольку в низких широтах сумерки коротки, возможно, что за столь короткий промежуток времени серебристые облака не успевают достаточно развиться, чтобы их можно было обнаружить с поверхности Земли, да и времени, удобного для их наблюдения, сравни-

тельно мало. К тому же с поверхности Земли серебристые облака можно обнаружить только тогда, когда они имеют ярко выраженные неоднородности. Из космоса же с «ребра» серебристые облака могут быть обнаружены и тогда, когда они образуют однородный горизонтальный слой. Наблюдениям серебристых облаков из космоса не мешают плотные слои атмосферы. При наблюдении серебристых облаков из космоса с «ребра» их яркость оказывается почти в сто раз выше, чем при наблюдении с Земли, при этом четко видна их многослойность (двух- или даже трехъярусная структура). Таким образом, космическая платформа значительно более выгодное место для обнаружения и исследования даже самых слабых серебристых облаков [60].

Однако природа этого явления до сих пор еще не ясна. Возникает проблема: где граница между слоями повышенной концентрации пылевого аэрозоля в мезопаузе и серебристыми облаками? Может быть, верны обе гипотезы образования серебристых облаков?

Несколько слов о генезисе серебристых облаков. В настоящее время обсуждается гипотеза о преимущественном образовании серебристых облаков в околополярных широтах и их постепенном распространении в сторону средних и низких широт. Эта гипотеза основана главным образом на результатах инструментальных исследований, выполненных с американских беспилотных космических кораблей. В связи с этим высказываются также предположения о широтном распределении плотности серебристых облаков. Предполагается, что наиболее оптически плотные поля серебристых облаков располагаются в околополярных широтах и по мере продвижения в сторону экватора их плотность постепенно уменьшается. Дальнейшие исследования покажут, насколько справедливы подобные представления.

Сто лет исследований серебристых облаков — это сто лет борьбы двух гипотез, объясняющих их природу: метеоритной (или вулканической) и конденсационной (водяной). Первая гипотеза старше, так как появление ярких серебристых облаков в 1885 г. связывалось с извержением вулкана Кракатау в 1883 г. Яркие серебристые облака наблюдались и после падения Тунгусского метеорита в 1908 г. Однако мощные извержения других вулканов (Мон-Пеле в 1902 г., Катман в 1912 г. и др.) не привели к появлению достаточно мощных полей се-

ребристых облаков. С точки зрения вулканической гипотезы интересно отметить, что большая часть выполненных В. В. Коваленком и В. П. Савиных наблюдений в низких широтах (см. рис. 5.15) проведена над районами с активной вулканической деятельностью (западное побережье Тихого океана, Яванская дуга и др.).

В связи с результатами космических экспериментов высказываются предположения о различной природе рассеивающих слоев в мезопаузе на разных широтах. В частности, Ч. И. Виллманн и некоторые другие ученые высказывают предположение о том, что в средних и высоких широтах рассеивающий слой в мезопаузе имеет конденсационное происхождение и что это и есть настоящие серебристые облака. А в низких широтах космонавты наблюдали не серебристые облака, а «скопление метеорной пыли в тропической мезопаузе». Вместе с тем нельзя полностью отбросить связь рассеивающих слоев в мезопаузе с вулканической деятельностью.

Все это позволяет высказать более общее предположение о природе рассеивающих слоев в мезопаузе. Вероятнее всего, что рассеивающие слои в мезопаузе могут быть пылевыми, конденсационными или смешанными. При этом пылевой компонент рассеивающих слоев может быть либо космического (метеорного), либо земного (по преимуществу вулканического) происхождения. Вместе с тем вулканы, циклоны и тайфуны могут быть одним из источников паров воды, ответственных за возникновение конденсационных или смешанных рассеивающих образований в мезопаузе. Естественно, что существуют и другие источники водяного пара в мезопаузе, в том числе и антропогенного и космического (солнечный ветер) происхождения. С этой точки зрения название рассеивающих образований в мезопаузе пылевого, конденсационного или смешанного, космического или земного происхождения (мезосферные облака, серебристые облака, рассеивающие слои и т. д.) — вопрос скорее терминологический.

НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

6.1. Элементы геологической структуры

Применение современных научных и технических достижений для геологических исследований позволило значительно углубить знания человечества о планете, ее геологическом строении и тектонической деятельности в глубоких недрах, сформировать новые представления о географии полезных ископаемых, методах их поиска и обнаружения. Подлинную научно-техническую революцию в исследовании природных ресурсов Земли произвели космические методы. С созданием специализированных космических исследовательских аппаратов и бортовой аппаратуры геология стала подлинной космической наукой, использующей в разработке теоретических положений и практических методов результаты фотографирования, спектрометрирования, спектрофотометрирования, а также спектрозональную, многозональную и тепловизионную информацию. Без этой информации, без сотрудничества и взаимодействия геологов и экипажей космических кораблей и станций в значительной степени была бы затруднена интерпретация многих полученных результатов, более медленно развивалась бы методология геологических исследований из космоса.

При наблюдении или фотографировании с борта космического корабля отдельные детали земной поверхности сливаются в единое целое, образуя крупномасштабную картину геологического строения Земли. При этом иногда проявляются не только крупномасштабные линеаменты и кольцевые структуры, но и глубинная структура нашей планеты. Визуальные наблюдения и репортажное фотографирование характеристик геолого-географических образований по заданиям геологов выполняются начиная с полета космического корабля «Восток-2» и по настоящее время. Экипажи долговременных орбитальных станций в последние годы выполняют конкретные геологические задания.

Экипаж пятой основной экспедиции станции «Салют-6» имел несколько конкретных специальных геологических зада-

ний по эксперименту «Биосфера». Например, получить подтверждение визуально-инструментальными наблюдениями выявленных ранее линеаментов (рис. 6.1) на территории Предкавказья. Необходимо было установить, видны ли линеаменты, соответствующие шовной зоне $I-I$, проходящей через



Выход на поверхность горных пород.

южную часть Цимлянского водохранилища к южной части дельты Волги. Подчеркиваются ли они снежным покровом, в том числе в период снеготаяния? Виден ли на поверхности линеамент $II-II$ северо-восточного простирания, идущий вдоль р. Кумы в ее среднем течении? Отличается ли область Русской платформы от кряжа Карпинского, т. е. области к югу и к северу от шовной зоны $I-I$, по цветовым контрастам, формам рельефа, структурными линиями, а также как выражена шовная зона $I-I$: единым линеаментом или системой линеаментов со сложным рисунком?

Заданием «Биосфера — Весна-19» предусматривалось изуче-

ние срединной зоны предполагаемого Урало-Оманского суперлинеамента (рис. 6.2), наблюдение и перспективное фотографирование линеаментов в меридиональном направлении, пересекающих северо-западные и субширотные структуры западного окончания Паропамиза и восточного окончания Копетдага. Специалистами, а также некоторыми космонавтами

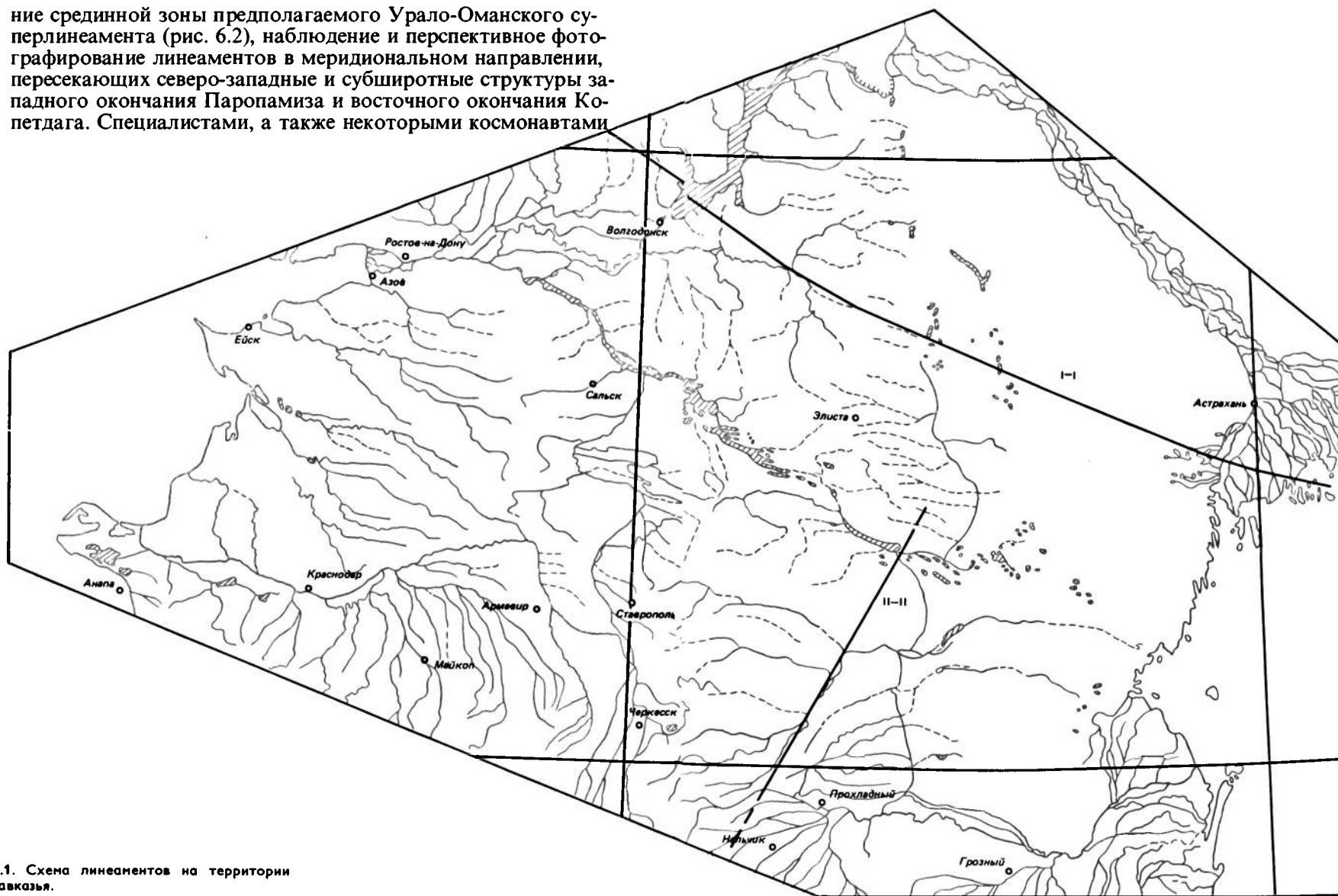


Рис. 6.1. Схема линеаментов на территории Предкавказья.

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

[182] высказано предположение о существовании Урало-Оманского суперлинеамента, однако убедительных аргументов в пользу его существования пока не представлено.

В ходе визуальных наблюдений и фотографирования из космоса были выявлены характерные особенности зрительно-

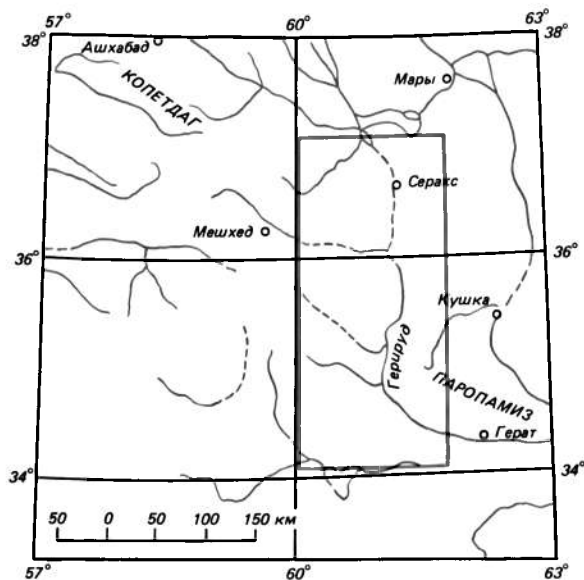


Рис. 6.2. Схема срединной зоны Урало-Оманского суперлинеамента.

го восприятия поверхностного слоя осматриваемой территории на расстоянии до 1800—2000 км от подспутниковой точки. Отдельные наблюдатели стали образно отмечать, что «... поверхностный слой земной коры как бы «просвечивается» и через него проявляются глубинные структуры...» [151]. На самом деле никакого просвечивания нет. При визуальных наблюдениях возможности зрения определяются не только и не столько глазом человека, сколько системой глаз — мозг. При этом пороговые условия распознавания отдельных деталей определяются абсолютными значениями и частотными зависимостями пороговых контрастов (яркостных или цветовых) зрительной системы с учетом передаточных функций атмосферы и иллюминатора.

В качестве примера на рис. 6.3 изображены пороговые значения видимых или регистрируемых из космоса световых контрастов наземных объектов для зрительной системы и одного из типов черно-белой фотографической аппаратуры и одного из типов телевизионной аппаратуры. Пороговые контрасты



Главный Кавказский хребет.

представлены в виде зависимости от четырех параметров: ω , S , L и D при наблюдении в надир с высоты 350 км через чистую незамутненную безоблачную атмосферу. В частности, зависимость от D позволяет объяснить наблюдения из космоса протяженных объектов (дорог, рек, просек, моренных гряд, разломов и других линеаментов) сравнительно небольшой ширины.

Зависимость времени наблюдения наземных геолого-географических образований с космических аппаратов от высоты и угла визирования показана на рис. 6.4. С высоты полета ор-

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

битальных станций «Салют» и «Мир» при углах визирования $45-60^\circ$ время наблюдения колеблется в пределах $60-220$ с. Эти углы являются оптимальными для устойчивого различия световых и цветовых контрастов геологических объектов в зависимости от их цвета, размера и формы. Как видно из

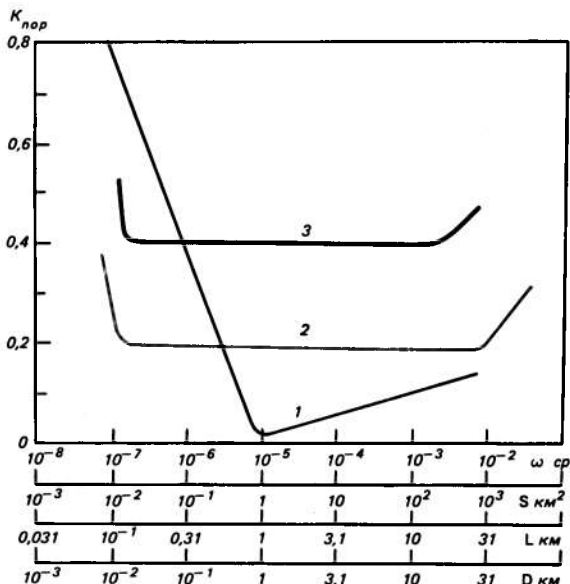


Рис. 6.3. Пороговые значения видимых из космоса контрастов K при наблюдении с высоты 350 км в надир через чистую безоблачную атмосферу.

1 — для зрительной системы, 2 — для одного из типов фотоаппаратуры, 3 — для одного из типов телевизионной аппаратуры, ω — телесный угол видимых из космоса объектов, S — площадь, L — характерный размер объектов изометрической формы, D — ширина протяженных объектов.

рис. 6.5, время наблюдения геологических объектов зрительной системой значительно больше времени их опознавания. Это позволяет многократно просматривать наблюдаемые объекты и регистрировать границы их изменения, формируя при этом соответствующий геологический образ линейamenta, кольцевой или овальной структуры, складки местности. Даже если геологическое образование расположено на глубине и не создает видимых рельефных образований, позволяющих воспринимать его зрительно как образ, комплекс физических свойств, таких как влажность, минералогический и органический состав почвы, окраска растительного покрова, формирует оптические свойства поверхности, позволяющие предполагать о наличии структурных образований, закрытых пласта-

ми верхних пород. Граница оптических свойств поверхности, как правило, носит размытый характер, зависящий от глубины залегания геологической структуры. С небольших высот такая зона размытия не воспринимается зрительной системой в виде четкой картины. С увеличением высоты наблюдения

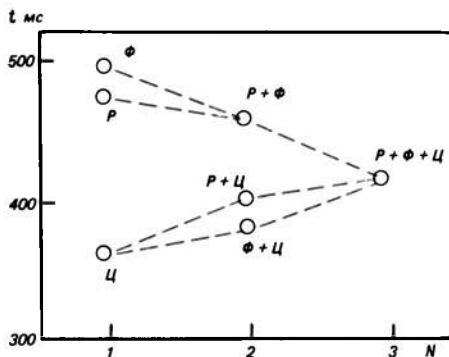
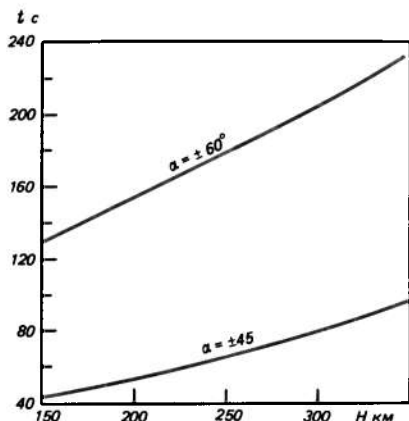


Рис. 6.4. Зависимость времени наблюдения наземных объектов t с космических аппаратов от высоты полета H и угла визирования α .

Рис. 6.5. Зависимость времени опознавания объектов от числа признаков
 N — число признаков, P — размер, Φ — форма, Ψ — цвет.

угловые размеры зоны размытия уменьшаются и зрительная система начинает воспринимать детали наблюдаемого объекта, а потом и весь объект. Данные, полученные в ходе геологических экспериментов, показывают, что ширина зоны размытия вблизи геологического образования должна быть не менее 100–150 м. Только в этом случае она создает оптические характеристики ореола вокруг или вдоль геологического образования.

Существенным недостатком визуально-инструментальных наблюдений в интересах геологии является проблема координатной привязки и документирования наблюдений. Фотографирование земной поверхности из космоса сделало геологов одними из первых потребителей космической информации

в интересах народного хозяйства. Однако следует отметить, что практически организовать фотографирование за короткий фенологический интервал времени при различных условиях освещенности Солнцем довольно трудно или даже невозможно, а фотографирование при низких углах Солнца ($Z_{\odot} > 75^{\circ}$) вообще невозможно. Значительно расширились возможности геологических исследований из космоса с применением спектрозональной и многозональной съемки.

Первая в Советском Союзе спектрозональная съемка отдельных участков земной поверхности из космоса была осуществлена экипажем космического корабля «Союз-12» в сентябре 1973 г. Съемка проводилась в ряде участков видимой и ближней инфракрасной областей спектра. Снимки, полученные экипажем «Союза-12», были использованы при уточнении картографических характеристик шельфа северо-восточных районов Каспия и для выявления структур, перспективных для поисков нефти и газа [97].

Многозональная съемка с советских пилотируемых кораблей впервые была осуществлена с «Союза-12» в сентябре 1976 г. с помощью аппаратуры МКФ-6, разработанной специалистами ГДР и СССР. Она позволяет проводить съемку в четырех узких участках видимой области спектра и в двух — в ближней инфракрасной области спектра с разрешением около 20 м на поверхности Земли (с высоты 250—280 км). Космонавты провели съемку ряда районов и научных полигонов в СССР и ГДР. Одновременно съемка научных полигонов производилась с самолетов и с Земли. В дальнейшем многозональная съемка проводилась с орбитальных станций «Салют-6», «Салют-7» и «Мир».

Одним из наиболее интересных открытий при проведении геологических исследований и экспериментов было обнаружение большого числа кольцевых структур и линейментов, о существовании которых было известно и до космических полетов, но очень мало. Размеры кольцевых структур могут достигать нескольких сотен и даже тысячи километров, поэтому только из космоса можно охватить их единым взглядом. «Вся поверхность континентов Земли оказалась буквально испещренной правильными кругами, овалами, сводами, кольцами, полукружиями, дугами различных размеров — от огромных структур, имеющих многие сотни и даже тысячи километров в диаметре, до совсем небольших кружочков...»

[205]. Особенно много кольцевых структур обнаружено в таких регионах, как Турция, Армянское вулканическое нагорье, Иранское нагорье, Серединный Тянь-Шань, Центральный Казахстан, Алтай, Забайкалье, Иркутский амфитеатр [205].

Линеаменты представляют собой в основном разломы или видимые разрывы, но иногда зоны повышенной проницаемости земной коры, отличающиеся растительным покровом, влажностью, тепловыми потоками из глубины. Изучение линеаментов оказалось настолько важным для понимания структуры каркаса земной литосферы и выявления степени подвижности литосферных блоков, что в настоящее время даже появилось новое понятие — литосферная геология.

На космических снимках удалось проследить ряд суперлинеаментов, протяженность которых достигает нескольких сотен и тысяч километров. Изучение направлений линеаментов на космических снимках показало, что они отражают строение каркаса земной коры и его современной динамической напряженности. У значительной части линеаментов направления приходятся на азимуты 0, 45, 90 и 315°.

Изучение кольцевых структур и линеаментов исключительно важно для прогнозирования и поиска полезных ископаемых. Установлено, что во многих регионах залежи полезных ископаемых связаны с расположением линеаментов и кольцевых структур. Особый интерес для поиска полезных ископаемых представляют узлы пересечения линеаментов и сочетание их с кольцевыми структурами.

П. Р. Попович и Ю. П. Артюхин с орбитальной станции «Салют-3» в 1974 г. получили уникальные снимки поверхности Земли в разных участках спектра, на которых обнаружено 11 крупных линеаментов и 67 точек, перспективных для поиска нефти и газа. По снимкам, полученным с «Салюта-5» В. В. Горбатко и Ю. Н. Глазковым, впервые удалось четко проследить границы Фергано-Теласского разлома на протяжении более 700 км.

Программа исследований геологических объектов из космоса была продолжена экипажами орбитальных станций «Салют-6,-7», «Мир».

