

ФОНОВЫЕ УСЛОВИЯ И ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОВЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ АВРОРАЛЬНЫХ ЭМИССИЙ, ПОЛУЧАЕМЫЕ С ОРБИТ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. К. Кузьмин

Статья представлена как одна из частей методико-аналитического задела при подготовке экспериментов с авроральными имаджерами на перспективных космических аппаратах. Получение изображений авроральных эмиссий в видимой и ВУФ-областях спектра, излучаемых в толще атмосферы и ионосферы, с разных орбит связано с выделением их над фоном с помощью полосовых фильтров в изображающих камерах или с помощью монохроматоров и выходных щелей в спектрографических имаджерах. При селекции авроральных эмиссий часть фоновых квантов проходит сквозь полосу пропускания приборов и попадает на изображающий детектор. Рассматриваются характеристики источников фона в видимом и ВУФ-спектральных диапазонах и их влияние на изображения эмиссий в авроральных структурах.

Ключевые слова: диагностика состояния полярной ионосферы, фоновые условия, авроральные эмиссии, авроральный овал, авроральный имаджер, изображающий спектрограф.

Введение

Мотивацией к данной работе послужило понимание того, что полярные сияния (аврора) – это не просто завораживающие динамичные представления, которым не перестают удивляться местные жители, туристы и исследователи в Арктике и Антарктике, а то, что в изображениях эмиссий в авроральных структурах заключена богатая информация, которую можно методично получать во времени, близком к реальному, и использовать для регулярного контроля состояния ионосферы в высоких широтах. Космическая эра открыла возможности наблюдений и мониторинга структур авроры с разных орбит космических аппаратов (КА), а методология получения изображений пространственных распределений интенсивности авроральных эмиссий сверху, начиная с экспериментов с первыми сканирующими фотометрами и спектрометрами, продолжает развиваться сегодня с помощью имаджеров и изображающих спектрографов. Прогресс в исследованиях происходит по мере совершенствования методик измерений и улучшения характеристик высокочувствительных матричных детекторов изображений, позволяющих создавать аппаратуру, с помощью которой за время экспозиции от долей секунды (для низких полярных орбит) до десятков секунд (для высокопогодных орбит типа «Молния») получают изображения авроральных эмиссий как в локальном, так и в глобальном масштабах. Однако, в отличие от наземных наблюдений авроральных структур, зависящих от тропосферных погодных условий, орбитальная авроральная имаджелогия зависит от ряда световых фоновых помех и специфических факторов, которые необходимо учитывать при ре-

гистрации распределений интенсивности авроральных эмиссий в геометрии сверху-вниз, и их анализе. В данной работе рассматривается степень влияния большинства этих факторов и некоторые методы коррекции изображений до их использования в качестве диагностических индикаторов при дистанционном картографировании пространственных распределений энергетических характеристик источника, то есть высыпающихся из магнитосферы заряженных частиц.

1. Вводная информация для сравнения величин интенсивности эмиссий в ночном и дневном излучении атмосферы, полярном сиянии и фоновых засветках от основных внеатмосферных источников. Диапазон интенсивностей авроральных эмиссий, наблюдавшихся с орбит космических аппаратов «ИК-Болгария-1300», «Ореол-3» и зарубежных космических аппаратов, и основные реакции возбуждения спещий верхней атмосферы и ионосферы, их излучающих.

1.1. Прежде чем рассматривать влияние прямого и рассеянного солнечного света, «света» Луны и других фоновых источников при наблюдениях авроральных эмиссий с орбит КА в разных диапазонах спектра, посмотрим на несколько сравнительных таблиц (табл. 1, 2, 3). Табл. 1 была составлена еще на заре космической эры по данным наблюдений прецизионного фотометра Red Line Photometer (RLP) интенсивности кислородной эмиссии $\lambda 630,0$ нм на орбите КА ISIS-II [1]. Благодаря спиновому вращению КА были сканированы строки развертки интенсивности этой эмиссии (в рамках полуширины полосы пропускания филь-

тра $\delta\lambda = 1$ нм) при наблюдениях в направлении близких к нормали (колонка 1) и при наблюдениях по касательной к слою свечения, то есть с учетом коэффициента тангенциального усиления (эффект Ван Рейна) (колонка 2) [2]. В этой таблице приведены: диапазоны интенсивности непосредственно самой эмиссии в сумеречном и ночном излучении атмосферы в средних и тропических широтах (в экваториальной аномалии), возбуждаемых за счет фотохимических реакций атомарного кислорода (рис. 1); диапазоны интенсивности в авроральных структурах при высыпаниях энергичных электронов, а также уровень интенсивности фонового излучения от Солнца и Луны (при направлениях на них), проходящего сквозь полосу фильтра и отраженного от подстилающей поверхности. Эмиссия $\lambda 630,0$ нм [OI] была выбрана намеренно в качестве примера еще и потому, что ее интенсивность в авроральных структурах является одним из основных дистанционных индикаторов состояния полярной верхней атмосферы и F-слоя ионосферы. Учет вклада множества механизмов возбуждения эмиссии $\lambda 630,0$ нм в авроральной зоне не

прост, а важность ее значения для диагностики состояния F-слоя была отмечена многократно [3 – 6].

На диаграмме (см. рис. 1) [7] показаны энергетические уровни и три важнейших реакции возбуждения кислородных и других (N_2^+ и NI) эмиссий: удар энергичным электроном, фотодиссоциация молекулы кислорода под действием солнечных квантов на освещенной стороне орбиты, диссоциативная рекомбинация ионов с ионосферными электронами на ночной стороне и др., которые учитываются при анализе наблюдаемых авроральных структур и в транспортных моделях взаимодействия заряженных частиц с компонентами верхней атмосферы и ионосферы, где эмиссии являются одним из конечных продуктов на разных высотах [8 – 12].

Диапазон интенсивностей излучения эмиссий верхней атмосферы и полярных сияний, полученных с помощью авроральных фотометров «ЭМО-5» и «Альтаир» [13, 14] в экспериментах на ночной стороне орбит КА «ИК-Болгария-1300» и «Ореол-3» в