В. В. Коваленок и А. С. Иванченков во время 140-суточного полета на «Салюте-6» в 1978 г. зафиксировали 79 линеаментов и 28 кольцевых структур. Впервые в практике космических наблюдений была объективно доказана возможность фикса-

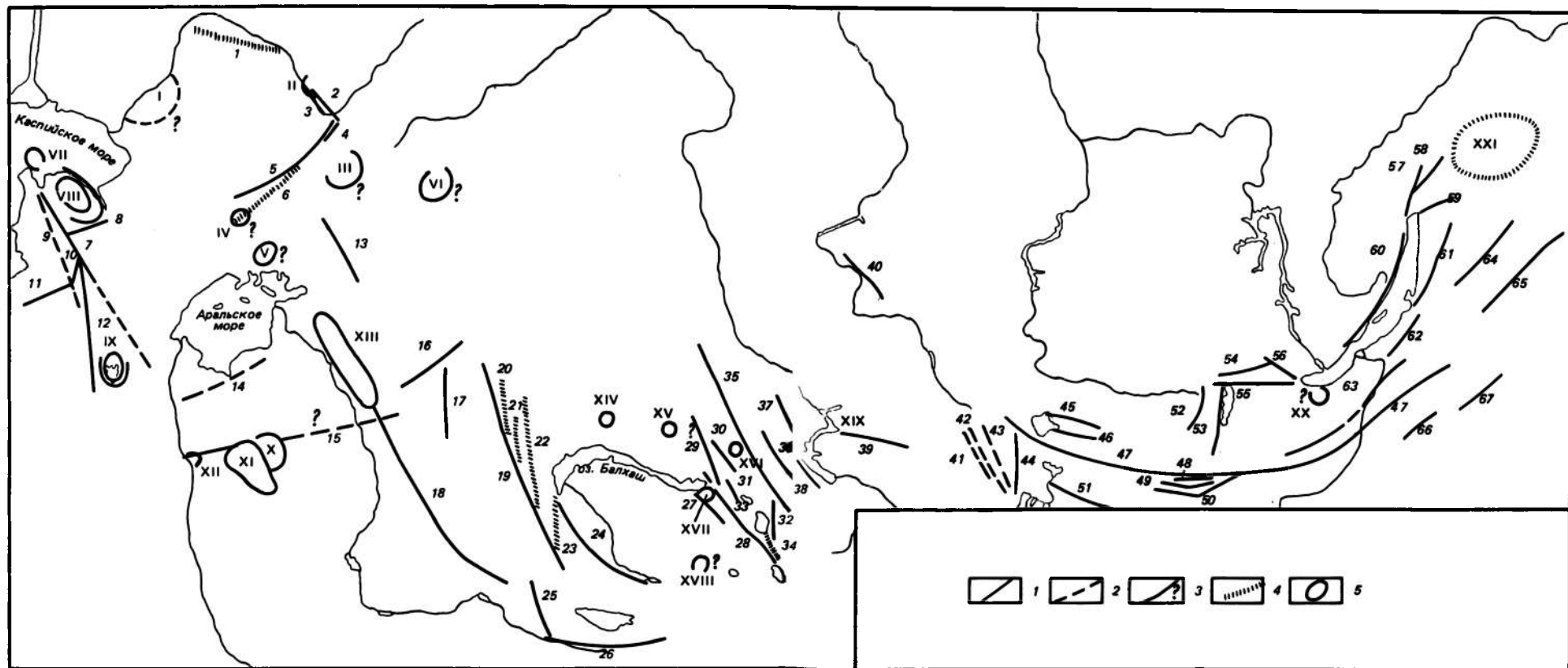


Рис. 6.6. Результаты визуальных наблюдений земной поверхности экипажем станции «Салют-6». 1 — полностью совпадают с геологическими данными, 2 — совпадают на отдельных отрезках, 3 — подтверждаются географическими данными, 4 — дешифрируются на космических снимках, 5 — предполагаемые линии разломной породы.

ции наблюдаемых геологических образований и определены параметры геологических структур, которые целесообразно изучать визуально-инструментальным методом.

Экипаж разработал методику наблюдений геологических объектов, заключающуюся в систематическом наблюдении за одними и теми же регионами при различных условиях освещенности, а также в разные сезоны года (весна, лето, осень, зима). Например, было выявлено, что изучение кольцевых

структур юга Украины, где они играют важную роль в контроле оруденения, по космическим снимкам практически невозможно из-за маскирующей мозаики полей сельскохозяйственных культур, и поэтому следует проводить визуальные наблюдения за ними. Экипаж вел наблюдения за регионом с июня по ноябрь. При этом были обнаружены характерные признаки, указывающие на наличие таких геологических объектов, как линеаменты или кольцевые структуры: изменение тональности цветовых контрастов на границах, распространение туманов в утренние и вечерние часы, распространение растительного покрова.

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

На рис. 6.6 показаны нанесенные на карту экипажем геологические объекты, которые при обработке и проверке их по наземным данным объединены в пять групп:

линии, полностью совпадающие с известными по геологическим данным разломами (26 %);

линии, совпадающие на отдельных отрезках с известными разломами (23 %);

линии, совпадающие по направлению на глубине, фиксируемые по геофизическим данным (12 %);

линии, соответствующие разломам и линеаментам в результате дополнительно проведенных космических съемок (10 %);

новые линии разломной природы, требующие дополнительного изучения (29 %).

Л. И. Попов и В. В. Рюмин с «Салюта-6» изучили 126 геологических объектов. Систематически выполняли задания геологов А. Н. Березовой и В. В. Лебедев во время полета на орбитальной станции «Салют-7» в 1982 г. На бортовых картах они зафиксировали более 300 геологических объектов. Им удалось проследить суперлинеament, простирающийся от Северного Каспия к Аральскому морю и далее к озеру Балхаш. Они также различили на левом берегу Волги продолжение Астраханского свода. Исследования геологических объектов проводили экипажи всех экспедиций орбитальной станции «Салют-7».

Съемки из космоса позволили начать работы по космофотогеологическому картированию. На космофотогеологических картах нанесены геологические объекты, зарегистрированные на космических снимках: кольцевые структуры, линеamentы и др. Одной из первых по снимкам, полученным П. И. Климуком и В. И. Севастьяновым с «Салюта-4», была создана карта Арало-Каспийского региона. В дальнейшем были созданы и другие космогеологические карты, в том числе и «Космогеологическая карта СССР», высоко оцененная специалистами во всем мире [75]. На ней показано более 4000 кольцевых структур.

6.2. Снежно-ледяной покров, ледники и водные ресурсы

Дистанционные методы контроля состояния снежно-ледяного покрова и водных ресурсов из космоса прочно вошли в практику научных исследований и при решении задач народного

хозяйства по мелиорации, и при распределении запасов воды на Земле в целом. Проблема рационального распределения водных ресурсов является наиболее сложной для теоретического и практического решения, но вместе с тем и очень важ-



Центральная часть ледника в Южной Патагонии.

ной. От успешного решения этой проблемы зависят уровень и темпы повышения народного благосостояния, достижение ряда государственных целей. За последние двадцать пять лет водопотребление возросло в три раза, и в настоящее время его мировой объем составляет около 3000 км^3 пресной воды. В СССР ежегодно потребляется до 350 км^3 пресной воды, а

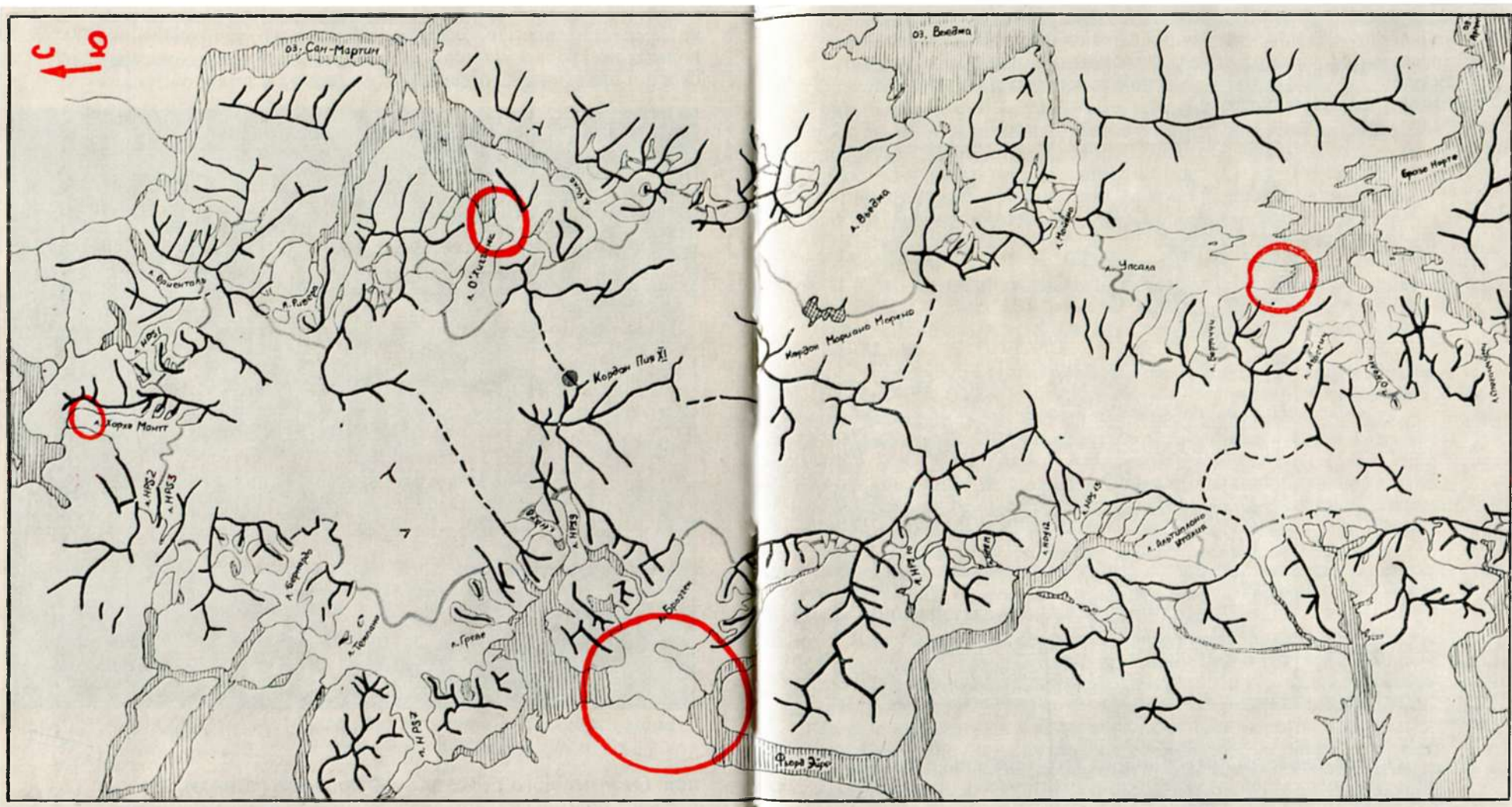


Рис. 6.7. Схема ледников Патагонии.

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

к концу нынешнего столетия эта цифра удвоится, и, следовательно, задача инвентаризации запасов пресной воды становится не просто актуальной, а жизненно важной. Достаточно сказать, что 98% запасов пресной воды сосредоточено в ледниках и снежном покрове.

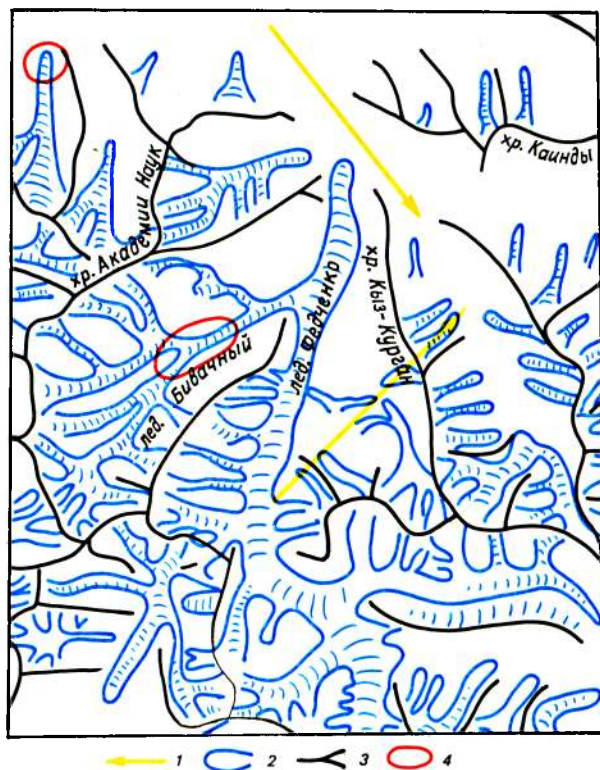


Рис. 6.8. Схема ледников Памира.

1 — направление полета, 2 — ледники, 3 — главные хребты, 4 — основные объекты фотографирования.

Ледники, снежный покров и вода тесно связаны с биосферой и наряду с сушией, атмосферой и океаном играют важную роль в формировании климата всей Земли. Особенно велика роль ледников в засушливых районах, таких, как Средняя Азия, где основная доля питания рек принадлежит ледникам Памира и Тянь-Шаня. Поэтому инвентаризация ледников и оценка состояния и массы снежного покрова является одной

из важнейших задач в проблеме рационального распределения водных ресурсов.

Ледники занимают около 11 % всей суши (примерно 30 млн. км²) в основном в труднодоступных для человека районах. В настоящее время недостаток пресной воды ощущается уже во многих регионах земного шара, оказывая влияние на судоходство, ведение рыбного хозяйства, темпы и объемы орошения засушливых земель.

Рассмотрим возможности контроля снежно-ледяного покрова и водных ресурсов с помощью космических средств. При этом возможны следующие основные способы получения информации:

- фотографирование снежно-ледяного покрова и ледников с автоматических космических летательных аппаратов (спектрозональное, многозональное, черно-белое, цветное, тепловизионное);

- визуально-инструментальные наблюдения и фотографирование ручными фотокамерами с одновременной записью данных визуальных наблюдений на магнитофон.

Репортажи о наблюдениях снежно-ледяного покрова из космоса вели практически все космонавты, начиная с Г. С. Титова. Была получена информация о принципиальной возможности регистрации и визуального наблюдения снежного покрова, ледников, водной поверхности рек, озер, болот и т. д. Первые целенаправленные наблюдения снежно-ледяного покрова и ледников в основном Памира и Патагонии были выполнены в 1977 — 1978 гг. космонавтами Ю. В. Романенко, Г. М. Гречко, В. В. Коваленком и А. С. Иванченковым.

В результате наблюдений, выполненных с декабря 1977 г. по ноябрь 1978 г., экипажи двух экспедиций смогли определить границы распространения снежного покрова на поверхности суши, выявить разный характер снегонакопления в горах на склонах хребтов в зависимости от розы ветров, обнаружить загрязнение окружающего пространства вокруг промышленных зон по загрязнению снега. Был сделан вывод, что глобальную оценку состояния и динамики снежного и ледяного покрова один экипаж, даже если он ведет наблюдения в течение нескольких месяцев, сделать не может. Для решения этой задачи необходимо создавать систему спутников, работающих в автоматическом режиме с оперативным контролем экипажами пилотируемых орбитальных станций. С «Салюта-6»

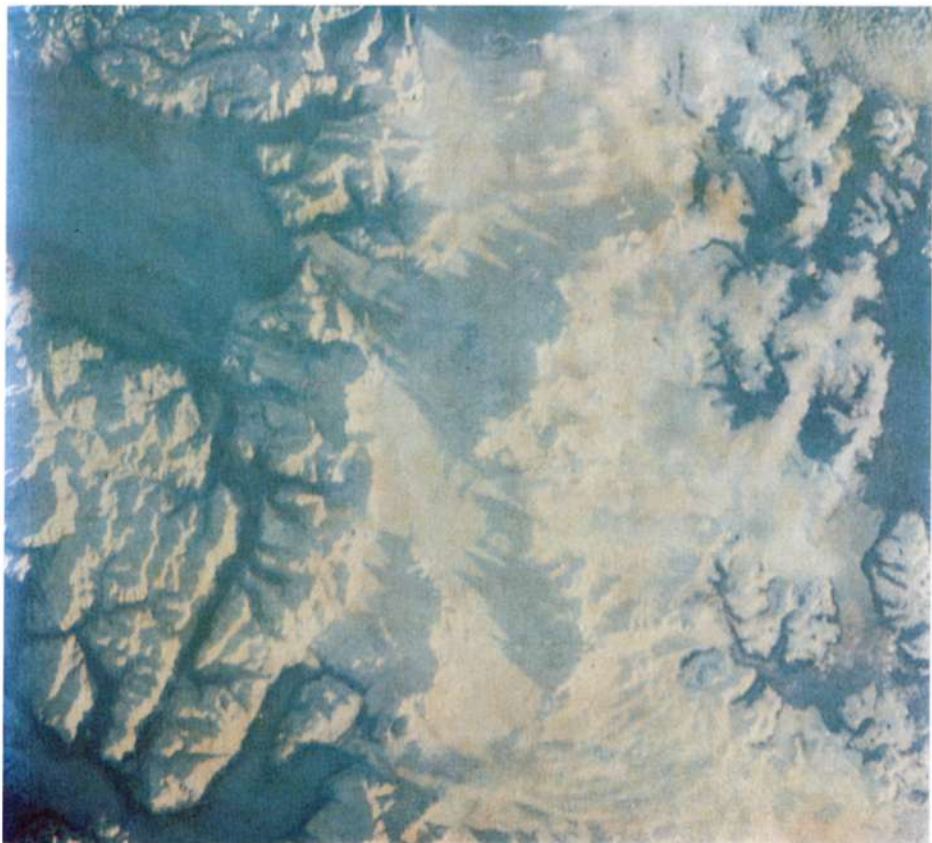
Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко также обнаруживали мелкие и средние ледники и подтвердили важный вывод о возможности слежения из космоса за пульсирующими ледниками. 22 декабря 1977 г. при наблюдении ледника О'Хиггинс по пересечению окончания ледника узкой полоской воды они обнаружили начало отторжения ледовой глыбы площадью более 12 км². В дальнейшем экипаж зафиксировал рождение айсберга, т. е. погружение отторгнутой части ледника в озеро Сан-Мартин и дальнейшую его миграцию под воздействием ветровых потоков до разрушения в январе.

Более детальные наблюдения за снежно-ледовыми образованиями и ледниками были выполнены во время полета второй основной экспедиции на станции «Салют-6» в июне — ноябре 1978 г. По просьбе специалистов Коваленок и Иванченков осуществляли поиск и фотографирование заданных ледников Памира и Патагонии в 1978 г. А. И. Иванченков проследил границы ледников в их верховьях и на языках, отметил фирновую линию, провел наблюдение и описание других характерных элементов ледникового строения: моренных гряд, термокарстовых воронок. С космической орбиты фиксировались основные признаки пульсирующих ледников: зигзагообразные очертания срединных моренных гряд, наличие трещин и крошенного льда в районе тектоники и каплевидная форма нижней части языков ледников. Ценными результатами космических наблюдений явилось определение возможности оценки ледовой обстановки в море и отслеживания путей движения айсбергов разных размеров.

Визуальные наблюдения за ледниками Памира и Патагонии (рис. 6.7 и 6.8) позволили экипажу второй экспедиции получить важный результат, имеющий практическое значение для мореплавания. При наблюдении за айсбергами, отколовшимися от ледников Патагонии в озера Вьедма и Сан-Мартин, был выявлен характерный признак, отличающий айсберги от льдин. Вокруг айсбергов на водной поверхности наблюдается кольцевой ореол более голубого, чем окружающая вода, тона. Этот признак в дальнейшем был использован для селекции айсбергов на фоне ледовых полей. Этот ореол, вероятно, образовывается от подтаявшей воды ледника и просвечивания его подводной части. Лдины любых размеров подобного ореола не имеют. По этим отличительным признакам экипаж передавал информацию о зонах распространения

6.2. Снежно-ледяной покров, ледники и водные ресурсы

ледовых полей и айсбергов в открытых водах морей и океанов в южном и северном полушарии. Отдельные айсберги в южном полушарии достигали 38-й параллели.



Ледник в районе озера Вьедма, Патагония.

Анализ результатов наблюдений за снежно-ледяным покровом и водными ресурсами показал, что проблема их инвентаризации с космических орбит имеет ряд серьезных препятствий. Основное из них — наличие облачного покрова. Отмечено, что при облачности 5 баллов и более идентификацию

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ



Памир.

этих образований проводить невозможно. Оценка возможностей зрительной системы показала, что при наличии опыта наблюдения за ледниками достаточно 15–20 с для описания



Вид на Гиндукуш и Каракорум со стороны Памира.

и регистрации всех их характерных элементов. Ледники Патагонии, находящиеся близко к точке вертекса орбиты с наклоном $51,6^\circ$ можно наблюдать в течение 3–4 мин. Возможность наблюдения пульсирующих ледников, уверенное различие невооруженным глазом заполненных и пустых термокар-

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

стовых воронок, определение моментов подпруживания языком ледника озер, горных рек, ущелей позволят возлагать на экипажи пилотируемых кораблей задачи патрульной службы с целью предотвращения катастрофических последствий от се-



Ледяные поля у восточного побережья Камчатки.

левых потоков и наводнений. Следует отметить, что после получения положительных результатов экипажами «Салюта-6» по наблюдению за снежно-ледяным покровом и ледниками Земли этот вид работ включен в программу всех дальнейших полетов.

По заданиям гляциологов Л. И. Попов и В. В. Рюмин в 1980 г. с орбитальной станции «Салют-6» проводили наблюдения за снежным покровом и положением фирновых линий

в горных районах. Они наблюдали за динамикой схода снежного покрова в горах Памира и за подъемом фирновых линий на нескольких ледниках, в том числе и на леднике Федченко [181]. По заданию гляциологов космонавты вели наблюдения за пульсирующими ледниками, растяжение и сжатие которых определяется по характерным «кошачьим лапам». Попов и Рюмин обратили внимание на цвета отдельных участков ледников. Они заметили, что при увеличении интенсивности испарения или таяния ледников в границе питания изменяется их цвет: вместо обычного серо-голубого он становится стальным. Космонавты вели наблюдения и за снежно-ледниковым покровом горных районов Южной Америки. Они установили, что летом между тропиком и 20° ю. ш. на многих вершинах, высота которых достигала 5000 м, нет снежного покрова.

Космонавты, летавшие на орбитальной станции «Салют-6», внесли большой вклад в создание наземно-авиакосмической службы наблюдения за снегом и льдом. Они не только установили возможности этой службы, но и обратили внимание на особенности наблюдения из космоса снежного и ледового покрова. Результаты наблюдений с «Салюта-6» позволили гляциологам завершить работу по классификации ледников Памира, являющейся основой для дальнейшего изучения памирского оледенения и прогнозирования его изменчивости. По результатам исследований из космоса было обнаружено, изучено и спрогнозировано 30 пульсирующих ледников Памира, тогда как за все предыдущие годы традиционными методами удалось обнаружить и описать не более десяти подобных образований [158]. Исключительно важны наблюдения космонавтов при создании Атласа снежно-ледовых ресурсов мира.

Наблюдения снежного и ледяного покрова были продолжены экипажами орбитальной станции «Салют-7». На островах вблизи мыса Горн 18 июня 1982 г. экипаж первой экспедиции на «Салюте-7» увидел сплошной горный массив, покрытый снегом. На поверхности океана были видны десятки айсбергов, размеры которых соизмеримы с самыми большими судами. Оконечность мыса Горн была покрыта белым снегом. Экипаж третьей экспедиции на «Салюте-7» в 1984 г. получил дополнительные данные о ледниках и снежном покрове Памира.

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Визуальная и фотографическая информация о снежно-ледяном покрове и ледниках Земли поступает к гляциологам, использующим ее для общегеографического и тематического картографирования. Эти работы проводятся в рамках Международной гидрологической программы, курируемой

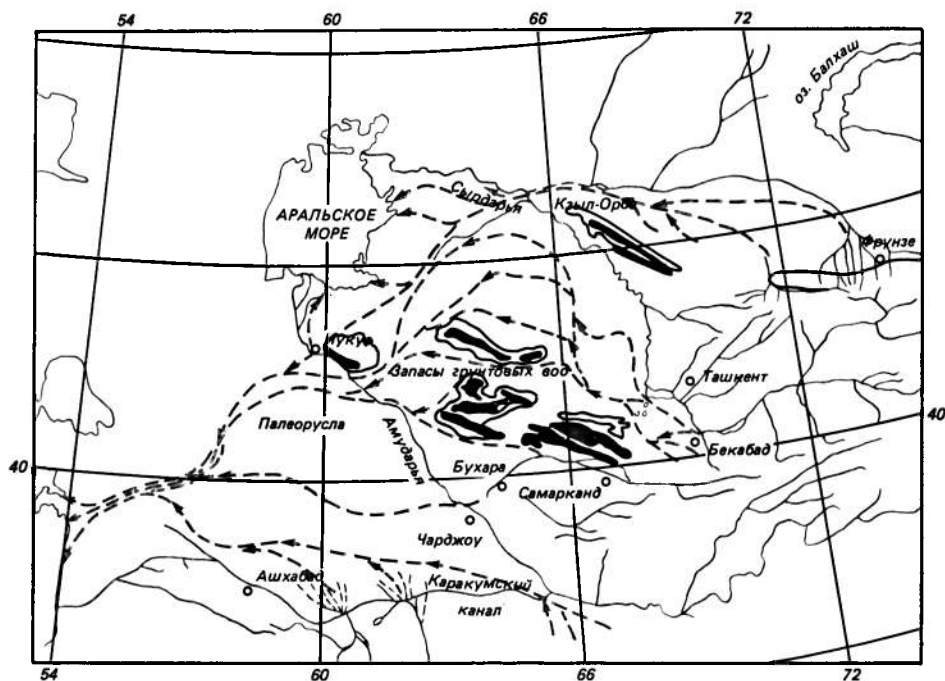


Рис. 6.9. Район поиска подземных пресных вод.

ЮНЕСКО и Ассоциацией гидрологических наук Международного союза геодезии и геофизики. При решении этой задачи важными являются следующие аспекты:

- определение географических границ снежно-ледовых образований и слежение за их состоянием с заданным временным интервалом;
- определение момента начала и интенсивности таяния.

Решение этих вопросов возможно при комплексном использовании космической информации, получаемой с по-

мощью различных источников и аппаратуры: фотографической, спектро-и многозональной, спектральной, инфракрасной, радиометрической и визуально-инструментальных наблюдений.

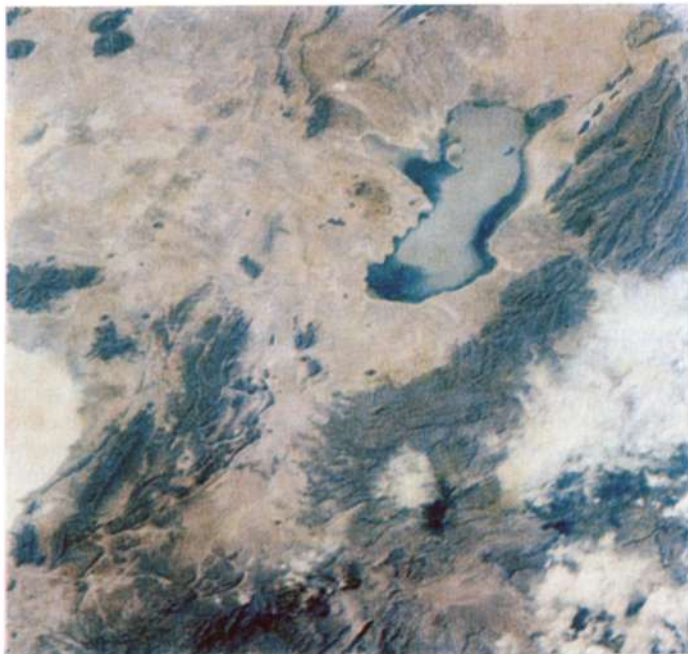
В общей проблеме рационального распределения водных ресурсов важное место занимает задача поиска залежей пресной воды в пустынных и полупустынных регионах. Эта новая задача впервые была включена в программу полета пятой основной экспедиции на «Салюте-6» по конкретному региону в рамках эксперимента «Биосфера — Весна» (рис. 6.9).

Оперативное получение информации о запасах и состоянии водных ресурсов позволяет участникам водохозяйственного комплекса рационально их распределять, а также проводить необходимые водоохранные мероприятия. Этих мер требуют Аральское море и озеро Балхаш. Разбор воды из рек, подпитывающих эти водные бассейны в летние месяцы, настолько велик, что такие реки, как Сырдарья и Амударья, теряются в песках более чем за 100 км от Аральского моря, а Балхаш настолько мелеет, что по всей его площади с орбиты просматривается рельеф дна.

Методические положения наблюдения, регистрации и оценки изменения состояния режима водных ресурсов разрабатывались во время полета пятой основной экспедиции в рамках экспериментов «Биосфера — Весна-3,-4,-5». Эксперимент «Весна-3» предусматривал комплексные гидромелиоративные исследования бассейна рек Зея и Бурея в интересах разработки перспективных планов использования плодородных земель, лесных ресурсов и судоходства. Экипаж фотографировал на цветную и спектрозональную пленку Зейское водохранилище и русла рек в тех местах, где визуально обнаруживались размывы, подтопления берегов и отложение наносов после разлива рек. Одновременно на цветную и спектрозональную пленку фотографировались земли, леса, болота в радиусе 800 км для выделения увлажненных зон. Экипаж отметил, что полноводные реки Зея и Бурея во многом определяют характер наводнений на Амуре. После весеннего снеготаяния и летних муссонных дождей эти реки из-за поднятия уровня воды на 6—9 м заливают основную житницу Дальнего Востока, заболачивая при этом плодородные земли. В настоящее время болота (мари) занимают 60 тыс. км². Полученные результаты используются специалистами народного хозяйства для разра-

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

ботки плана осушения болот и управления водным режимом региона после проведения мелиоративных работ. Особую актуальность приобрели наблюдения за гидрологическим состоянием региона после постройки Зейской ГЭС (июнь 1980 г.), повлекшей масштабное изменение гидрологического режима этого бассейна.



Восточная часть озера Балхаш.

По программе эксперимента «Весна-4» проводилось изучение размыва берегов рек и каналов весной, образование отложений в русле рек и в местах отвода каналов, изменений в долинах рек в период половодий. Экипаж вел наблюдения с 17 марта по 25 мая за реками Волга, Урал, Амударья, Дунай и Днестр. Одновременно в рамках эксперимента «Весна-5» проводилось наблюдение выноса вод Волги и Дуная в Каспийское и Черное моря, а также эволюция дельт рек. Проводилось визуальное наблюдение и фотографирование ручными фотокамерами на цветную и спектрозональную пленку дельты

и границы выносов рек в диапазоне спектра около 400 нм для выделения выносов и 800 нм для регистрации динамики залитых земель. В ходе исследований и после обработки результатов фотографирования определялись характер и границы распространения загрязнений, распространение питательных веществ для рыб. Твердый сток рек приводит к постоянному заполнению их эстуариев и выдвигению дельт в акватории, изменяя условия судоходства и рыболовства.

В бортовом журнале для визуальных наблюдений В. В. Коваленок делает следующие записи:

«7 апреля 1981 г. Виток 285, 14 ч 42 мин 30 с. Северный Каспий в районе впадения р. Урал. Отчетливо виден весь рельеф дна, расположение водорослей, песчаных участков, распределение потоков (видимо, рукавов) реки Урал.

14 апреля 1981 г. В устье рек Сырдарьи и Амударьи очень сильные мутьевые выносы в глубь моря (до 100 км). Наблюдение Днестра, Дуная и рек от Днестра до Днепра и Дона. Все реки отчетливо видны по зеркалу воды в солнечном блике. Это позволяет судить об их заполненности водой, видны сильные паводки. От Цимлянского водохранилища все реки и речушки заполнены, а на полях сплошная вода.

14 апреля 1981 г., 12 ч 52 мин 20 с. Дельта Волги и северо-восточная часть Каспийского моря. Выносы р. Волги достигают городов Кизляра и Лопатина. Это 150–200 км от береговой черты. В районе Тюленьих островов сходятся с выносами Урала. Преобладает мутно-коричневый цвет. Очень сильно разлился Урал, вокруг на полях сильное половодье. В солнечном блике четко просматривается структура течений Волги и Урала. Все Приволжские такыры заполнены водой.

19 апреля 1981 г., 12 ч 55 мин. Аральское море. Выносы рек в море распространяются неравномерно до 15–20 км, местами до 30, а в направлении центрального свода до 50 км».

Приведенные примеры убеждают в оперативности и масштабности оценки состояния водных ресурсов, снежно-ледяного покрова и ледников с пилотируемых космических аппаратов.

6.3. Лесные массивы

Леса занимают около 30% суши на земном шаре, а в Советском Союзе около 55%. Лесные угодья СССР составляют около 12,4 млн км², и площадь под ними, несмотря на рост

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

промышленной рубки, составляющей ежегодно 2,5 млн га, неуклонно увеличивается. С 1966 по 1978 г. площадь лесов возросла на 44,8 млн га, а общий запас древесины на 4,5 млрд м³. В то же время на земном шаре площадь лесов сокращается ежегодно на 16 млн га. Для рационального использования, сохранения и воспроизводства лесов необходимы прежде всего всесторонние знания о состоянии лесного фонда. В нашей стране численность работников лесной охраны, контролирующей состояние лесного фонда, составляет 160 тыс. человек. В летний период для охраны лесов привлекается около 500 самолетов и вертолетов [158].

Для управления лесным хозяйством необходимо регулярно обновлять сведения о состоянии лесных ресурсов и их динамике. Периодичность такого обновления для лесных карт 5—10 лет, при хозяйственной деятельности значительно чаще, а при обнаружении лесных пожаров — несколько часов. Лесоустроители ежегодно проводят инвентаризацию 50 млн. га лесов, оценивая запасы древесины, границы и распространенность пород, возможность рубки, необходимость новых насаждений. Но только через несколько десятков лет они могут вновь провести обследование тех же лесных массивов, оценить изменения на ранее обследованных территориях. А значительная часть лесов еще вообще не обследована. В СССР предстоит провести инвентаризацию не менее половины лесных угодий [75].

Для изучения лесного фонда широко используется аэрофотосъемка и визуальные наблюдения с борта самолета. Аэрометоды оказались эффективным средством изучения лесных массивов, но для обследования лесов на больших территориях потребовалось много аэрофотоснимков, каждый из которых охватывает сравнительно небольшие участки леса. Поэтому обследование огромных лесных массивов требует значительного времени. Работа лесоустроителей и данные аэрофотосъемок не всегда обеспечивают необходимой информацией о состоянии лесов. С появлением космических летательных аппаратов стало возможным изучение лесов космическими методами, что особенно важно для исследования лесных массивов отдаленных районов Сибири и Дальнего Востока.

Для обследования и инвентаризации лесного фонда, для картографирования лесов с успехом используются снимки, полученные из космоса. На космических снимках, особенно на

цветных и многозональных, можно различать зоны хвойных и лиственных лесов, лесные реки, озера и болота, безлесные пространства. При этом один снимок охватывает сотни и даже тысячи км². Как показывают расчеты, при использовании космических фотоснимков трудовые и финансовые затраты в 3—4 раза меньше, чем при использовании аэрофотоснимков. В настоящее время космические фотоснимки широко используются для картографирования и инвентаризации лесов, для контроля участков леса, пораженных вредителями и болезнями, для контроля изменений в лесном фонде, вызванных деятельностью человека.

Визуальные наблюдения могут быть использованы для выявления участков леса, подверженных воздействию неблагоприятных факторов человеческой деятельности. На начальной стадии эти факторы определяются визуально в виде слаборазличимых изменений цветовых контрастов и практически не регистрируются при фотосъемке. Использование результатов визуальных наблюдений позволяет выявлять эти изменения на ранней стадии. Видимые из космоса цветовые контрасты лесных массивов в ряде случаев связаны с наличием геологических образований, таких, как линеаменты и кольцевые структуры.

По заданию специалистов лесного хозяйства В. В. Коваленок и А. С. Иванченков при полете на «Салюте-6» в 1978 г. изучали возможность определения состояния лесных массивов в труднодоступных районах после стихийных бедствий, таких, как ураганы и наводнения.

Космонавты обратили внимание на то, что в районах стихийных бедствий в лесных массивах различаются участки поваленного леса, ориентированного по направлению движения ураганов. В качестве полигона были использованы лесные массивы Приморского края.

Систематические наблюдения за лесными массивами позволили сделать вывод о том, что их инвентаризацию из космоса эффективнее всего проводить осенью, когда типы лесных пород наиболее контрастно отличаются по цветной гамме.

Во время полета пятой экспедиции на «Салюте-6» в марте — апреле 1981 г. В. В. Коваленок и В. П. Савиных заметили, что зимой при наличии снега участки поваленного леса наблюдаются значительно увереннее.

Существенна роль визуальных наблюдений и при обнару-

жении лесных пожаров. Одним из первых лесные пожары наблюдал Г. Т. Береговой с «Союза-3» в октябре 1968 г. В дальнейшем лесные пожары наблюдали многие космонавты.

Ряд наблюдений лесных пожаров выполнили космонавты во время группового полета космических кораблей «Союз-6», «Союз-7», «Союз-8» в октябре 1969 г., с орбитальной станции «Салют» в июне 1971 г. 20 июня 1975 г. П. И. Климук и В. И. Севастьянов, пролетая на орбитальной станции «Салют-4» над Канадой, видели в тайге сравнительно небольшой пожар, дым от которого распространялся на 200—300 км. Гораздо более мощные пожары космонавты наблюдали в Африке, Австралии и Южной Америке. В частности, 23 июня 1975 г. при полете над Африкой они видели сразу сотни пожаров — горела африканская саванна. В июле — августе 1976 г. лесные пожары наблюдали Б. В. Волинов и В. М. Жолобов с орбитальной станции «Салют-5», а в октябре 1977 г. В. В. Коваленок и В. В. Рюмин с космического корабля «Союз-25». По наблюдению экипажа «Союза-25», в Африке, так же как и в Австралии и Латинской Америке, отмечается большое число лесных пожаров, дым от которых стелется на тысячи километров. Регулярно передавали на Землю сведения о лесных пожарах, наблюдаемых с борта орбитальной станции «Салют-6», Г. М. Гречко и Ю. В. Романенко. В частности, в декабре 1977 г. они неоднократно сообщали о лесных пожарах в Африке.

Много лесных пожаров на всех континентах видели члены экипажа третьей экспедиции «Салюта-6» в 1979 г. По рассказу В. В. Рюмина, то здесь, то там были видны длинные шлейфы дыма, а несколько пожаров, расположенных относительно близко друг от друга, создавали впечатление дымящихся фабричных труб [181]. Много лесных пожаров в Сибири, в районе озера Байкал, космонавты наблюдали летом 1979 г. По впечатлению В. В. Рюмина, пожары в Сибири выглядят совершенно иначе, чем в Африке: дымовой шлейф сибирских лесных пожаров более густой и черный. Космонавты убедились, что далеко не во всех пожарах виноват человек. Очень часто источниками пожаров являлись грозы. После грозы почти всегда образуется полоса очагов загорания, которая тянется на тысячи километров.

Большое число лесных пожаров в Африке, Австралии и Сибири в 1980 г. зафиксировано четвертой экспедицией на «Салюте-6». В 1982 г. в течение всего полета основной экипаж

первой экспедиции на «Салюте-7» А. Н. Березовой и В. В. Лебедев следили за возникновением лесных пожаров и немедленно передавали на Землю сообщения об обнаруженных очагах пожаров. Они занимались и инвентаризацией лесных ресурсов, поскольку из космоса хорошо различаются хвойные и лиственные породы. Сообщения о лесных пожарах, наблюдавшихся с «Салюта-7» в 1983 г., сразу же передавали на Землю В. А. Ляхов и А. П. Александров. В 1985 г. очень много пожаров в Африке видели с «Салюта-7» В. А. Джанибеков и В. П. Савиных. По словам В. А. Джанибекова, за пятнадцать минут полета над Африкой видно до 35–40 очагов пожаров в саванне. Дымовой шлейф от больших пожаров тянется через Атлантику до берегов Америки.

Результаты космических исследований позволили на новом качественном уровне управлять лесным фондом страны. Инвентаризация и картографирование лесов по материалам многозонального фотографирования из космоса в сочетании с выборочной крупномасштабной аэрофотосъемкой позволило сократить затраты труда и средств в пять раз. Это особенно ценно для резервных лесов Сибири и Дальнего Востока, где традиционные методы лесоустройства не обеспечивают оперативной информации. «Метод оценки состояния лесов, поврежденных пожарами и стихийными бедствиями, позволяет правильно оценить ущерб, наблюдать за динамикой изменения состояния поврежденных площадей, прогнозировать и предупреждать превращение гарей в лесопатологические очаги, планировать меры по хозяйственному освоению участков, пострадавших от пожара, проектировать мероприятия по восстановлению лесов. Для этого используется информация, оперативно поступающая со спутников и орбитальных станций» [161].

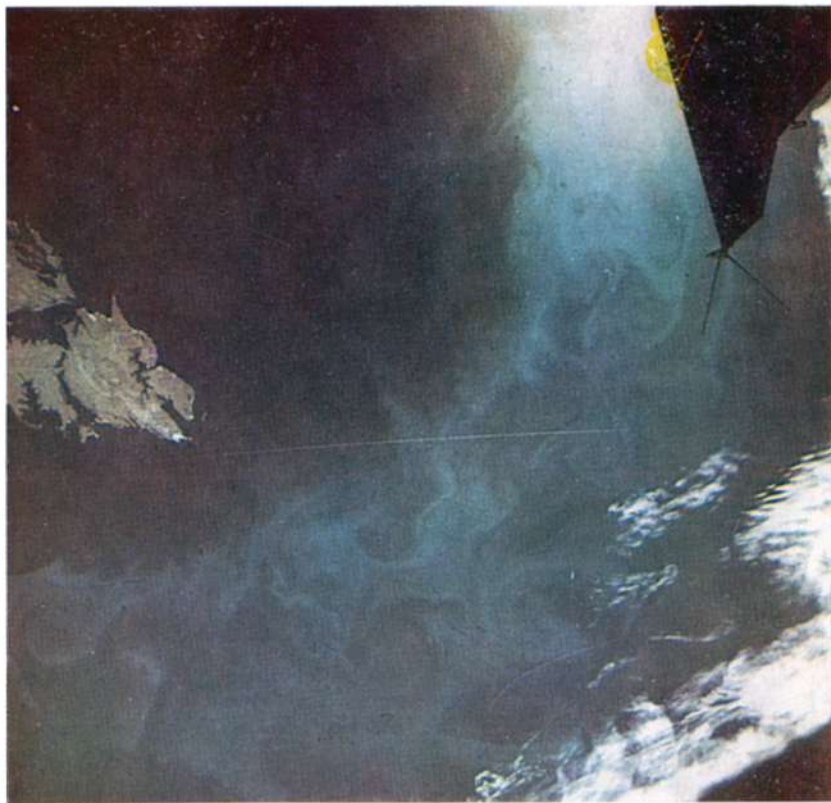
6.4. Исследования Мирового океана

В ходе советских экспедиций на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» были определены основные направления исследования Мирового океана. Это изучение шельфа и минеральных ресурсов, динамических или термодинамических образований на поверхности Мирового океана, а также исследование биологической продуктивности и контроль загрязне-

ний. Один из первых снимков динамических вихревых образований диаметром более 50 км был получен Г. М. Гречко для океанической поверхности в районе Фолклендских островов. На этом снимке отчетливо видны фрагменты течения вблизи Восточного Фолкленда и сформировавшийся крупномасштабный циклонический вихрь.

На инфракрасных изображениях океана, полученных из космоса, хорошо видны границы теплых и холодных течений, а также вихри на струях этих течений. Сопоставляя два разнесенных по времени, пространству и спектральному диапазону снимка, характеризующих динамические образования на поверхности океана, можно сделать вывод или предположение о возможности визуальных наблюдений тепловых полей Мирового океана, а следовательно, и о возможности визуальных наблюдений и фотографирования динамических образований на его поверхности: фронтов и фронтальных зон, апвеллингов, течений, мезомасштабных вихрей, имеющих соответствующие перепады температуры на своих границах, достаточные для формирования оптических контрастов, которые могут восприниматься или регистрироваться из космоса через толщу атмосферы. Анализ репортажных сообщений и записей в бортовом журнале второй основной экспедиции на «Салуте-6» свидетельствует, что в ходе визуальных наблюдений в рабочем порядке решалась задача изучения динамики течений и внутренних волн, наблюдения фронтальных зон, крупномасштабных циркуляций, обнаружения полей планктона и наведения на них рыбопромысловых судов, а также изучения процесса взаимодействия атмосферы и океана при зарождении циклона и прогноза траекторий его движения над океаном. Систематические наблюдения, проводимые В. В. Коваленком, позволили выявить наличие на поверхности Мирового океана различных уровней вод, воспринимаемых визуально. Эти сообщения вызвали не столько сенсацию, сколько скептическое недоверие, вплоть до сообщений В. А. Ляхова и В. В. Рюмина об этом феномене в 1979 г. Тем не менее 1 октября 1978 г. в бортовом журнале Коваленка появляется запись: «Нет и не может быть сомнения в наличии различных уровней воды в океане. Явление редкое, но очевидное. Существует, видимо, очень недолго. При повторных пролетах над этими районами они (различные уровни) не наблюдаются». Одним из важнейших результатов визуальных наблюдений за океаном явилось

определение оптимальных условий наблюдения за биопродуктивными районами и динамическими образованиями на поверхности (течения, фронты, циркуляция, внутренние волны). Наблюдения В. В. Коваленка изменили традиционные пред-



Фолклендское течение вблизи Фолклендских (Мальвинских) островов.

ставления о методах исследования Мирового океана, при которых визуальные наблюдения и инструментальные исследования проводились в основном в направлении надира.

Визуальные наблюдения подтвердили важнейшее теоретическое положение науки о биопродуктивности Мирового океа-



Лигурийское море, динамические образования
в зоне солнечного блика.

на: биопродуктивные зоны размещаются на границах динамически активных образований, создающих благоприятные физические условия для начальной стадии формирования биологической пелагиали океана — фотосинтеза. Во всех случаях (100 %) наблюдений биологически активные зоны «сидели» на динамических образованиях: границах течений, фронтальных зонах, зонах апвеллингов, на вихревых образованиях. При этом районы биологической продуктивности характеризуются специфическими цветовыми контрастами по типу преобладающей окраски живых организмов в приповерхностной толще воды. Преобладающими цветами являются зеленый, бурый, коричневый, желтовато-бирюзовый, желтый, а также производные от них. В отдельных случаях наблюдается смещение цветов или граничное их существование. Было выявлено, что одновременное наблюдение цветовых аномалий на поверхности океана и динамических его образований, за редчайшим исключением, невозможно. В результате длительных наблюдений была определена «геометрия», т. е. направление и углы визирования в зависимости от азимута и зенитного угла Солнца по отношению к наблюдателю и поверхности океана. В итоге получен очень краткий вывод: цветовые контрасты надо наблюдать в противоположной от Солнца зоне по обе стороны от солнечного вертикала, а динамические образования — в сторону Солнца, также по обе стороны от солнечного блика. Этот вывод был подтвержден при анализе процесса формирования яркостного поля и световых контрастов на поверхности Мирового океана [90]. Он нашел практическое применение при разработке методов изучения Мирового океана с автоматических космических аппаратов, на которых в настоящее время широко используются сканирующие оптические приборы, позволяющие регистрировать контрасты не только в надир, но и в других направлениях.

В длительных космических полетах на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7» проводились исследования цветового зрения космонавтов с использованием специально разработанных бортовых цветовых мир (БЦМ), включающих около 30 эталонных образцов цвета, и Атласа цвета АЦ-1000. С 1981 по 1985 г. проводились эксперименты по изучению цветовых признаков типовых природных объектов и их количественная визуальная оценка с помощью Атласа цвета АЦ-1000 и визуального колориметра «Цвет-1» [162].

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Космонавтами выполнено около 300 цветовых экспериментов по Мировому океану. Получен большой статистический материал по цветовой изменчивости различных океанических образований, таких, как поля планктона, апвеллинг, течения, выносы рек, подводный рельеф, загрязнения и т. п. Данные по цветовым параметрам районов океана с повышенной биопродуктивностью оперативно передавались рыбопромысловым судам. Проводились также подспутниковые эксперименты по оценке предельных возможностей зрительной системы по обнаружению малоконтрастных природных образований. Эти эксперименты подтвердили уникальные возможности зрительной системы по сравнению с инструментальными исследованиями из космоса.

Анализ результатов цветовых экспериментов во время длительных полетов показал, что высокие параметры цветоразличения сохраняются в течение всего полета в области голубых и желто-зеленых цветов, что существенно при решении практических задач по дистанционному наблюдению океана, сельскохозяйственных угодий, лесов и пустынь.

Сопоставление цветов, определенных по их спектральным характеристикам, с результатами визуальных наблюдений из космоса показало значительно более высокие насыщенные и цветовые контрасты таких визуально наблюдаемых природных образований, как океан, пустыни, пастбища. Этот эффект неоднократно отмечался всеми космонавтами — участниками длительных космических экспедиций. Возможно, что здесь сказывается влияние спектральной изменчивости передаточной функции атмосферы.

Космонавты, наблюдавшие океан с орбитальных станций «Салют-6», «Салют-7» и «Мир», при передаче информации о биопродуктивных районах в абсолютном большинстве случаев использовали, как уже было отмечено выше, бурый, зеленый, коричневый, бирюзовый, желтый и красный цвета, а фон характеризовался голубым цветом и его производными.

Наиболее актуальной задачей является исследование изменчивости Мирового океана, так как во многих случаях изучение изменчивости информативнее нежели само среднее состояние. К изменчивым параметрам относятся температурные аномалии поверхности воды, океанические течения и противотечения, крупномасштабные вихревые образования, внутренние волны, апвеллинги, фронты и фронтальные зоны.

Одной из задач космических исследований Мирового океана является наблюдение и регистрация особых явлений и процессов в океане при взаимодействии океана и атмосферы. В шельфовой зоне предметом наблюдений и исследований могут быть так называемые топогенные вихри, т. е. вихри с горизонтальной осью вращения, образующиеся нагонными про-



Циклон над Южной Америкой.

цессами в поверхностном слое. С этими вихрями связаны зоны подъема и опускания вод. Это может формировать в прибрежной зоне параллельно береговой черте полосы с различной прозрачностью воды и нарушать топографию поверхности.

О целесообразности возложения на экипажи океанологических задач, а также их специальной подготовки по теоретическим основам океанологии, гидрологии, метеорологии и физики атмосферы экипажи, выполнявшие полеты на орбитальных станциях, высказывались неоднократно. Приведем некоторые записи из дневника В. В. Коваленка, выявившего оптимальные

условия наблюдения за океаническими образованиями: «1 октября 1978 г. Возможностям наблюдений (океана — *ред.*) нет предела. Чем больше смотришь, тем больше и глубже видишь. Мое убеждение после 100 суток полета заключается в том, что разгадка многих метеорологических явлений находится на стыке таких наук о Земле, как океанология, гидрология, метеорология, физика атмосферы. По всей вероятности, есть районы, узлы, которые в соответствующую пору года «куют» погоду земного шара. Из них основными являются арктический, антарктический и субтропический. Именно с арктических и антарктических районов устремляются генеральные воздушные массы. Как правило, их бывает три-четыре. В Атлантический океан из северных широт основные массы воздуха поступают с Баренцева моря и со стороны Гренландии. Над океаном они перемещаются по течению до экватора, а иногда и пересекают его. Бывают случаи, когда воздушный поток раздваивается. В районе Центральной Америки образуется «гордиев» узел» с эпицентром на траверзе Флориды. Здесь наблюдаются сводовые поднятия вод, течения, вихри. С юга Атлантики также в регион Карибского моря смещаются характерно ориентированные воздушные потоки (одни из них ориентированы по Бразильскому течению). Здесь северная воздушная масса встречается с южной. В Тихий океан с севера воздушная масса поступает через Берингово море. Она тоже раздваивается: одна часть перемещается вдоль Курошио, другая — вдоль Тихоокеанского и Калифорнийского течений до траверза Калифорнии. Из южного полушария через Индонезию и острова Фиджи, Самоа и Гавайские антарктическая воздушная масса также перемещается к траверзу Калифорнии, где встречается с северной воздушной массой. И тогда в этих узлах такое творится! Все сверкает, все в дисках, все в грибах, все в воронках! Появляется глаз, вырастает (образуется — *ред.*) тайфун. Это на траверзе Калифорнии. Район встреч воздушных масс находится в широтной зоне 10—30°, где очень сильное влияние оказывает система экваториальных течений. Иногда воздушная масса «переваливает» через Центральную Америку в зоне Панамского перешейка в Атлантику. Тогда в районе Центральной Атлантики творится невероятное! Циклоны достигают 800—1000 км в диаметре. Их центры располагаются вблизи 30° с. ш. В Саргассовом море встречаются три воздушные массы. Здесь максимум динамических образо-

ваний. Здесь я наблюдал сводовые поднятия вод, видел разные уровни воды. На траверзе Гватемалы — Калифорнии тоже разные уровни. Эти вещи (разные уровни — *ред.*) не единичны, их только надо научиться как-то фиксировать. И что самое интересное! Облачность отслеживает океан (динамику — *ред.*). Она или следует над осью океанических течений, или идет рядом, т. е. параллельно им, но отслеживает их даже на поворотах.

Очень характерны в этом отношении течения в Атлантике (Гольфстрим и второе, параллельное ему, которое ближе к Африке (речь идет, видимо, о противотечении — *ред.*)).»

На шестом суточном витке 7 сентября В. В. Коваленок описывает Южное Пассатное течение у Маскаренских островов: «От Маскаренских островов шли вдоль течения. Оно наблюдается следующим образом: вода темнее по отношению к остальному океану. Отчетливо видны линии завихрений, как одиночных, так и множественных. На течении при солнечной подсветке видна «игра» воды, рябь, тогда как на спокойном океане буквально рядом этого нет. Форма течения произвольная. Местами оно сужается до 5 км, а местами расширяется до 20 км. Интересно смотрится рябь: как волнение воды в лунном свете. При подсветке Солнца отчетливо видны волны, иногда сверкают барашки, как белые точки.

Сделать вывод о направлении течения трудно. Просто не владею признаками, чтобы сказать что-то на эту тему. Течения подобного рода наблюдались и раньше.

Предположение: Иногда на стыках этих течений наблюдается что-то вроде разного уровня воды по высоте. Может ли такое быть?»

Исключительный интерес представляет запись Коваленка, сделанная на 122-е сутки полета 15 октября 1978 г.:

«Вот это да! По «Маяку» услышал известие о работе советской и американской экспедиций по изучению огромных океанических вихрей по программе ПОЛИМОДЕ. А мы их видим постоянно во многих местах!»

Экипажи орбитальных станций при выполнении длительных полетов, в зависимости от их продолжительности, передавали на Землю от 150 до 450 репортажных сообщений по океану, предварительный анализ которых позволяет сделать вывод, что визуально-инструментальными методами наблюдения можно получать большой объем научной и практи-

ческой информации. В частности, космонавты наблюдают взаимодействие океанических течений с неоднородностями рельефа океана, в результате которого на поверхности воды образуются картины, подобные орографическим облакам.

Визуальные наблюдения и инструментальная регистрация вихревой изменчивости позволяет значительно продвинуться в деле выявления форм энергообмена между океаническими вихрями и атмосферой, взаимосвязанных закономерностей процессов синоптических масштабов в этих средах. Кроме этого, индикация и регистрация полей внутренних волн позволяют специалистам проникнуть в тайны их происхождения, выделить районы их образования, определить динамическую устойчивость, измерить энергетические и пространственные характеристики, необходимые не только для науки, но и для безопасности плавания.

Несмотря на достигнутые успехи в исследованиях, например, океанических вихрей, течений, внутренних волн, биопродуктивности до сих пор нет статистически обеспеченных данных по их распределению в Мировом океане. Недостаточно еще вклад в исследование и с автоматических спутников. Разработка новой бортовой аппаратуры наблюдения и регистрации, отработка методов обработки, интерпретации и координатной привязки исследуемых или обнаруженных явлений в первую очередь диктует необходимость разработки единой программы дистанционного зондирования, судово-полигонных измерений и подводных наблюдений в интересах картографирования Мирового океана в соответствии с современными требованиями. Для решения этой проблемы необходимо совершенствование существующих визуально-инструментальных методов измерений и интерпретации космической информации, накопление статистических данных о рассматриваемых процессах по их пространственному и временному распределению, определение оптимальных спектральных диапазонов, определение и создание банка дешифровочных признаков, изучение вопросов взаимодействия океана с атмосферой, суши, региональное и тематическое картографирование.

Как показывает опыт визуальных наблюдений, полученный советскими космонавтами, с околоземных орбит видно не только дальше, но и глубже. Это относится как к наблюдениям суши, так и особенно к наблюдениям морей и океанов. Уже многие советские космонавты наблюдали из космоса дно

морей и океанов на глубинах в десятки и сотни метров. В первое время к этим наблюдениям относились очень настороженно. Дело в том что с надводных судов и даже с самолетов дно морей и океанов в лучшем случае видно на глубинах в десятки метров. Поэтому результаты наблюдений морского дна из космоса пытались объяснить оптическими эффектами, вызванными скоплением взвешенных в воде частиц, возникающими при обтекании подводными течениями неровностей рельефа дна.

Напомним историю наблюдений глубоководного рельефа дна с советских пилотируемых космических кораблей. Правда, впервые глубоководный рельеф дна из космоса наблюдал американский астронавт Гордон Купер с космического корабля «Джемини-5» в августе 1965 г. Из советских космонавтов первыми глубоководный рельеф дна наблюдали А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов с космического корабля «Союз-9» в июне 1970 г. [151]. Оказалось, что из космоса хорошо виден рельеф дна в прибрежных районах, продолжения русел рек, подводные горные хребты и отмели в морях и океанах. С «Союза-9» было видно, как постепенно, уступами, опускается в океан Южноамериканский континент, террасами уходит в глубину дно озера Иссык-Куль, а в районе Сочи у мыса Адлер черноморское дно плавно понижается при удалении от берега. Из космоса сквозь толщу морской воды на протяжении нескольких десятков километров от побережья просматриваются продолжения больших рек, таких, как Нил и Амазонка. А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов первыми не только наблюдали дно морей и океанов, но и обратили внимание на то, что волнение морей и океанов, рябь на их поверхности не являются помехами при наблюдениях рельефа дна из космоса.

Через четыре года, в августе 1974 г., рельеф дна на глубинах в сотни метров с космического корабля «Союз-15» наблюдали Г. В. Сарафанов и Л. С. Демин [47]. Им удалось увидеть дно Мозамбикского пролива, отделяющего остров Мадагаскар от Африки. Космонавты видели дно, покрытое валами, которые тянулись вдоль пролива. Структура дна пролива напоминала структуру песчаного дна мелкой речушки. Естественно, что размеры валов в проливе во много раз больше, чем в речушке, но определить их истинные размеры не удалось. Конечно, космонавты не могли определить породы, из которых состояли валы, и слово «песчаные» появилось по-

тому, что обычно валы состоят из сыпучего материала, сравнительно легко перемещаемого течениями. Существование валов позволило высказать предположение о том, что в проливе есть сильное течение, способное перемещать материал дна [97]. Действительно, в проливе есть довольно сильное Мозамбикское течение.

Еще через год, в июле 1975 г., члены экипажа второй экспедиции на орбитальной станции «Салют-4» П. И. Климук и В. И. Севастьянов провели ряд наблюдений за рельефом дна Атлантического океана и Средиземного моря. Об этих наблюдениях Севастьянов рассказывает так:

«Только что проходили Атлантический океан — от острова Нью-Фаундленд до Канарских островов. Исключительно хорошо видны течения в океане. Видно дно океана в районе мелей. Чудо просто!..

Вдоль европейских берегов Средиземноморья, покрытых изумрудной полоской субтропической зелени, под водой просматривается прибрежный шельф и продолжение рельефа континента...

Впечатляет интересный вид восточного берега Южной Америки: рельеф континента продолжается и под водой. Различимы три террасы, уходящие в глубь океана. На дне отчетливо просматривается продолжение русел рек, которые прорыли себе глубокие каньоны под водой. Далеко в океан выносятся мутные воды Амазонки. Причем можно наблюдать, как они глубинными течениями уносятся под слоем чистой воды».

Подводный рельеф дна Тихого океана в районе Соломоновых островов наблюдали члены основного экипажа второй экспедиции на «Салюте-6» В. В. Коваленок и А. С. Иванченков в июне 1978 г. Эти наблюдения проводились с орбиты, близкой к солнечной, при небольших углах возвышения Солнца над горизонтом. Во время полета Коваленок и Иванченков предприняли попытку систематизации условий наблюдения подводных образований. С этими результатами были ознакомлены следующие экипажи орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7», которые впоследствии продолжили наблюдения за рельефом дна морей и океанов.

В следующем 1979 г. наблюдения за рельефом дна Тихого океана вели члены основного экипажа третьей экспедиции на «Салюте-6». О том, как проводились эти наблюдения, очень

образно рассказал в книге «Космос — землянам» (М., 1981) летчик-космонавт СССР Г. Т. Береговой:

«Шел очередной сеанс связи с экипажем научной орбитальной станции «Салют-6». Космонавты В. Ляхов и В. Рюмин вели визуальные наблюдения над Тихим океаном, и вдруг слышим:

«Заря», сообщите океанологам — видим участок подводного горного хребта.

— Принято, — ответила Земля.

И через минуту:

— Уточните район «Протоны». Океанологи не верят: считают, что этого не может быть. Вам не померещилось?

— Да нет, не померещилось. Ясно видим оба. Район юго-западнее Гавайских островов.

Как убедились на Земле, в этом районе действительно под водой простиралась горная цепь. Но ведь она на глубине сотен метров. А по законам физики толщина воды более ста метров совершенно не прозрачна. Как могли «Протоны» заглянуть невооруженным глазом на гораздо большие глубины. Было от чего прийти в недоумение ученым.

Секрет удивительной сверхпрозрачности океанской воды пока не открыт. Нет даже какой-либо гипотезы. Специалисты лишь предполагают, что при определенном угле наблюдений и при особых условиях освещенности космонавты могли увидеть не сами горы, а, скажем, оптический эффект, вызванный скоплением взвешенных в воде частиц. А скорость их оседания, — это зависит от вертикальных перемещений, которые в свою очередь могут быть связаны с рельефом океанского дна.

Конечно, чтобы подтвердить или опровергнуть эти предположения, необходимо провести неоднократные наблюдения, выполнить исследования на математических или, возможно, оптических моделях. Приведут ли изыскания к фундаментальному открытию? Не берусь этого утверждать. Зато совершенно очевидно другое: космонавты, озадачив океанологов, подказали им новое, судя по всему неожиданное направление исследований океана».

В мае—июне 1980 г. подводный рельеф дна в ряде участков Атлантического и Тихого океанов на глубинах в сотни метров наблюдали члены основного экипажа четвертой экспедиции на «Салюте-6» Л. И. Попов и В. В. Рюмин [120].

В частности, в Атлантическом океане они наблюдали пятно диаметром 30—40 км в районе с координатами около 23° S и $\Lambda 9^{\circ}$, которое может быть отождествлено с подводной горой Юинга. В Тихом океане около 35° N и $\Lambda 164^{\circ}$ на глубине 249 м космонавты видели гору на восточном фланге возвышенности Шатского.

По рассказам космонавтов, подводные горные хребты воспринимаются так же, как и горные хребты на поверхности Земли. Они видны как образ горы, а не как изменения оптических характеристик воды, возникающих при взаимодействии океана (главным образом, течений) с подводными горными хребтами. Подводные горные хребты отличаются от других океанических образований землисто-серым цветом, неравномерно распределенным по структуре хребта. Поэтому космонавты по визуальному восприятию к цветовым контрастам безошибочно отличают планктон или взвеси в океане от подводных горных хребтов. Анализ результатов наблюдений рельефа дна морей и океанов на глубине нескольких сотен метров показал, что они проводились при следующих условиях:

- высота Солнца над горизонтом составляла $38-40^{\circ}$;
- наблюдения проводились в направлении угла рассеяния $90-110^{\circ}$ и в направлении от надира, не превышающем $18-20^{\circ}$;
- были видны пятна одного и того же цветового контраста с некоторым изменением яркостного контраста.

В чем же дело? Почему из космоса виден рельеф дна морей и океанов на глубине несколько сотен метров? Почему этого не видно с надводного судна? Рассмотрим более подробно эту проблему. Возможность этих наблюдений, так же как и возможность любых других наблюдений протяженных источников, определяется пороговыми значениями частотно-контрастной характеристики зрительной системы наблюдателя и частотно-контрастными характеристиками наблюдаемой из космоса картины рельефа дна морей и океанов. При этом наблюдения или регистрация возможны только на тех частотах и при таких условиях, при которых видимый из космоса контраст рельефа дна превышает пороговые значения контрастной чувствительности зрительной системы или регистрирующей аппаратуры.

Пороговые контрасты зрительной системы имеют наиболее высокие значения в диапазоне частот 0,04—0,010 линий

в $1'$ и ухудшаются как в сторону более высоких, так и в сторону более низких частот (см. рис. 6.3). Следовательно, с высоты полета орбитальной станции «Салют-6» (около 350 км) наиболее благоприятные условия при наблюдении в надир наземных и морских объектов и образований с линейными размерами $1 \div 3$ км. Пороговое значение контраста зрительной системы при дневных условиях освещения для этих частот составляет около 1%. Кстати, заметим, что при наблюдении через иллюминатор при малых угловых размерах фонового поля существенно улучшаются некоторые пороговые характеристики зрительной системы космонавтов. Естественно, что для наблюдения объектов или образований с меньшими или большими размерами необходим более высокий контраст.

Видимая из космоса яркость дна морей и океанов B_d на глубине несколько сотен метров невелика по сравнению с видимой из космоса яркостью океана B_o . Поэтому дно морей и океанов можно наблюдать при условии минимальной видимой яркости океана B_o , которая включает в себя видимую из космоса яркость отраженного поверхностью океана $B_{оп}$ излучения Солнца и атмосферы и видимую из космоса яркость рассеянного толщей морской воды $B_{ор}$ излучения Солнца и атмосферы. Следовательно, выбор условий освещения и наблюдения, при которых минимально значение B_o , но еще достаточно B_d , сводится к выбору условий, при которых их отношение максимально.

Отраженное поверхностью океана излучение Солнца и атмосферы можно оценить по формулам для френелевского отражения с учетом взволнованности поверхности океана. Наиболее интенсивна составляющая, связанная с зеркальным отражением прямого солнечного излучения. От взволнованной поверхности океана Солнце отражается в виде блика или солнечной дорожки, угловые размеры которых зависят от степени взволнованности океанской поверхности и могут достигать $\pm 30^\circ$ во все стороны от направления зеркального отражения. Это излучение частично поляризовано в соответствии с законами френелевского отражения. Естественно, что наблюдения подводных объектов и образований в направлении блика, особенно в его самой яркой зоне ($\pm 15^\circ$ от направления зеркального отражения), практически невозможны вследствие высокой яркости океана.

Составляющая $B_{оп}$ включает отраженное поверхностью

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

океана излучение атмосферы. Оно также частично поляризовано вследствие того, что, во-первых, поляризация происходит при отражении от океанской поверхности в соответствии с законом френелевского отражения. Во-вторых, известно, что излучение атмосферы также частично поляризовано, причем максимум поляризации для угла рассеяния 90° , а степень поляризации зависит от замутненности атмосферы. Следует отметить, что над океаном расположена наиболее чистая, наименее замутненная атмосфера, поэтому степень поляризации рассеянного атмосферой солнечного излучения при углах рассеяния 90° будет достаточно высока. Следовательно, при наблюдении поверхности океана под углом рассеяния 90° и в направлениях, близких к углу Брюстера, частично поляризованное излучение атмосферы будет существенно уменьшаться за счет эффекта поляризации при френелевском отражении от поверхности океана. Таким образом, величина $B_{оп}$ будет минимальна при наблюдении вне зоны бликов от прямого солнечного излучения при углах рассеяния около 90° и в направлениях, близких к углу Брюстера.

Составляющая $B_{ор}$ зависит в основном от уровня солнечной освещенности и индикатрисы рассеяния морской воды, которая сильно вытянута вперед, слегка вытянута в противоположном направлении и имеет минимум при углах рассеяния $120 \div 130^\circ$.

Сопоставляя условия минимизации значений $B_{оп}$ и $B_{ор}$, можно предположить, что минимальное значение видимой яркости океана B_o будет при наблюдении в направлении вне зоны бликов от прямого солнечного излучения, при углах рассеяния между 90 и 130° и в направлениях, при которых угол виртуирования не превышает угла Брюстера.

Несколько слов о видимой из космоса яркости дна морей и океанов B_d . Условия наблюдения дна морей и океанов наиболее благоприятны при максимальном значении контраста

$$K_d = \frac{B_d}{B_o + B_d}, \quad (1)$$

который зависит от условий освещения, условий наблюдения и прозрачности морской воды. Анализ у этих условий и контрастной чувствительности зрительной системы показывает, что глубины, на которых возможны наблюдения рельефа дна

морей и океанов, существенно зависят от высоты, на которой находится наблюдатель. Этот неожиданный эффект связан с тем, что в элемент разрешения зрительной системы космического наблюдателя попадает не только прямое излучение от

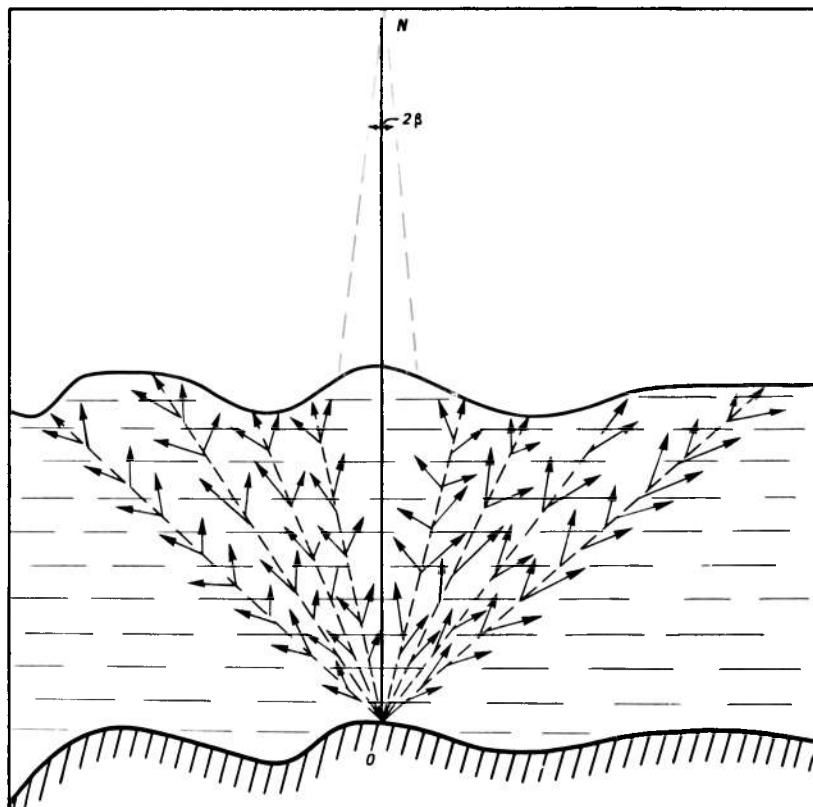


Рис. 6.10. Схема наблюдения рельефа дна океана.

O — объект, N — наблюдатель, 2β — разрешающая способность зрительной системы космонавта.

дна морей и океанов, но и та его часть, которая рассеивается толщей морской воды. При этом чем выше находится наблюдатель, тем больше глубина, на которой виден рельеф дна морей и океанов. Кроме того, при наблюдении из космоса прак-

тически не сказывается искажающее влияние взволнованной поверхности океана. Кстати, и оценки прозрачности морской воды, полученные по результатам экспериментальных исследований, также будут зависеть от высоты, на которой находится наблюдатель (или измерительная аппаратура), и частотно-контрастной характеристики зрительной системы (или измерительной аппаратуры).

Поясним это схемой, приведенной на рис. 6.10. Излучение от объекта O , распространяющееся в морской воде и в атмосфере в направлении к наблюдателю ON , вследствие многократного рассеяния в морской воде распространяется и в других направлениях, условно показанных на рис. 6.10. При этом на поверхности океана образуется светящаяся область, размеры и распределение яркости в которой зависят от глубины объекта O и рассеивающих свойств морской воды. Тогда в элемент разрешения зрительной системы наблюдателя N , имеющий при контрасте K_d разрешающую способность 2β , в зависимости от высоты H , на которой находится наблюдатель, будет попадать световой поток от площадки на поверхности морской воды, ограниченной телесным углом, определяемым разрешающей способностью с линейным углом 2β . Естественно, что при наблюдении с разных высот H в элемент разрешения зрительной системы будет попадать различный световой поток. Если по этим наблюдениям будут проводиться оценки прозрачности морской воды, то они также будут зависеть от высоты, с которой проводились наблюдения. Следовательно, при одинаковом угловом разрешении и возможность наблюдения рельефа дна морей и океанов будет существенно зависеть от величины H .

Здесь рассмотрены условия наблюдения одной из точек подводного объекта или образования. Аналогично можно рассмотреть и условия наблюдения ряда точек, характеризующих излучение протяженного подводного объекта или образования, угловые размеры которого при наблюдении из космоса его контрастов K_d превышают разрешающую способность зрительной системы. Рассеяние в морской воде приведет к тому, что видимое изображение протяженного подводного объекта или образования будет размыто, при этом степень размытия зависит от глубины подводного объекта или образования и рассеивающих свойств морской воды. При наблюдении с небольших высот подводных объектов или образова-

ний, находящихся на глубине нескольких сотен метров, наблюдатель видит их размытое изображение, которое зрительной системой не воспринимается в виде четкой картины. Примерно также зрительной системой не воспринимается в виде четкого изображения большая картина с близкого расстояния. С увеличением высоты, на которой находится наблюдатель, угловые размеры размытия изображения уменьшаются и постепенно зрительная система начинает воспринимать сначала отдельные, наиболее контрастные детали наблюдаемой картины рельефа дна, а затем всю ее целиком. При этом размытие видимой картины рельефа дна приводит к тому, что в ней практически невозможно различать небольшие детали, а видны только крупные детали и образования.

Интересно отметить, что примерно аналогичная картина возникает при наблюдении или регистрации из космоса поверхности Земли через облачный покров. Многие космонавты через облачный покров на ночной стороне Земли хорошо видели освещенные города по светящемуся пятну на поверхности облаков. Ночные города через облачный покров одними из первых наблюдали В. М. Комаров, К. П. Феоктистов и Б. Б. Егоров с космического корабля «Восход» в октябре 1964 г. [117].

Иногда по контрастам в светящемся пятне на поверхности облаков можно было различить отдельные, наиболее ярко освещенные районы и магистрали городов, очертания которых просматривались через не очень плотные облака. Кстати, размытую границу светящегося пятна от ночных городов на облачном покрове можно видеть и с поверхности Земли на окраине городов. Такую картину один из авторов часто наблюдал на окраине Ленинграда, прогуливаясь в темное время суток по берегу Финского залива в Гавани.

На дневной стороне Земли из космоса также можно наблюдать и регистрировать через облачный покров крупномасштабные высоконтрастные объекты и образования, расположенные на поверхности суши и особенно на поверхности океана. Примером регистрации таких образований является фотография, приведенная в [75], двух довольно крупных айсбергов, окруженных множеством сравнительно небольших льдин. Несмотря на то что часть океана и айсбергов, а также льдин была покрыта не очень плотным облачным покровом, на фотографии хорошо видны огромные айсберги, даже те их

части, которые покрыты облаками. Небольшие льдины через облачный покров не видны.

Изображения покрытых облаками частей айсбергов на этой фотографии сформировано в основном рассеянным облаками излучением айсбергов, поэтому они размыты и на небольшом расстоянии от облаков не воспринимаются как изображения айсбергов. Наблюдатель, находящийся на небольшом расстоянии от облаков, в лучшем случае заметит, что над айсбергами облачный покров немного ярче, чем над остальной поверхностью океана. Возможность наблюдения и фотографирования из космоса через дневные облака крупных айсбергов объясняется их большой яркостью, значительными размерами и высоким контрастом между ними и поверхностью океана.

Такая же картина может быть зарегистрирована в диапазоне теплового излучения инфракрасной области спектра. Здесь в окнах прозрачности атмосферы по рассеянному холодным облаками тепловому излучению подстилающей поверхности и днем и ночью из космоса можно регистрировать тепловые контрасты между сравнительно крупными участками подстилающей поверхности. Например, на холодных облаках будет регистрироваться береговая черта морей, океанов, крупных озер и водохранилищ, если температуры поверхности воды и суши отличаются между собой на несколько градусов Цельсия, но значительно превышают температуру облаков.

Естественно, что при наблюдении или регистрации через облака размывается видимая картина ночных городов или тепловых контрастов подстилающей поверхности. В ней невозможно различить небольшие детали, но можно увидеть или зарегистрировать контрастные образования больших размеров. Степень размытия облаками видимой или регистрируемой картины подстилающей поверхности зависит от высоты облачного покрова и рассеивающих свойств облаков. Чем выше облачный покров и чем плотнее облака, тем больше степень размытия.

По данным прямых измерений с автоматических межпланетных станций «Венера» известно, что на Венере существует очень плотная атмосфера и достаточно плотный облачный покров. При этом венерианские облака расположены на высоте 45—55 км, т. е. значительно выше земных. Возникает вопрос — можно ли через столь плотную атмосферу и высокий

облачный покров по рассеянному ими излучению зарегистрировать тепловые контрасты на поверхности Венеры? Ответ на него совсем не прост. Можно высказать только некоторые предположения. В связи с тем что венерианские облака расположены на больших высотах, через них если и можно регистрировать, то только достаточно высокие тепловые контрасты между участками поверхности Венеры, размеры которых сопоставимы или превышают высоту ее облачного покрова. Естественно, что регистрация тепловых контрастов на поверхности Венеры возможна только в инфракрасных «окнах» прозрачности ее атмосферы. Для контроля влияния собственного излучения венерианской атмосферы регистрация должна проводиться одновременно в ряде участков инфракрасной области спектра, включающих как «окна» прозрачности, так и полосы поглощения атмосферы Венеры. Тогда по различию тепловых контрастов в «окнах» и полосах поглощения, по-видимому, можно будет судить о крупномасштабных тепловых контрастах на поверхности Венеры.

Рассеяние света в межзвездном и межпланетном пространстве и его собственное излучение также участвуют в формировании наблюдаемых или регистрируемых нами картин далеких звезд, звездных ассоциаций, галактик и туманностей. Особенно заметно это влияние в инфракрасной области спектра. Хорошо известно, например, избыточное инфракрасное излучение некоторых звезд, связанное с тем, что тепловое излучение межпланетной и межзвездной пыли в инфракрасной области спектра вносит значительно более существенный вклад, чем рассеянное излучение в видимой и ближней инфракрасной областях спектра.

Качественно можно показать, что наиболее благоприятные условия для наблюдения из космоса рельефа дна морей и океанов, линейные размеры отдельных образований которых составляют несколько километров, создаются на высоте около 350 км. В связи с этим можно также отметить, что при измерении прозрачности морской воды с помощью белого диска с высоты полета самолета или космического аппарата результаты будут более достоверными, если использовать белый диск таких размеров, при которых его угловой размер будет соответствовать наилучшему значению порогового контраста зрительной системы. Как было показано в п. 2.6, волнение морей и океанов не оказывает существенного влияния



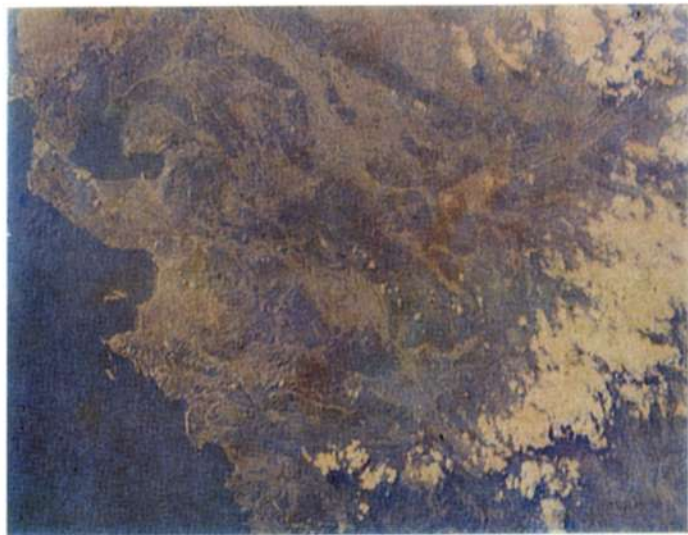
Бассейн реки Амазонки.

на наблюдения из космоса (без использования оптических приборов) подводных объектов и образований, угловые размеры которых превышают разрешающую способность зрительной системы космонавта.

При одинаковой прозрачности морской воды значения B_d будут максимальными в случае наблюдения в надир при солнце, находящемся вблизи зенита. Однако при этих условиях наблюдения в поле зрения попадают яркие солнечные блики, что существенно уменьшает видимый из космоса контраст подводного образования на фоне бликующей поверхности моря или океана. Наиболее благоприятные условия наблюдения подводных объектов и образований, по всей вероятности, следующие: высота Солнца над горизонтом $30-60^\circ$; углы рассеяния $90-150^\circ$; углы визирования, не превышающие $30-40^\circ$ от направления надира вне зоны бликов.

Таким образом, рассеяние света промежуточной средой хотя и размывает изображение, но вместе с тем участвует в переносе излучения и образовании размытых изображений. При наблюдении или регистрации таких размытых изображений с больших расстояний не видны мелкие детали, но хорошо различаются крупномасштабные образования, размеры ко-

торых больше степени размытия изображения. При этом необходимо, чтобы угловые размеры размытия изображения были бы сопоставимы с угловыми размерами элементов разрешения зрительной системы или регистрирующей аппаратуры.



Северное побережье
Средиземного моря.

Анализ результатов наблюдений советских космонавтов показывает, что из космоса можно наблюдать и рельеф дна рек, озер, водохранилищ, но, по-видимому, на меньших глубинах в связи с более высокой замутненностью речной и озерной воды. Нередко из космоса крупные реки были видны в виде желтых извивающихся лент, что, скорее всего, связано с цветом их песчаного дна. В. В. Коваленок и А. С. Иванченков с «Салюта-6» наблюдали интересную картину, возникающую при слиянии рек Риу-Негру и Риу-Бранку в Южной Америке. Космонавтам казалось, что: «Риу-Негру совершенно чистая, прозрачная, а Риу-Бранку — кофейного цвета. Сливаясь, они текут 200—300 км, не перемешиваясь. Один берег — коричневый, другой — чистый». Можно предположить, что видимые из космоса цвета этой реки отражают цвета материала дна у различных берегов.

На космических фотоснимках также можно регистрировать

6. НАБЛЮДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

подводный рельеф дна рек, озер, морей и океанов, но только на значительно меньших глубинах, чем при визуальных наблюдениях. Это связано с тем, что пороговые контрасты при фотографической регистрации почти на порядок хуже, чем у зрительной системы при дневных условиях освещения. Из космоса уже получены фотографии рельефа ряда участков дна морей и океанов. Одна из первых попыток анализа фотографий подводного рельефа была выполнена в работе [61]. В ней отмечается, что «фотографирование из космоса дает изображение подводного рельефа до большей глубины, чем аэрофотосъемка. Подводные песчаные валы и отмели при благоприятных условиях съемки различны по более светлому тону или оттенкам цвета на цветных фотографиях». В частности, на фотографиях Калифорнийского залива изменения тона приблизительно совпадают с изобатами. А в районе острова Аклин (Багамские острова) подводный рельеф лагуны просматривается на фотографиях до глубины 50–80 м. На фотографиях заметны банки Диана и Мира-Пор-Фос. На банке Мира-Пор-Фос заметен и рисунок структуры дна мелководья. На фотографиях наиболее светлыми изображаются участки дна с глубинами 2–4 м. Глубинам до 40 м соответствует светло-ватосерый тон, до 80 м — темновато-серый. Несколько аналогичных фотографий опубликовано в книге «Космонавтика СССР» [75] и там же показано их использование: «По снимкам, полученным с орбитальных станций «Салют» и автоматических спутников, исследовались мелководные шельфовые зоны Черного, Азовского, Каспийского, Аральского и Охотского морей. Дешифрирование космических снимков прибрежных вод позволило выявить районы, перспективные на нефть и газ».

Открытия, связанные с освоением космоса, позволяют нам еще глубже проникнуть в тайны нашей планеты. Из космоса можно изучать многие крупномасштабные явления, которые происходят на Земле и в ее атмосфере и часто недостижимы для наземных, самолетных и даже аэростатных средств исследований. В результате визуально-инструментальных наблюдений, проводимых космонавтами, получены весьма обширные, своеобразные и часто уникальные материалы, которые обогатили наши представления во многих областях науки.

Наблюдения из космоса за атмосферно-оптическими явлениями позволили обнаружить связанную с прохождением акустико-гравитационных волн устойчивую горизонтальную неоднородность эмиссионного излучения верхней атмосферы в сумеречной зоне, а в ряде случаев и на ночной стороне Земли. Только из космоса удалось зарегистрировать картину сумеречного нависания свечения верхней атмосферы, получившую название эффекта «усов». Оказалось, что с околоземных орбит очень удобно изучать пространственно-временное распределение оптического излучения атмосферы и особенно стратосферных, мезосферных и ионосферных слоев в глобальном масштабе. В частности, из космоса удалось наблюдать изменчивые картины стратосферных аэрозольных слоев, свечения *E*- и *F*-областей ионосферы, расслоение средней ионосферы во время геомагнитных возмущений, открыть неизвестное ранее явление реакции среднеширотной верхней ионосферы на солнечные вспышки после мировых магнитных бурь и ряд других оптических эффектов в атмосфере. Целенаправленные наблюдения космонавтов во время длительных космических полетов позволили обнаружить рассеивающие слои в мезопаузе в низких широтах, что существенно уточнило климатологию серебристых облаков.

С помощью визуально-инструментальных наблюдений из космоса были получены новые данные о рельефе дна морей и океанов на глубине нескольких десятков и даже сотен ме-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

тров. Доступными для изучения из космоса оказались многие особенности динамических характеристик на поверхности океана, такие, как фронты и фронтальные зоны, апвеллинги, крупные течения, мезомасштабные вихри, участки повышенного и пониженного уровня водной поверхности, регионы высокой биопродуктивности, внутренние волны, а также процессы взаимодействия атмосферы, облачного покрова и океана. При визуальных наблюдениях космонавты легко обнаруживали зарождение и распространение мощных циклонов и тайфунов, грозových полей, пылевых облаков.

Подлинно космической наукой стала геология, широко использующая в разработке теоретических положений и практических методов результаты визуально-инструментальных исследований. Одним из наиболее интересных открытий стало обнаружение огромного числа кольцевых структур. Вся поверхность Земли оказалась буквально испещренной кольцевыми структурами и линеаментами разных размеров. Изучение направлений линеаментов, которые во многих случаях представляют собой разломы или видимые разрывы, показало, что они отражают строение каркаса земной коры и его современную динамическую напряженность. Эти исследования исключительно важны для прогнозирования и поиска полезных ископаемых.

Прочно вошли в практику научных исследований космические методы наблюдения за состоянием снежно-ледяного покрова, ледников и водных ресурсов. Результаты этих исследований широко используются и при решении задач мелиорации и распределения запасов пресной воды на Земле. С успехом космические методы используются для обследования и инвентаризации лесного фонда, для картографирования лесов и обнаружения многочисленных лесных пожаров, особенно в труднодоступных районах, что позволило на качественно новом уровне управлять лесным фондом.

Результаты космических исследований и экспериментов способствуют дальнейшему развитию науки и рациональному планированию хозяйственной деятельности на нашей планете. Они исключительно важны для решения проблем, связанных с охраной окружающей среды, и для предотвращения многих стихийных бедствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян С. В. К вопросу о методике исследования ионосферных фотоэлектронов со спутников. — В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1979, вып. 47, с. 153 — 156.
2. Авакян С. В. О проблеме энергетики в физике ионосферы и путях ее решения. В кн.: Ионосферные исследования. М.: Радио и связь, 1982, № 32.
3. Авакян С. В. Образование двухзарядных ионов атомарного кислорода в верхней атмосфере. — Космич. исследования, 1979, т. 17, № 6.
4. Авакян С. В. Оже-электроны в авральной ионосфере. — Геомагнетизм и аэронаука, 1983, т. 23, № 2, с. 324 — 326.
5. Авакян С. В. Потоки ионизирующих электронов кэВ-энергии во внешней ионосфере. — В кн.: Материалы II Республиканской конференции молодых ученых по физике. Минск, 1972, вып. 1, с. 107 — 108.
6. Авакян С. В. Учет оже-процессов в верхней атмосфере Земли. — В кн.: Тезисы докладов на 10-й научно-технической конференции молодых специалистов. Л., 1974, с. 29 — 31.
7. Авакян С. В., Дёминов М. Г. Диффузия двухзарядных ионов атомарного кислорода в плазмасферу в восстановительную фазу ионосферной бури. — Космич. исследования, 1983, т. 21, № 5, с. 806 — 810.
8. Авакян С. В., Коваленок В. В., Солоницына Н. Ф. Ночная F-область ионосферы в периоды вспышек на Солнце. — Алма-Ата, 1984.
9. Авакян С. В., Кудряшев Г. С. Возбуждение и ионизация в верхней атмосфере во время солнечных вспышек с учетом фотоэлектронов. — Геомагнетизм и аэронаука, 1984, т. 24, № 4, с. 704 — 706.
10. Авакян С. В., Кудряшев Г. С. Спектр фотоэлектронов в верхней атмосфере Земли при солнечных вспышках. — Космич. исслед., 1984, т. 22, № 6.
11. Авакян С. В., Кудряшев Г. С., Островский Г. И. О механизме влияния солнечной вспышки на параметры ночной F-области ионосферы. — Геомагнетизм и аэронаука, 1986, т. 26, № 5, с. 836 — 837.
12. Авакян С. В., Кудряшев Г. С., Фишкова Л. М. Об усилении эмиссии OI — 630 нм свечения ночного неба во время солнечных вспышек. — Геомагнетизм и аэронаука, 1985, т. 25, № 3, с. 415 — 419.
13. Акатова Л. А., Кринберг И. А. Вторичная ионизация фотоэлектронов в нижней ионосфере. — В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1978, вып. 44, с. 53 — 58.
14. Атмосфера Земли с «Салюта-6»/А. И. Лазарев, В. В. Коваленок, А. С. Иванченков, С. В. Авакян. — Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 207 с.
15. Атмосферная рефракция по наблюдениям с орбитальной станции «Салют-6»/Г. М. Гречко, А. С. Гурвич, В. А. Ляхов и др. — Радиотехника и электроника, 1981, т. 26, № 11, с. 2430 — 2432.
16. Бартенева О. Д., Довгялло Е. Н., Полякова Е. А. Экспериментальные исследования оптических свойств приземного слоя атмосферы. — Труды ГГО, 1967, вып. 220, с. 244.
17. Беликов Ю. Е. Оптические исследования газопылевого окружения ракеты МР-12. — В кн.: Вопросы гелиогеофизики и контроля природной среды. М.: Гидрометеоздат, 1986, с. 43 — 73.
18. Бенькова Н. П., Зевакина Р. А. Влияние ММП на область F и внешнюю ионосферу. — Ионосферные исследования, 1982, № 36, с. 69 — 94.

19. Большаков В. Д., Лаврова Н. П. «Салют-3» фотографирует Землю. — Земля и Вселенная, 1975, № 3, с. 8—11.
20. Борисенков И. Г. В открытом космосе. — М. 1984.
21. Бронштэн В. А., Гришин Н. И. Серебристые облака. — М., 1970.
22. Бузников А. А., Климук П. И., Лазарев А. И. Фотографирование из космоса зеркального изображения Солнца, создаваемого атмосферой Земли. — Оптико-механическая промышленность, 1976, № 1, с. 3—4.
23. Ващенко В. Н., Ивченко В. Н., Посошников Л. П. Телевизионные наблюдения в эксперименте «Фейерверк». — Космич. исследования на Украине, 1979, вып. 13, с. 49—52.
24. Вертикально-лучевая структура (горизонтальная неоднородность) излучения верхней атмосферы Земли по наблюдениям с космического корабля «Союз-3»/Г. Т. Береговой и др. — ДАН СССР, 1972, т. 206, № 3.
25. Вертикальная структура температурного поля в атмосфере по наблюдениям рефракции с орбитальной станции «Салют-6»/Г. М. Гречко, А. С. Гурвич, Ю. В. Романенко и др. — ДАН СССР, 1979, т. 248, № 4.
26. Визуальные наблюдения ночного, сумеречного и дневного горизонтов Земли с пилотируемых космических кораблей/А. А. Бузников, К. Я. Кондратьев, А. И. Лазарев и др. — Космич. исследования, 1972, т. 10, № 1, с. 100—112.
27. Визуальные наблюдения и фотографирование серебристых облаков с борта орбитальной станции «Салют-4»/Ч. И. Виллманн, П. И. Климук, И. И. Кокшаров и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4», Тарту, 1977, с. 53—66.
28. Виллманн Ч. И., Лазарев А. И., Леонов А. А. Наблюдения мезосферных облаков из космоса на ночной стороне Земли. — В кн.: Физика мезосферы и мезосферных облаков. Метеорологические исследования, М.: Наука, 1975, № 22, с. 144—147.
29. Виллманн Ч. И., Сергеевич В. Н. Оценка спектральной яркости и прозрачности серебристых облаков. — Изв. АН ЭССР. Физика и математика, 1969, т. 18, № 2, с. 200—204.
30. Внутренний зодиакальный свет по фотографиям, полученным с орбитальной станции «Салют-6»/Г. М. Гречко, Н. Б. Дивари, Г. М. Никольский, Ю. В. Романенко. — Письма в Астрономический журнал, 1982, т. 8, вып. 1.
31. Волны и излучение верхней атмосферы/С. В. Авакян, В. И. Дробжев, В. М. Краснов и др. — Алма-Ата: Наука, 1981. — 167 с.
32. Высыпание высокоэнергичных электронов из внутренней магнитосферы в нижнюю ионосферу в субавроральных широтах/К.-У. Вагнер и др. — В кн.: Проблемы солнечно-земных связей. Ашхабад: Ылым, 1981, с. 153—172.
33. Гершензон Ю. М., Коноплев А. В., Чекин С. К. Тепловое воспламенение в искусственном облаке в верхней атмосфере. — Изв. АН СССР Физика атмосферы и океана, 1982, т. 18, № 4, с. 349—355.
34. Гибсон Э. Спокойное Солнце. — М.: Мир, 1977. — 408 с.
35. Гляциологические исследования и эксперименты на орбитальной станции «Салют-6»/Л. В. Десинов, Г. А. Носенко, Г. М. Гречко и др. — Исследования Земли из космоса, 1980, № 1, с. 25—41.
36. Горизонтальная оптическая неоднородность верхней атмосферы по

наблюдениям с борта орбитальной научной станции «Салют-4»/С. В. Авакян, П. И. Климук и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта ОНС «Салют-4». Тарту, 1977.

37. Гречко Г. М., Гурвич А. С., Романенко Ю. В. Структура неоднородностей плотности в стратосфере по наблюдениям с орбитальной станции «Салют-6». — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1980, т. 16, № 4.

38. Гречко Г. М., Романенко Ю. В., Савченко С. А. Внеатмосферные визуальные наблюдения ночного свечения атмосферы Земли. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 147–169.

39. Гречко Г. М., Романенко Ю. В., Савченко С. А. Развитие зари по наблюдениям из космоса. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 170–184.

40. Григорьев А. А., Кондратьев К. Я. Пылевые бури на Земле и Марсе. — Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия», № 2, М., 1981. — 64 с.

41. Григорян О. Р., Кузнецов С. Н. Особенности высыпания электронов в магнитосопреженных точках. — Космич. исследования, 1981, т. 19, № 6.

42. Гуревич А. В., Милич Г. М. Спектроскопия ионосферы, возмущенной мощным радиозлучением. — Геомагнетизм и аэрномия, 1984, т. 24, № 5.

43. Гурзаян Г. А. «Орион-2»: ультрафиолетовые спектры слабых звезд. — Земля и Вселенная, 1975, № 3, с. 2–7.

44. Гурзаян Г. А., Оганесян Р. Х. Ультрафиолетовая спектрофотометрия группы горячих звезд в Парусах. — Астрофизика, 1975, т. 11, вып. 3.

45. Данилов А. Д. Химия ионосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 295 с.

46. Данилов А. Д. Популярная аэрномия. — Л., 1978.

47. Демин Л. С., Сарафанов Г. В. Наблюдения из космоса. — Авиация и космонавтика, 1975, № 9, с. 34–35.

48. Динамика океана и атмосферы по наблюдениям с «Салюта-6»/Б. А. Нелепо, В. В. Коваленок и др. — Земля и Вселенная, 1983, № 1, с. 41–45.

49. Доннелли Р. Ф. Задачи и спорные вопросы измерений плотности потока солнечного излучения. — В кн.: Поток энергии Солнца и его изменения. М.: Мир, 1980, с. 343–353.

50. Иванов-Холодный Г. С., Никольский Г. М. Солнце и ионосфера. — М.: Физматгиз, 1969. — 455 с.

51. Иванов-Холодный Г. С., Фирсов В. В. Спектр коротковолнового излучения Солнца при различных уровнях активности. — Геомагнетизм и аэрномия, 1974, т. 14, № 3, с. 393–398.

52. Известия Совета «Солнце — Земля», 1980, вып. 23, с. 12.

53. Измерения отношения смеси водяного пара в стратосфере и мезосфере с помощью спектральной аппаратуры, установленной на орбитальной станции «Салют-4»/К. Я. Кондратьев и др. — ДАН СССР, 1976, т. 226, № 3, с. 563–565.

54. Измерения ультрафиолетового излучения Луны и верхней атмосферы Земли с орбитальной станции «Салют-4»/О. Б. Васильев, Г. М. Гречко, А. А. Губарев и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний

и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 145–154.

55. Измерения яркости Луны в атмосферных инфракрасных полосах поглощения с борта орбитальной станции «Салют-4»/О. Б. Васильев, Ч. Й. Виллманн, Г. М. Гречко и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-4», Тарту, 1979, с. 37–44.

56. Инфракрасное излучение окиси азота верхней атмосферы по измерениям с «Салюта-4»/М. Н. Марков, Г. М. Гречко, А. А. Губарев и др. — М., 1976.

57. Инфракрасная спектроскопия Луны с орбитальной станции «Салют-4»/М. Н. Марков, Г. М. Гречко, А. А. Губарев и др. — М., 1976.

58. Исследование оптических характеристик иллюминатора/Б. И. Беляев, Г. М. Гречко, А. А. Губарев и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1979, с. 103–114.

59. Исследование оптических характеристик плотной облачности с орбитальных станций «Салют-4» и «Салют-6»/У. К. Вейсманн, Ч. Й. Виллманн, Г. М. Гречко и др. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 111–122.

60. Исследование серебристых облаков из космоса/О. Б. Васильев, Ч. Й. Виллманн, Н. М. Гаврилов и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 200 с.

61. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.

62. Исследования сумеречного слоя земной атмосферы из космоса / Г. М. Гречко и др. — Космич. исследования, 1981, т. 19, № 5.

63. Казанский К. В. Земная рефракция над обширными водными поверхностями. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.

64. К вопросу о моделировании пространственной неоднородности в излучении верхней атмосферы при наличии АГВ/С. В. Авакян, В. И. Дегтярев, А. И. Лазарев и др. — В кн.: Международный (в рамках КАПГ) научно-методический семинар по вертикальному зондированию ионосферы. Тезисы докладов, ч. II. Алма-Ата: Наука, 1978, с. 55–61.

65. Кейн Дж., Лангель Р., Гендрикс Ш. Магнитная карта Бразильской аномалии. — Геомагнетизм и аэрономия, 1968, т. 8, № 1, с. 107–111.

66. Коваленок В. В., Коваль А. Д., Тищенко А. А. Об эффективности визуально-инструментальных исследований Земли из космоса. — Труды IX Гагаринских чтений. — М.: Наука, 1980.

67. Коваленок В. В., Лазарев А. И., Микиров А. Е. Визуальные наблюдения с космического корабля «Союз-25». — Труды ИПГ, 1980, вып. 40.

68. Коваленок В. В., Тищенко А. А. Вопросы анализа эффективности использования орбитальных пилотируемых станций для исследования мирового океана. — Труды XI Гагаринских чтений. — И.: Наука, 1982.

69. Коваленок В. В., Тищенко А. А., Чарыкова Е. И. Колористические наблюдения типичных океанологических объектов с орбитальных станций. — Труды XII Гагаринских чтений. — М.: Наука, 1983.

70. Коваль А. Д., Тюрин Ю. А. Космос — Земля. Международное сотрудничество в области прикладного использования космонавтики. — М., 1979.

71. Коробейникова М. П. Исследование короткопериодических вариаций

эмиссий ночного неба 557,7 нм и их связи с внутренними гравитационными волнами. — В кн.: Физические процессы верхней атмосферы. Ашхабад: Ылым, 1977.

72. Коробейникова М. П., Насыров Г. А. Исследования эмиссии ночного неба 5577 А за 1958–1967 гг. в Ашхабаде. — Ашхабад: Ылым, 1972. — 99 с.

73. Космические данные. — М.: Наука, 1978, 1981.

74. Космогеологические исследования Урало-Оманского суперлинеамента/В. А. Буш, В. В. Козлов, В. И. Севастьянов, В. В. Коваленок. — Исследования Земли из космоса, 1980, № 4, с. 13–17.

75. Космонавтика СССР. — М.: Машиностроение, 1986. — 496 с.

76. Кошелев В. В., Щепкин Л. А. Некоторые вопросы теории средней ионосферы. — В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1973, вып. 29, с. 39–50.

77. Краснополюский В. А. Скорости ионизации атмосферы солнечным излучением. — Геомагнетизм и аэронаука, 1973, т. 13, № 5, с. 382–385.

78. Красовский В. И. Природа изменений интенсивности эмиссий земной атмосферы. — Изв. АН СССР. Сер. геофизич., 1957, № 5, с. 664–669.

79. Красовский В. И. Верхняя атмосфера, как регулятор геомагнитных бурь, суббурь и полярных сияний. — В кн.: Полярные сияния и свечение ночного неба. М.: Наука, 1973, № 20, с. 57–76.

80. Крживски Л. Солнечное происхождение межпланетного магнитного поля. — Ионосферные исследования, 1982, № 36, с. 6–24.

81. Кузьмин К. И. Быстрые вариации зеленой эмиссии атомарного кислорода в верхней атмосфере. — ВИНТИ ДЕП № 3269–74, М.: 1974, 36 с.

82. Кушпиль В. И., Останин Г. С., Саар Э. М. Оптические свойства земной атмосферы применительно к аэронавигации на основе рефракции. — Оптико-механическая промышленность, 1975, № 2, с. 23–25.

83. Лазарев А. И. Десять лет спустя. — Земля и Вселенная 1975, № 3.

84. Лазарев А. И. Оценки френелевского отражения Солнца от атмосферы Венеры. — Астрономический вестник, 1976, т. 10, № 4, с. 190–194.

85. Лазарев А. И., Авакян С. В. Вертикально-лучевая структура эмиссионного излучения верхней атмосферы и акустико-гравитационные волны. — Тезисы докладов на I Всесоюзном симпозиуме «Оптические исследования верхней атмосферы». Тбилиси: Мецниереба, 1975.

86. Лазарев А. И., Гречко Г. М., Бузников А. А. Наблюдения первой экспедиции орбитальной станции «Салют-4». — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 155–163.

87. Лазарев А. И., Гречко Г. М., Бузников А. А. Наблюдения с орбитальной станции «Салют-4». — Оптико-механическая промышленность, 1976, № 5.

88. Лазарев А. И., Даминова Т. А. О влиянии атмосферы и иллюминатора космического корабля на видимые из космоса контрасты природных образований. — Исследования Земли из космоса, 1980, № 5, с. 64–70.

89. Лазарев А. И., Коваленок В. В., Евлашин Л. С. Наблюдения полярных сияний с борта орбитальной научной станции «Салют-6» во время большой геомагнитной бури 11–13 апреля 1981 г. — Геомагнетизм и аэронаука, 1984, т. 24, № 4, с. 620–624.

90. Лазарев А. И., Коваленок В. В., Савиных В. П. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6», — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 136 с.
91. Лазарев А. И., Леонов А. А. Зеркальное отражение от атмосферы Земли. — Оптико-механическая промышленность, 1973, № 11, с. 15—18.
92. Лазарев А. И., Леонов А. А. Исследования из космоса френелевского отражения от атмосфер планет и комет. — Астроном. вестник, 1975, т. 9, № 4.
93. Лазарев А. И., Леонов А. А. Оптические наблюдения с пилотируемого космического корабля «Восход-2». — Оптико-механическая промышленность, 1973, № 7, с. 11—13.
94. Лазарев А. И., Мирошников М. М. Программа исследований атмосферно-оптических явлений с орбитальной научной станции «Салют-6». — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют», Тарту, 1981, с. 9—25.
95. Лазарев А. И., Николаев А. Г., Севастьянов В. И. Особенности наблюдения из космоса излучения верхней атмосферы Земли в сумеречной зоне. — Оптико-механическая промышленность, 1975, № 2, с. 3—6.
96. Лазарев А. И., Николаев А. Г., Севастьянов В. И. Зори в космосе. — Земля и Вселенная, 1975, № 2, с. 9—13.
97. Лазарев А. И., Николаев А. Г., Хрунов Е. В. Оптические исследования в космосе. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 255 с.
98. Лазарев А. И., Пинегин Н. И. О пороговой силе света движущихся точечных источников. — АН СССР, 1965, т. 161, № 4, с. 958.
99. Лазарев А. И., Сергеевич В. Н. Программа оптических исследований излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с орбитальной станции «Салют-4». — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 17—30.
100. Лазарев А. И., Хрунов Е. В. Зеркальное отражение от атмосферы. — Земля и Вселенная, 1974, № 5, с. 4—7.
101. Лазарев А. И., Хрунов Е. В. Оптические наблюдения с космического корабля «Восход-2». — Л.: Гидрометеиздат, 1975.
102. Лаштовичка Я. Эффекты ММП в нижней ионосфере средних широт. — Ионосферные исследования, 1982, № 36, с. 58—68.
103. Леонов А. А., Соколов А. К. Человек и Вселенная. — М., 1984.
104. Луизов А. В. Глаз и свет. — Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 140 с.
105. Мачабели Г. З., Тактакишвили А. Л., Торошелидзе Т. И. Роль плазменных механизмов в вариациях предсумеречных эмиссий на высотах 200—450 км. — Бюллетень Абастуманской астрофизической обсерватории, 1983, № 56, с. 207—212.
106. Международные координированные измерения геофизических эффектов солнечной активности в верхней атмосфере. П. Измерения ионосферных эффектов хромосферной вспышки./А. Бест, А. Верник, Ю. И. Гальперин и др. — Геомагнетизм и аэрономия, 1971, т. 11, № 1, с. 29—39.
107. Межпланетное магнитное поле и нижняя атмосфера Земли/Я. Лаштовичка, С. М. Мансуров, Л. Г. Мансурова, Р. В. Смирнов. — Ионосферные исследования, 1982, № 36, с. 95—117.

108. Механизмы образования горизонтальной неоднородности в эмиссионном излучении верхней атмосферы при наличии акустико-гравитационных волн / С. В. Авакян, В. И. Дробжев, П. И. Климук и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1979.
109. Мехлюм Б. Н. Высыпание частиц: рассеяние и поглощение. — В кн.: Космическая геофизика. М.: Мир, 1976, с. 327—341.
110. Мешков В. В. Основы светотехники. Ч. 2. Физическая оптика и колориметрия. — М. — Л., 1961. — 416 с.
111. Микрометеоритные кратеры на иллюминаторах орбитальной научной станции «Салют-6» / Г. М. Гречко, А. С. Иванченков, В. В. Коваленок и др. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981.
112. Мирошниченко Л. И. Солнечная активность и Земля. — М., 1981.
113. Митра А. Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли. — М.: Мир, 1977.
114. Молчанов А. М. Резонансы в многочастотных колебаниях. — ДАН СССР, 1966, т. 168, № 2, с. 284—287.
115. Молчанов А. М. О резонансной структуре Солнечной системы. — В кн.: Современные проблемы небесной механики и астродинамики. М.: Наука, 1973.
116. Москаленко Н. И., Закирова О. Г., Мирумянц С. О. Атлас спектров прозрачности по произвольно ориентированным трассам атмосферы в области 0,3—50 мкм. — Тезисы докладов I Всесоюзного совещания по атмосферной оптике. Томск, 1976, ч. 1, с. 27—31.
117. Мост в космосе. — М.: Изд. Известия, 1976. — 720 с.
118. Мэнсон Дж. Э. Спектр Солнца между 10 и 300 Å. — В кн.: Поток энергии Солнца и его изменения. М.: Мир, 1980, с. 286—304.
119. Наблюдение ночного и сумеречного горизонтов Земли с орбитальной станции «Салют-4» / П. И. Климук, И. И. Кокшаров, А. И. Лазарев и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 107—127.
120. Наблюдение с орбитальной станции «Салют-6» цветowych и яркостных контрастов, коррелированных с рельефом дна океана / В. Т. Исаков, В. В. Коваленок, А. И. Лазарев, Т. А. Даминова. — Исследование Земли из космоса, 1986, № 1.
121. Наблюдения горизонтальной неоднородности ночного свечения F-слоя в районе Бразильской аномалии / С. В. Авакян, В. В. Коваленок, А. И. Лазарев, А. Е. Серова. — Геомагнетизм аэрoнoмия, 1983, т. 23, № 6, с. 1018—1020.
122. Наблюдения зодиакального света, гео- и гелиокороны / П. И. Климук, А. И. Лазарев, В. Н. Лебединец и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1979.
123. Наблюдения метеоров и исследования космической пыли / Ч. Й. Виллманн, П. И. Климук, В. Н. Лебединец, В. И. Севастьянов. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 128—144.
124. Наблюдения облачного покрова с борта орбитальной научной станции «Салют-6» / Т. А. Даминова, А. С. Иванченков, В. В. Коваленок, А. И. Лаза-

рев. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 100—110.

125. Наблюдения полярных сияний из космоса / Л. С. Евлашин и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977.

126. Наблюдения светящихся частиц / П. И. Климук, А. И. Лазарев, В. И. Севастьянов, В. А. Шаталов. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1979, с. 133—145.

127. Насыров Г. А. О связи эмиссий ночного неба с сейсмической активностью. — Изв. АН Туркменской ССР, № 2, с. 119—122.

128. Некоторые результаты космического фотографирования динамики экорегиона с «Союза-9» и «Салюта-6» / Б. В. Виноградов, А. С. Иванченков, В. В. Коваленок и др. — ДАН СССР, 1979, т. 249, № 6, с. 1501—1504.

129. Некоторые результаты спектрофотометрирования сумеречного ореола земной атмосферы с космического корабля «Союз-5» / К. Я. Кондратьев, Б. В. Воинов, А. П. Гальцев и др. — ДАН СССР, 1970, т. 190, с. 327—330.

130. Несмеянович И. А., Иванов-Холодный Г. С., Никольский Г. М. Свечение *F*-слоя ионосферы в линии 630 нм по фотографиям с борта орбитальной научной станции «Салют-6». — Геомагнетизм и аэронавигация, 1984, т. 24, № 5, с. 748—753.

131. Николаев А. Г. Человеческие аспекты внекабинного наблюдения. — В кн.: Эргономические динамические системы управления. Киев: Наукова думка, 1975, с. 94—109.

132. Николе М. Аэронавигация. — М.: Мир, 1964. — 71 с.

133. Ночная эмиссия земной ионосферы по наблюдениям с орбитальной станции «Салют-6» / В. В. Рюмин, И. А. Несмеянович, Г. М. Никольский и др. — Геомагнетизм и аэронавигация, 1983, т. 23, № 4, с. 533—538.

134. Ночное экваториальное кольцо в ионосферной области *F* / Г. М. Гречко, Г. М. Никольский, Ю. В. Романенко и др. — ДАН СССР, 1978, т. 242, № 4.

135. Нусинов А. А. Вариации интенсивности коротковолнового излучения Солнца в цикле солнечной активности. — В кн.: Вопросы оптики атмосферы. М.: Гидрометеиздат, 1985, с. 25—36.

136. О влиянии терминатора на волновые возмущения в ионосфере / С. В. Авакян, В. И. Дробжев, В. М. Краснов, Н. М. Салихов. — Геомагнетизм и аэронавигация, 1979, т. 19, № 3, с. 568—570.

137. О наблюдении мезосферных (серебристых) облаков из космоса / К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников, О. Б. Васильев, В. И. Севастьянов. — ДАН СССР, 1971, т. 197, № 5, с. 1066—1069.

138. О связи усиления эмиссии 6300 Å в средних широтах с геомагнитными пульсациями / О. К. Боровкова, Ю. Е. Боровков, В. А. Троицкая и др. — Геомагнетизм и аэронавигация, 1983, т. 23, № 3, с. 494—496.

139. Об использовании эффекта ночного светящегося слоя для целей автономной навигации и ориентации пилотируемых космических кораблей / К. Я. Кондратьев и др. — ДАН СССР, 1971, т. 199, № 6, с. 1278—1281.

140. Огурцов Г. Н. Энергетическое распределение электронов, испускаемых из атома аргона при электронном ударе. — Журн. эксперимент. и теоретич. физики, 1973, т. 64, № 4, с. 1149—1153.

141. Одинцова И. Н., Лещенко Л. Н., Фирсов В. В. О потоках коротковолнового излучения спокойного Солнца. — Геомagnetизм и аэрoнoмия, 1975, т. 15, № 6, с. 970—972.

142. Одинцова И. Н., Новиков В. Д. О спектральном распределении энергии ультрафиолетового излучения солнечной вспышки. — Геомagnetизм и аэрoнoмия, 1977, т. 27, № 3, с. 398—402.

143. Определение дневного и сумеречного свечения кислорода $O_2(^1\Delta g)$ у $1,27$ мкм по измерениям с орбитальной станции «Салют-4» / О. А. Авасте, У. К. Вейсманн, Г. М. Гречко и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 79—87.

144. Оптические и ионосферные эффекты в ночной F_2 -области ионосферы во время солнечных вспышек / С. В. Авакян, В. В. Коваленок, Н. Ф. Солоницына, М. П. Рудина. — Геомagnetизм и аэрoнoмия, 1983, т. 23, № 6, с. 919—923.

145. Оптические исследования, выполненные основным экипажем второй экспедиции орбитальной научной станции «Салют-6» / А. И. Лазарев, В. В. Коваленок, А. С. Иванченков, С. В. Авакян. — Оптико-механическая промышленность, 1980, № 6.

146. Оптические явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей / Г. Т. Береговой и др. — Л.: Гидрометеoиздат, 1972.

147. Опыт фотографирования полярных сияний из космоса / Н. В. Будыленко, В. В. Бутов, П. И. Климук и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-6». Тарту, 1979, с. 73—84.

148. Освоение космического пространства. Официальные сообщения ТАСС и материалы центральной печати. 1957—1967 гг. — М.: Наука, 1968. — 555 с.

149. Освоение космического пространства в СССР. Официальные сообщения ТАСС и материалы центральной печати. Октябрь 1967 г. — 1970 г. — М.: Наука, 1971. — 358 с.

150. Освоение космического пространства в СССР. По материалам центральной печати 1971 г. — М.: Наука, 1973. — 302 с.

151. Освоение космического пространства в СССР. 1973 г. По материалам печати. — М.: Наука, 1975. — 304 с.

152. Освоение космического пространства в СССР. 1974. — М., 1975.

153. Освоение космического пространства в СССР. 1975. Пилотируемые полеты. — М.: Наука, 1977. — 204 с.

154. Освоение космического пространства в СССР. 1976. — М., 1978.

155. Освоение космического пространства в СССР. 1977. — М., 1978.

156. Освоение космического пространства в СССР. 1978. Пилотируемые полеты. — М.: Наука, 1980. — 272 с.

157. Освоение космического пространства в СССР. 1979. — М., 1981.

158. Освоение космического пространства в СССР. 1980. — М., 1982.

159. Освоение космического пространства в СССР. 1981. — М., 1983.

160. Освоение космического пространства в СССР. 1982. — М., 1984.

161. Освоение космического пространства в СССР. 1983. — М., 1985.

162. Освоение космического пространства в СССР. 1984. — М., 1986.

- 162а. Освоение космического пространства в СССР. 1985. — М.: Наука, 1987.
163. Островская М. А. Частотно-контрастная характеристика глаза. — Оптико-механическая промышленность, 1969, № 2, с. 45—51.
164. Пинегин Н. И. Кванты света и зрение. — Труды ГОИ, 1963, т. 32, № 161, с. 27—90.
165. Пинегин Н. И., Травникова Н. П. Зависимость пороговой освещенности на зрачке глаза, создаваемой неподвижным точечным источником света, от яркости фона для различных мест сетчатки. — ДАН СССР, 1963, т. 148, № 6.
166. Программа ИПРЗ на долговременной орбитальной станции «Салют-6»/В. В. Архипов и др. — Геодезия и аэрофотосъемка, 1982, № 1.
167. Попович П. Р., Губинский А. И., Колесников Г. М. Эргономическое обеспечение деятельности космонавтов. — М.: Машиностроение, 1985.
168. Потапов Б. П. Внутренние гравитационные волны вблизи мезопаузы и в области F2 ионосферы. — Геомагнетизм и аэронавтика, 1979, т. 19, № 3.
169. Потоки электронов во время магнитной бури 14—15 декабря 1970 года по данным ИСЗ «Космос-381»/С. В. Авакян, М. П. Болгарцева, А. И. Ефремов и др. — В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронавтике и физике Солнца, 1974, вып. 32, с. 158—161.
170. Пространственно-временное распределение эмиссионного излучения ночной верхней атмосферы Земли/С. В. Авакян, А. С. Иванченков, В. В. Коваленок, А. И. Лазарев. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 32—45.
171. Ракипова Л. Р., Вишнякова О. И. Влияние солнечной вспышки на концентрацию озона. — В кн.: Гелиогеофизические факторы погоды и климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1984, с. 9—14.
172. Результаты визуальных и фотографических наблюдений серебристых облаков с орбитальной научной станции «Салют-6»/О. А. Авасте, Ч. Й. Виллманн, Г. М. Гречко, Ю. В. Романенко. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981, с. 139—146.
173. Результаты визуальных наблюдений ночного, сумеречного и дневного горизонтов Земли с космического корабля «Союз-9»/К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников, А. Г. Николаев и др. — ДАН СССР, 1971, т. 197, № 3.
174. Результаты исследования зависимости яркости водоемов от зенитного угла Солнца с орбитальных научных станций «Салют-4» и «Салют-6»/У. К. Вейсманн, Ч. Й. Виллманн, Г. М. Гречко и др. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальных научных станций «Салют». Тарту, 1981.
175. Результаты наблюдений солнечной короны с пилотируемого космического корабля «Восход-2»/К. Я. Кондратьев, А. И. Лазарев, А. А. Леонов, О. И. Смоктыль. — ДАН СССР, 1973, т. 212, с. 327—330.
176. Результаты спектральных исследований солнечных областей на «Салюте-4»/А. В. Брунс, Г. М. Гречко, А. А. Губарев и др. — Изв. Крымской Астрофизической обсерватории АН СССР, 1979, т. 59, с. 3—30.
177. Розенберг Г. В., Николаева-Терешкова В. В. Стратосферная аэрозоль по наблюдениям с космического корабля. — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1965, т. 1, № 4, с. 386—393.
178. Роль оже-процессов в формировании фотоэлектронных спектров/С. В.

Авакян, М. А. Косен, Г. С. Кудряшев, Г. В. Хазанов. — Космич. исследования, 1977, т. 15, № 4, с. 631—632.

179. Рудина М. П., Солоницына Н. Ф., Сомсиков В. М. Об интенсивности гравитационных волн в F-области ионосферы. — Геомагнетизм и аэронавтика, 1983, т. 23, № 6, с. 1025—1027.

180. «Салют» на орбите. Основы конструкции орбитальной станции «Салют», этапы ее полета и материалы научных исследований. — М., 1973.

181. «Салют-6» — «Союз» — «Прогресс». Работа на орбите. — М.: Машиностроение, 1983. — 340 с.

182. Севастьянов В. И. Научные и технические эксперименты на борту «Союза-9». — Вестник АН СССР, 1970, № 11, с. 31—40.

183. Сложная структура температурного поля в атмосфере по измерениям рефракции с орбитальной станции «Салют-6»/Г. М. Гречко, А. С. Гурвич, Ю. В. Романенко и др. — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1981, т. 17, № 2.

184. Солнечные вспышки/А. Т. Алтынцев, В. Г. Банин, Г. В. Куклин, В. М. Томозов. — М.: Наука, 1982. — 220 с.

185. Соломаха В. Л., Федоров К. Н. О возможностях наблюдения глубинных форм донного рельефа океана из космоса. — Исследование Земли из космоса, 1983, № 6, с. 13—21.

186. Спектр Солнца в области длин волн короче 10 А/Креплин Р. У., Дир К. Р., Хоран Д. М. и др. — В кн.: Поток энергии Солнца и его изменения. М., 1980.

187. Температурный режим и микрометеорная эрозия иллюминаторов орбитальной станции «Салют-6»/П. А. Захаров, П. И. Климук, А. И. Лазарев и др. — В кн.: Исследования атмосферно-оптических явлений с борта орбитальной научной станции «Салют-6». Тарту, 1979, с. 85—102.

188. Тимоти Г. Спектр Солнца между 300 и 1200 Å. — В кн.: Поток энергии Солнца и его изменения. М.: Мир, 1980, с. 257—285.

189. Трутце Ю. Л. Верхняя атмосфера во время геомагнитных возмущений. — В кн.: Полярные сияния и свечение ночного неба. М.: Наука, 1973, № 20.

190. Трутце Ю. Л., Шефов Н. Н. Некоторые явления, предшествующие мощным геомагнитным бурям. — Астрономич. циркуляр, 1970, № 553, с. 7—8.

191. Трутце Ю. Л., Шефов Н. Н., Юрченко О. Т. Среднеширотное сияние 23—24 марта 1969 г. — Астрономич. циркуляр, 1970, № 562, с. 3—5.

192. Условия существования серебристых облаков по результатам ракетных измерений и наблюдений с орбитальной научной станции «Салют-6»/Ч. И. Виллманн, Г. М. Гречко, Ю. В. Романенко и др. — В кн.: Атмосферно-оптические явления по наблюдениям с орбитальной научной станции «Салют». Тарту, 1981.

193. Фаст Н. П., Фаст В. Г. О климатологии серебристых облаков. — Метеорологические исследования, 1977, № 23, с. 73—80.

194. Федоров К. Н., Скляр В. Е. Измерения температуры поверхности океана из космоса.

195. Физическая интерпретация спектров серебристых облаков/О. А. Авасте, А. М. Алексеев, У. К. Вейсманн и др. — В кн.: Оптические исследования излучения атмосферы, полярных сияний и серебристых облаков с борта орбитальной научной станции «Салют-4». Тарту, 1977, с. 67—78.

196. Фишкова Л. М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. — Тбилиси: Мецниереба, 1983. — 271 с.
197. Фогл Б. Серебристые облака. Их характеристики и интерпретация. В кн.: Термосферная циркуляция. М.: Мир, 1975, с. 100—112.
198. Фотографирование восхода или захода Солнца из космоса/К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников, А. И. Лазарев, Е. В. Хрунов. — ДАН СССР, 1975, т. 221, № 4, с. 832—834.
199. Фотографические исследования эмиссионных слоев атмосферы Земли с использованием усилителя яркости во время полета пилотируемой космической станции «Салют-6»/Г. М. Гречко, Ю. В. Романенко, С. А. Савченко, С. В. Симаков. — Космич. исследования, 1981, т. 19, № 2, с. 244—248.
200. Хазанов Г. В., Коен М. А., Кудряшев Г. С. Кинетическая модель корпускулярных потоков и вторичных электронов. — В кн.: Диагностика и моделирование ионосферных возмущений. М.: Наука, 1978, с. 126—130.
201. Хрунов Е. В. Наблюдения с орбит. — Авиация и космонавтика, 1971, № 8, с. 38—39.
202. Человек-оператор в космическом полете/Е. В. Хрунов, Л. С. Хачатурянц, В. А. Попов, Е. А. Иванов. — М.: Машиностроение, 1974. — 399 с.
203. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. — 777 с.
204. Чепмен С., Линдзен Р. Атмосферные приливы. Термические и гравитационные. — М.: Мир, 1972. — 295 с.
205. Шульц С. С., мл. Земля из космоса. — Л.: Недра, 1984. — 115 с.
206. Эмиссии верхней атмосферы во время магнитной бури 16—17 марта 1974 г./Ю. Л. Трутце и др. — Геомагнетизм и аэрономия, 1976, т. 16, № 3.
207. Явление вертикально-лучевой структуры (горизонтальной неоднородности) дневного излучения верхней атмосферы Земли/Г. Т. Береговой, А. А. Бузников, К. Я. Кондратьев и др. Диплом на открытие. № 106, 1971.
208. Akasofu S.-I. Working group report on geomagnetic storms. — Solar-Terr. Predictions Proceedings, 1980, vol. 4, p. A91—A114.
209. Andrews M. K. Wavelike irregularities in the mid-latitude 6300 Å airglow. — Planet. Space Sci., 1976, vol. 24, N 6, p. 521—528.
210. Armstrong E. B. The influence of a gravity wave on the airglow hydroxyl rotational temperature at night. — J. Atmos. Terr. Phys., 1975, vol. 37, N 12, p. 1585—1591.
211. Arnoldy R. L., Choy L. W. Auroral electrons of energy less than 1 keV observed at rocket altitude. — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 13, p. 2187—2200.
212. Arnoldy R. L., Lewis P. B., Isaacson P. O. Field-aligned auroral electron fluxes. — J. Geophys. Res., 1974, vol. 79, N 28, p. 4208—4221.
213. Association between plasma bubble irregularities and airglow disturbances over Brazilian low latitudes/J. H. A. Sobral, M. A. Abdu, C. J. Zambutti, I. S. Batista. — Geophys. Res. Lett., 1980, vol. 7, N 11, p. 980—982.
214. Banks P. M., Chappel C. R., Nagy A. F. A new model for the interaction of auroral electrons with the atmosphere: spectral degradation, backscatter, optical emission and ionization. — J. Geophys. Res., 1974, vol. 79, N 10, p. 1459—1470.
215. Banks P. M., Kockarts G. Aeronomy. — N. Y.: Acad. Press, 1973.

216. Banks P. M., Williamson P. R., Raiff W. J. Space shuttle glow observations. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 10, N 2, p. 118–121.
217. Bates D. R. Forbidden oxygen and nitrogen lines in the nightglow. — *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 10, p. 897–912.
218. Beer T. Supersonic generation of atmospheric waves. — *Nature*, 1973, vol. 242, N 5392, p. 34.
219. Behnke R., Kohl H. The effect of neutral winds and electric fields on the ionospheric F2-layer over Aricibo. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1974, vol. 36, N 3, p. 325–333.
220. Bossy L. Solar indices and solar UV – irradiances. — *Planet. Space Sci.*, 1983, vol. 31, N 9, p. 977–985.
221. Bossy L., Nicolet M. On the variability of L_m with solar activity. — *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 3, p. 907–914.
222. Breunig E. Die total trägerbildung langsamer kathoden strahlen in der nähe der trägerbildungsspannung. — *Ann. Phys.*, 1936, Bd 25, H. 5, S. 467–488.
223. Brinkman A. C., de Graaff W., Shaw M. L. X-ray observations between 1 and 55 Å of the february 25th flare. — *Astrophys. Space Sci. Lib.*, 1970, vol. 19.
224. Carlson H. C., Wickwar V. B., Mantas G. P. Plasma line revisited as aeronautical diagnostic – suprathermal electrons, solar EUV, electron-gas thermal balance. — *Geophys. Res. Lett.*, 1977, vol. 4, N 12, p. 565–567.
225. Carlson R. W. Possibility of OIII λ 304 Å emissions in the extreme ultraviolet airglow. — *J. Geophys. Res.*, 1972, vol. 77, N 31, p. 6282–6283.
226. Carpenter M. C., O'Keefe J. A., Dunkelman L. Visual observations of nightglow from manned spacecraft. — *Science*, 1962, vol. 138, N 3544, p. 978–980.
227. Castelli J. P., Richards D. W. Observations of solar bursts at microwave and extreme ultraviolet wavelengths. — *J. Geophys. Res.*, 1971, vol. 76, N 34.
228. Characteristic energy spectra of 1–500 eV electrons observed in the high – latitude ionosphere from Atmosphere – Explorer C/J. P. Doering, T. A. Potemra, W. K. Peterson, C. O. Bostrom. — *J. Geophys. Res.*, 1976, vol. 81, N 31.
229. Chung-Chieh-Cheng. Analysis of the emission line spectra of a solar flare observed from Skylab. — *Solar Phys.*, 1978, vol. 56, N 1, p. 205–222.
230. Collection of works of the international workshop of noctilucent clouds. — Tallinn: Valgus, 1986.
231. Conway R. R. Multiple fluorescent scattering of N₂ ultraviolet emissions in the atmospheres of the Earth and Titan. — *J. Geophys. Res.*, 1983, vol. 88, N A6.
232. Correlations between OH, Na D and OI 5577 Å emissions in the airglow/H. Takahashi, P. P. Batista, B. R. Clemesha et al. — *Planet. Space Sci.*, 1979, vol. 27, N 6, p. 801–807.
233. COSPAR International Reference Atmosphere Model 1972. Berlin: Akademie – Verlag, 1972. — 450 p.
234. Dandekar B. S., Silverman S. M. The effect of solar flares on the OI green line of the nightglow. — *Planet. Space Sci.*, 1964, vol. 12, N 8, p. 867–874.
235. Datta R. N. Atmospheric gravity waves induced by Earth's diurnal rotation. — *J. Geophys. Res.*, 1974, vol. 79, N 10, p. 1583–1584.
236. Daytime midlatitude ion composition measurements/J. H. Hoffman, C. Y. Johnson, J. C. Holmes, J. M. Young. — *J. Geophys. Res.*, 1969, vol. 74, N 26.

237. Dere K. P., Horan D. M., Kreplin R. W. A multithermal analysis of solar X ray emission.— *Solar Phys.*, 1974, vol. 36, N 2, p. 459–472.
238. Detection of L_{α} and helium resonance radiation in the night sky/J. M. Young, G. R. Carruthers, J. C. Holmes et al.— *Science*, 1968, vol. 160, N 3831, p. 990–991.
239. Direct measurement of conjugate photoelectrons and predawn 630 nm airglow/G. G. Sherherd, J. E. Pieau, T. Ogawa et al.— *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 3, p. 211–217.
240. Donnelly R. F. Empirical models of solar flare X-ray and EUV emission for use in studying their E and F region effects.— *J. Geophys. Res.*, 1976, vol. 81, N 25.
241. Donnelly R. F., Hall L. A. Extreme UV spectrum of the solar flare of 21.14 UT March 27, 1967.— *Solar Phys.*, 1973, vol. 31, N 2, p. 411–426.
242. Dynamics of magnetosphere ion composition as observed by the GEOS mass spectrometer/J. Geiss, H. Balsiger, P. Eberhardt et al.— *Space Sci. Rev.*, 1978, vol. 22, N 5, p. 537–566.
243. Dyson P. L., Hopgood P. A. The interpretation of 6300 Å airglow observations of ionospheric irregularities.— *Planet. Space Sci.*, 1974, vol. 22, N 3.
244. Engebretson M. J., DeFreese J. A., Mauersberger K. Diurnal, seasonal and nighttime variations of atomic nitrogen in the equatorial thermosphere.— *J. Geophys. Res.*, 1980, vol. 85, N A3, p. 2165–2170.
245. Enhancement of ionizing radiation during a solar flares/O. K. Garriott, A. V. Da Rosa, M. J. Davis et al.— *Solar Phys.*, 1969, vol. 8, N 1, p. 226–239.
246. Frederick J. E. Solar corpuscular emission and neutral chemistry in the Earth's middle atmosphere.— *J. Geophys. Res.*, 1976, vol. 81, N 19, p. 3179–3186.
247. Gagliardini D. A., Karszenbaum H. Fluxes of electron generated by proton interaction with the atmosphere.— *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1982, vol. 44, N 7.
248. Gerbes W. Über die ionisierungswirkung von kathodenstrahlen in verschiedenen gasen and gasgemischen.— *Ann. Phys.*, 1937, Bd 30, N 2, S. 169–183.
249. Gledhill J. A., Hoffman R. A. Nighttime observations of 0.2 – to 26 keV electrons in the South Atlantic anomaly made by Atmospheric Explorer C.— *J. Geophys. Res.*, 1981, vol. 86, N A8, p. 6739–6744.
250. Glenn J. H. The Mercury-Atlas 6 space flight.— *Science*, 1962, vol. 136, N 3522, p. 1093–1095.
251. Global characteristics of 0.2 to 26 keV charged particles at F region altitudes/D. G. Torr, M. R. Torr, R. A. Hoffman, J. C. G. Walker.— *Geophys. Res. Lett.*, 1976, vol. 3, N 6, p. 305–308.
252. Gogger L. L., Anger C. D. The OI 5577 Å airglow experiment in the ISIS-2 satellite.— *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1973, vol. 35, N 11, p. 2081–2084.
253. Green B. D. Atomic recombination into excited molecular – a possible mechanism for Shuttle glow.— *Geophys. Res. Lett.*, 1984, vol. 11, N 6, p. 576–579.
254. Hall L. A., Hinteregger H. E. Solar EUV enhancements associated with flares.— In: *Solar flares and Space Research*, Amst., 1969, p. 81–86.
255. Hanna P. B., Anger C. D. Auroral colour variations.— *Planet. Space Sci.*, 1971, vol. 19, N 4, p. 399–411.
256. Hanson W. B., Sanatani S. Large N_i – gradients below the equatorial F-peak.— *J. Geophys. Res.*, 1973, vol. 78, N 7, p. 1167–1173.

257. Heppner J. P., Meredith L. H. Nightglow emission altitudes from rocket measurements. — *J. Geophys. Res.*, 1958, vol. 63, N 1, p. 53–65.
258. Herrero F. A., Meriwether J. W. Equatorial night-time *F*-region events: a survey of 6300 Å airglow intensity maps at Arecibo. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1981, vol. 43, N 8, p. 859–866.
259. Herron T. J., Donn W. L. Diurnal variations of *F*-region waves. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1973, vol. 35, N 12, p. 2163–2176.
260. High resolution observation of H_2 solar flares and temporal relation between H_2 and X-ray, microwave emission/H. Kurokawa, T. Kitahara, Y. Nakai et al. — *Astrophys. Space Sci.*, 1986, vol. 118, N 1/2.
261. Hinteregger H. E. Representation of solar EUV fluxes for aeronautical applications. — *Advances in Space Res.*, 1981, vol. 1, N 12, p. 39–52.
262. Horan D. M., Kreplin R. W. Measurements of solar EUV and soft X-ray emission during Sudden Frequency Deviations. — *J. Geophys. Res.*, 1980, vol. 85, N A8.
263. Horan D. M., Kreplin R. W. Simultaneous measurements of EUV and soft X-ray solar flare emission. — *Solar Phys.*, 1981, vol. 74, N 1, p. 262–272.
264. Horan D. M., Kreplin R. W., Fritz G. G. Direct measurements of impulsive EUV and hard X-ray solar flare emission. — *Astrophys. J.*, 1982, vol. 255, N 2.
265. Hunt B. G. The 2-day wave in the middle atmosphere, as simulated in a general circulation model extending from the surface to 100 km. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1981, vol. 43, N 11, p. 1143–1154.
266. Hunter D. M. Spectroscopic studies of the twilight airglow. — *Space Sci. Rev.*, 1967, vol. 6, N 4, p. 493–573.
267. Intensity covariations of the oxygen green and red lines in the nightglow/K. Misawa, I. Takeuchi, Y. Kato, I. Aoyamu. — *Ann. Geophys.*, 1981, vol. 37, N 4, p. 549–556.
268. Intercalibration of airglow observatories with the Atmosphere Explorer satellite/M. R. Torr, P. B. Hays, B. C. Kennedy, J. C. G. Walker. — *Planet. Space Sci.*, 1977, vol. 25, N 2, p. 173–184.
269. Ion chemistry and thermal balance of the *E* and thermal balance of the *E* and lower *F*-regions of daytime ionosphere: an experimental study/A. F. Timothy, J. G. Timothy, A. P. Willmore, J. H. Wager. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1972, vol. 34, N 6, p. 969–1035.
270. Ionization frequencies for major thermospheric constituents as a function of solar cycle 21/M. R. Torr, D. G. Torr, R. A. Ong, H. E. Hinteregger. — *Geophys. Res. Lett.*, 1979, vol. 6, N 10, p. 771–775.
271. Jasperse J. R., Smith Ed. R. The photoelectron flux in the Earth's ionosphere at energies in the vicinity of photoionization peaks. — *Geophys. Res. Lett.*, 1978, vol. 5, N 10, p. 843–846.
272. Johnson C. Y. Ion and neutral composition of the ionosphere. — In: IQAY/COSPAR Joint symposium, Imperial College, London, 1967.
273. Johnson C. Y., Young J. M., Holmes J. C. Magnetoglow: a new geophysical resource. — *Science*, 1971, vol. 171, N 3969, p. 379–381.
274. Johnstone A. D. Precipitation of charged particles by a parallel electric field. — *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 6, p. 581–594.
275. Kane S. R., Frost K. J., Donnelly R. F. Relationship between hard

- X-ray and EUV sources in solar flares. — *Astrophys. J.*, 1979, vol. 234, N 2, p. 669–682.
276. Kastner S. O., Neupert W. M., Swartz M. Solar-flare emission lines in the range from 66 to 171 Å. — *Astrophys. J.*, 1974, vol. 191, N 1, p. 261–270.
277. Kelly R. T., Rense W. A. Solar flares in the EUV observed from OSO-5. — *Solar Phys.*, 1972, vol. 26, N 2, p. 431–440.
278. Khare S. P. Mean energy expended per ion pair by electrons in atmospheric gases. — *J. Phys. B.*, 1970, vol. 3, N 7, p. 971–975.
279. Kockarts G. Effects of solar variations on the upper atmosphere. — *Solar Phys.*, 1981, vol. 74, N 1, p. 295–320.
280. Kockarts G. Heat balance and thermal conduction. — In: *Physics and Chemistry of Upper Atmospheres*. Boston. Dordrecht, 1973, p. 54–63.
281. Kofsky I. L. Spectroscopic consequences of Papadopoulos discharge model of spacecraft ram glows. — *Radio Sci.*, 1984, vol. 19, N 2, p. 578–586.
282. Korobeynikova M. P., Nasirov G. A. Influence of the internal gravity waves on the behaviour of the nightglow emission 557,7 nm. — *Ann. Geophys.*, 1976, vol. 32, N 1, p. 39–41.
283. Korth A., Kremser G., Wilken B. Observations of substorm-associated particle-flux variations at $6 \leq L \leq 8$ with GEOS-1. — *Space Sci. Rev.*, 1978, vol. 22, N 5, p. 501–509.
284. Kozyra J. V., Cravens T. E., Nage A. F. Energetic O^+ precipitation. — *J. Geophys. Res.*, 1982, vol. 87, N A4, p. 2481–2486.
285. Kreplin R. W., Moser P. J., Castelli J. P. Flare X-ray and radio wave emission. — In: *Space Res.*, X, 1970.
286. Lasarev A. I., Leonov A. A., Miroshnikov M. M. Optical investigations from the manned spacecraft "Voshod-2". — In: *Space Res.*, XIV, 1974, p. 489–494.
287. Lehmann J. F. The absorption of slow cathode rays in various gases. — *Proc. Roy. Soc. L.*, 1927, vol. 115, N A772, p. 624–639.
288. Lehmann J. F., Osgood T. H. Total ionization due to the absorption in air of slow cathode rays. — *Proc. Roy. Soc. L.*, 1927, vol. 115, N A772, p. 609–624.
289. Lenhart K. G. Ground observations of the solar event of February 25, 1969. — *Astrophys. Space Sci., Lib.*, 1970, vol. 19, p. 382–404.
290. López-Moreno J. J., Rodrico R., Vidal S. Radiative contamination in rocket-borne infrared photometric measurements. — *J. Geophys. Res.*, 1985, vol. 90, N A7, p. 6617–6621.
291. McClure J. P., Hanson W. B., Hoffman J. H. Plasma bubbles and irregularities in the equatorial ionosphere. — *J. Geophys. Res.*, 1977, vol. 82, N 19.
292. McClymont A. N., Canfield R. C. Solar flare extreme ultraviolet to hard X-ray ratio. — *Astrophys. J.*, vol. 305, N 2, p. 936–946.
293. McEwen D. J. Rocket measurement of low energy electrons during auroral events. — In: *Space Res.*, XII, 1972, vol. 2, p. 1385–1390.
294. Measurements of time variations of polar aurora brightness and emission layers from the orbit scientific station "Salyut-6"/S. V. Avakyan, G. A. Dolgoplov, L. S. Elvashin et al. — Proceedings of the 11th Annual Meeting of Upper Atmosphere Studies by Optical Methods held at the Max-Planck-Institut für Aeronomie Katlenburg-Lindau 3, FPG, 29 Aug. – 2 Sept. 1983.
295. Measurements of vehicle glow on the Space Shuttle/S. B. Mende, R. Nobles, P. M. Banks et al. — *J. Spacecraft and Rockets*, 1984, vol. 21, N 4, p. 374–381.

296. Mende S. B., Banks P. M., Klingelsmith D. A. Observation of orbiting vehicle induced luminosities on the STS-8 mission. — *Geophys. Res. Lett.*, 1984, vol. 11, N 5, p. 527–530.
297. Mende S. B., Garriott O. K., Banks P. M. Observations of optical emissions on STS-4. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 10, N 2, p. 122–125.
298. Mende S. B., Swenson G. R. Vehicle glow measurements of the Space Shuttle. — Preprint AIAA-85-0909, 1985. — 37 p.
299. Mende S. B., Swenson G. R., Clifton K. S. Atmospheric emissions photometric imaging experiment. — *Science*, 1984, vol. 225, N 4658, p. 191–193.
300. Mendillo M., Baumgardner J. Optical signature of an ionospheric hole. — *Geophys. Res. Lett.*, 1982, vol. 9, N 3, p. 215–218.
301. Meriwether J. M. High latitude airglow observations of correlated short-term fluctuations in the hydroxyl Meinel 8–3 band intensity and rotational temperature. — *Planet. Space Sci.*, 1975, vol. 23, N 8, p. 1211–1218.
302. Mizushima M., Shimazaki T. Radiative relaxation of molecular vibration of the nitric oxide molecule as a possible source of the infrared Shuttle glow. — *Planet. Space Sci.*, 1985, vol. 33, N 10.
303. Molchanov A. M. The resonant structure of the solar system. The law of planetary distances. — *Icarus*, 1968, vol. 8, N 2, p. 203–215.
304. Moon P. Proposed standard solar-radiation curves for engineering use. — *J. Franklin Inst.*, 1940, vol. 230, N 5, p. 583–617.
305. Moore J. G., Weber E. J. OI 6300 and 5577 Å airglow measurements of equatorial plasma depletions. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1981, vol. 43, N 8, p. 851–858.
306. Mullaney H., Paragiannis M. D., Noxon J. F. Parallel study of 6300 Å airglow emission and ionosphere scintillations. — *Planet. Space Sci.*, 1972, vol. 20, N 1, p. 41–46.
307. Murata H. Wave motions in the atmosphere and related ionospheric phenomena. — *Space Sci. Rev.*, 1974, vol. 16, N 4, p. 461–525.
308. Nighttime dynamics of the F-region near Arecibo as mapped by airglow features/J. H. A. Sobral, H. C. Carlson, D. T. Farley, W. E. Swartz. — *J. Geophys. Res.*, 1978, vol. 83, N A6, p. 2561–2566.
309. Nonnast J. H., Armstrong T. P., Kohl J. W. Study of solar flare soft X-rays and their relation to particle events observed with IMP-8. — *J. Geophys. Res.*, 1982, vol. 87, N A6, p. 4327–4337.
310. North-South aligned equatorial airglow depletions/E. J. Weber, J. Buchau, R. H. Eather, S. B. Mende. — *J. Geophys. Res.*, 1978, vol. 83, N A2, p. 712–716.
311. Observations of 10 eV to 25 keV electrons in steady diffuse aurora from AE-C and -D/W. K. Peterson, J. P. Doering, T. A. Potemra et al. — *J. Geophys. Res.*, 1977, vol. 82, N 1, p. 43–47.
312. Ogawa T., Tohmatsu T. Sounding rocket observations of helium 304 and 584 glow. — *J. Geophys. Res.*, 1971, vol. 76, N 25, p. 6136–6145.
313. O'Keefe J. A. A. O'Keefe's comments. — *Science*, 1962, vol. 136, N 3522.
314. Opal C. B. Enhancements of the photoelectron-excited dayglow during solar flares. — In: *Space Res.*, XIII, 1975, vol. 2, p. 797–802.
315. Opal C. B., Beaty E. C., Peterson W. K. Tables of secondary-electron-production cross sections. — *Atomic Data*, 1972, vol. 4, N 3, p. 209–253.

316. Optical characteristics of the mesopause and the lower thermosphere on the nightside of the Earth/A. A. Buznikov, K. Ya. Kondratyev, A. I. Lazarev, A. I. Smokty. — In: Abstracts XVII Plenary Meeting COSPAR. Sao Paulo, 1974, p. 152–153.
317. Orbiter glow observations at high spectral resolution/D. J. W. Kendall, E. J. Llewellyn, R. L. Gattinger, S. B. Mende. — In: AIAA Shuttle environment and operations. II. Houston, 1985, p. 94–98.
318. Papadopoulos K. On the Shuttle glow. — Radio Sci., 1984, vol. 19, N 2.
319. Paresce F., Bowyer S., Kumar S. On the distribution of He⁺ in the plasmasphere from observations of resonantly scattered He II 304 Å radiation. — J. Geophys. Res., 1974, vol. 79, N 1, p. 174–178.
320. Paresce F., Bowyer S., Kumar S. Observations of the He II 304 Å radiation in the night sky. — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 1, p. 71–79.
321. Particle precipitation and its effects at high latitudes in the 2 february 1969 event/G. Gustafsson, T. R. Larsen, H. Pettersen et al. — In: Space Research, XII, 1972, vol. 2, p. 1463–1470.
322. Photometric observations of local rocket-atmosphere interactions/R. G. Greer, D. P. Murtagh, G. Witt, J. Stegman. — In: VIth ESA Symp. Eur. Rocket and Balloon Programmes and Relat. Res. Interlaken. Paris: 1983, p. 341–347.
323. Pigge H. Ionisierungswirkung langsamer kathodenstrahlen. — Ann. Phys., 1934, Bd 20, H. 8, S. 233–249.
324. Prasad S. S., Furman D. R. Is there a real need for doubling the solar EUV fluxes? — J. Geophys. Res., 1974, vol. 79, N 16, p. 2463–2468.
325. Prasad R. Y., Singh R. H. Bremsstrahlung X-rays flux and its ionizing effect in the lower ionosphere. — Ann. Geophys., 1970, vol. 26, N 2.
326. Reasoner D. L., Chappell C. R. Twin payload observations of incident and backscattered auroral electrons. — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 13, p. 2176–2186.
327. Reed E. I., Fowler W. B., Blamont J. E. — An atlas of low latitude 6300Å (OI) night airglow from OGO-4 observations. — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 25, p. 5658–5675.
328. Rees M. H. Auroral electrons. — Space Sci. Rev., 1969, vol. 10, N 3, p. 413–441.
329. Riegler G. R., Garmin G. P. Observations of the extreme UV nightglow. — J. Geophys. Res., 1974, vol. 79, N 1, p. 226–232.
330. Riley M. E., McCallum C. J., Biggs F. Theoretical electron-atom elastic scattering cross sections. — Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1975, vol. 15, N 5.
331. Roble R. G., Dickinson R. E. Is there enough solar EUV radiation to maintain the global mean thermospheric temperature? — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 1, p. 249–257.
332. Rocket observations of the far UV nightglow at Lyman β and shorter wavelengths/J. M. Young, C. S. Weller, C. Y. Johnson, J. C. Holmes. — J. Geophys. Res., 1971, vol. 76, N 16, p. 3710–3722.
333. Röttger J. Equatorial spread-F by electric fields and acoustic gravity waves generated by thunderstorms. — J. Atmos. Terr. Phys., 1981, vol. 43, N 5/6, p. 453–462.
334. Röttger J. Travelling disturbances in the equatorial ionosphere and their association with penetrative cumulus convection. — J. Atmos. Terr. Phys., 1977, vol. 39, N 9/10, p. 987–998.

335. Schmidtke G. Modelling of the solar extreme ultraviolet irradiance for aeronomie applications. — In: *Handbook der Physik*, 1984, Bd 49/7, p. 1–56.
336. Shimazaki T., Mizushima M. Shuttle glow emissions due to radiative relaxation of highly vibrationally excited NO molecules produced by surface reflection. — In: *AIAA Shuttle Environment and Operations*, II. Houston, 1985, p. 79–87.
337. Simon P. C. Irradiation solar flux measurements between 120 and 400 nm. Current position and future needs. — *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 4, p. 355–365.
338. Skinner N. J., Carman E. H., Heeran M. P. Movements of airglow structures within the intertropical ars observed from southern Kenya. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1977, vol. 39, N 11/12, p. 1395–1398.
339. Slinger T. G. Conjectures of the origin of the surface glow of space vehicles. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 10, N 2, p. 130–132.
340. Sobral J. H. A., Abdu M. A., Batista I. S. Airglow studies on the dynamics over low latitude in Brazil. — *Ann. Geophys.*, 1980, vol. 36, N 2, p. 199–204.
341. Solar-Geophys. Data, prompt report. — Boulder, 1969, NN 294–296, 1978, N 409–412.
342. Solar flares in the extreme ultraviolet/A. T. Wood, R. N. Noyes, A. K. Dupree et al. — *Solar Phys.*, 1972, vol. 24, N 1, p. 169–179.
343. Solar spectral irradiance, 120 to 190 nm/G. J. Rottman, C. A. Barth, R. J. Thomas et al. — *Geophys. Res. Lett.*, 1982, vol. 9, N 5, p. 587–590.
344. Spectrophotometry of the Earth from manned spacecraft/K. Ya. Kondratyev, A. A. Buznikov, B. V. Vinogradov et al. — In: *Space Research XI. Proceedings of the XIII Plenary Meeting of COSPAR*, Berlin, Akademie – Verlag, 1971.
345. Surface glow of Atmosphere Explorer C and E satellites/S. R. Langholt, R. L. Jaffe, J. H. Yee, A. Dalgarno. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 10, N 9, p. 896–899.
346. Svestka Z. Solar flares. — D. Reidel CO., 1976. — 399 p.
347. Swenson G. R., Mendes S. B., Clifton K. S. Ram vehicle glow spectrum; implication of NO₂ recombination continuum. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 12, N 1.
348. Thermal radiation phenomena. Vol. 2. Excitation and non-equilibrium phenomena in air. — N. Y., Wash.: Plenum Press, 1969. — 288 p.
349. Thomas L. The neutral and ion chemistry of the upper atmosphere. — *Handbook Phys.*, 1982, vol. 49/6, p. 7–128.
350. Thompson P. D. Numerical weather analysis and prediction. — N. Y.: MacMillan, 1961. — 52 p.
351. Tinsley B. A. Neutral atom precipitation – a review. — *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1981, vol. 43, N 5/6, p. 617–632.
352. Torr M. R. Optical emissions induced by spacecraft-atmosphere interactions. — *Geophys. Res. Lett.*, 1983, vol. 10, N 2, p. 114–117.
353. Torr M. R., Basedow R. W., Torr D. G. Spectroscopic imaging of the thermosphere from the Space Shuttle. — *Appl. Optics*, 1982, vol. 21, N 22, p. 4130–4145.
354. Torr M. R., Torr D. G. A preliminary spectroscopic assessment of the Spacelab/Shuttle optical environment. — *J. Geophys. Res.*, 1985, vol. 90, N A2, p. 1683–1690.
355. Torr M. R., Torr D. G. Atmospheric spectral imaging. — *Science*, 1984, vol. 225, N 4658, p. 169–171.
356. Torr M. R., Torr D. G. Energetic oxygen in a mid-latitude aurora. — *J. Geophys. Res.*, 1984, vol. 89, N A7, p. 5547–5553.

357. Turco R. P. Photodissociation rates in the atmosphere below 100 km.— *Geophys. Surveys*, 1975, vol. 2, N 2, p. 153—192.
358. Valentine J. M., Curran S. C. Average energy expenditure per ion pair in gases and gas mixtures.— *Repts. Progs. Phys.*, 1958, vol. 21, p. 1—29.
359. Van Zandt T. E., Peterson V. L. Detailed maps of tropical 6300 Å nightglow enhancements and their implications on the ionospheric F2 layer.— *Ann. Geophys.*, 1968, vol. 24, N 3, p. 747—759.
360. Venkatarangan P., McEwen D. J. Electron measurements (18 keV — 20 eV) in auroral events.— *Planet. Space Sci.*, 1979, vol. 27, N 5, p. 669—677.
361. Visible-airglow experiment on Atmosphere Explorer/P. B. Hays, G. Carignan, B. C. Kennedy et al.— *Radio Sci.*, 1973, vol. 8, N 4, p. 369—377.
362. Von Zahn U., Wulf E. The gaseous environment of the Shuttle, as observed by mass-spectrometer inside the payload bay of the Shuttle orbiter.— In: *AIAA Shuttle Environment and Operations, II*, Houston, 1985, p. 75—78.
363. Voss H. D., Smith L. G. Global zones of energetic particle precipitation.— *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1980, vol. 42, N 3, p. 227—239.
364. Wallis D. D., Anger C. D. High-altitude observations of a luminous wake behind two Black Brant II rockets.— *Canad. J. Phys.*, 1968, vol. 46, N 24, p. 2753—2754.
365. Wave disturbances in the low latitude ionosphere and equatorial ionospheric plasma depletions/J. H. A. Sobral, M. A. Abdu, I. S. Batista, C. J. Zamlutti.— *J. Geophys. Res.*, 1981, vol. 86, N A3, p. 1374—1378.
366. Weber E. J., Buchau J., Moore J. G. Airborne studies of equatorial F layer ionospheric irregularities.— *J. Geophys. Res.*, 1980, vol. 85, N A9, p. 4631—4641.
367. Whyte G. N. Energy per ion pair for charged particles in gases.— *Radiation Res.*, 1963, vol. 18, N 3, p. 269—271.
368. Wickersham A. F. The diurnal source and nature of gravity waves ducted in lower thermosphere.— In: *Acoustic gravity waves in the atmosphere*. Colorado, 1968.
369. Wickersham A. F. The origin and propagation of acoustic-gravity waves ducted in the thermosphere.— *Australian J. Phys.*, 1968, vol. 21, N 5, p. 671—680.
370. Williams D. J. Dynamics of the Earth's ring current theory and observation.— *Space Sci. Rev.*, 1985, vol. 42, N 3/4, p. 375—396.
371. Wrenn G. L. Satellite measurements of photoelectron fluxes.— *Ann. Geophys.*, 1974, vol. 30, N 1, p. 49—57.
372. Wrenn G. L., Heikkila W. J. Photoelectrons emitted from ISIS spacecraft.— In: *Photon and Particle Interactions with Surface in Space*.— Amsterdam, 1973.
373. Yee J. H., Abreu V. J., Dalgarno A. The Atmosphere—Explorer optical glow near perigee altitudes.— *Geophys. Res. Lett.*, 1985, vol. 12, N 10, p. 651—654.
374. Yeh J. J., Lindau I. Subshell photoionization cross sections.— *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 1985, vol. 32, N 1, p. 1—156.
375. Zipf E. C., Launghlin R. W. On the dissociation of nitrogen by electron impact and by EUV photoabsorption.— *Planet. Space Sci.*, 1978, vol. 26, N 5, p. 449—462.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Атмосфера и солнечно-геомагнитные явления	9
1.1. Структура земной атмосферы и ионосферы	—
1.2. Проникновение в атмосферу излучения и заряженных частиц	18
1.3. Солнечно-земные и магнитосферные явления	31
1.4. Проблемы прогноза состояния ионосферы	60
Глава 2. Особенности наблюдения и регистрации из космоса	71
2.1. Особенности зрительного восприятия в космосе	—
2.2. Динамика изменения функций зрения в космическом полете	80
2.3. Динамические характеристики деятельности космонавта во время проведения визуальных наблюдений	85
2.4. Цветовое зрение	87
2.5. Влияние атмосферы и иллюминаторов космических кораблей	89
2.6. Влияние взволнованной поверхности морей и океанов	97
2.7. Наблюдение и регистрация из космоса атмосферы, облачного покрова, акватории и поверхности Земли	100
Глава 3. Оптические исследования советских космонавтов	104
3.1. Наблюдения с первых космических пилотируемых кораблей	—
3.2. Оптические исследования с космических кораблей «Союз»	118
3.3. Визуально-инструментальные наблюдения с орбитальных станций «Салют»	140
3.4. Визуально-инструментальные наблюдения с «Салюта-6», «Салюта-7» и «Мир»	163
Глава 4. Эмиссионное излучение атмосферы и ионосферы	221
4.1. Свечение у поверхности космических аппаратов	—
4.2. Визуально-инструментальные наблюдения оптических эмиссий верхней атмосферы	234
4.3. Волновая структура второго эмиссионного слоя	242
4.4. Реакция ночной верхней ионосферы на солнечные вспышки	252
Глава 5. Облачный покров	266
5.1. Особенности наблюдения и регистрации облачного покрова из космоса	—
5.2. Взаимодействие облачного покрова с динамическими образованиями на поверхности океана	273
5.3. Дневной горизонт	287
5.4. Пылевые облака	292
5.5. Кажущееся увеличение и провалы в атмосфере	298
5.6. Радужные облака, gloria	301
5.7. Серебристые облака	306
Глава 6. Наблюдения поверхности Земли	322
6.1. Элементы геологической структуры	—
6.2. Снежно-ледяной покров, ледники и водные ресурсы	334
6.3. Лесные массивы	349
6.4. Исследования Мирового океана	353
Заключение	377
Список литературы	379

Монография

**Александр Иванович Лазарев,
Владимир Васильевич Коваленок,
Сергей Вазгенович Авакян**

Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей

**Редактор О. Д. Рейнгерц. Художник Б. А. Денисовский. Технический редактор
Л. М. Шишкова. Корректор О. В. Андреева**

ИБ № 1739

Сдано в набор 21.01.87. Подписано в печать 16.09.87. М-22666. Формат 60 × 84^{1/16}.
Бумага мелованная. Гарнитура таймс. Печать высокая. Усл. печ. л. 23,25. Усл.
кр.-отт. 117,09. Уч.-изд. л. 23,68. Тираж 2420 экз. Индекс МОЛ-222. Заказ № 812.
Цена 4 р. 10 к.

Гидрометеиздат. 199226. Ленинград, ул. Беринга, 38.

**Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское
производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.**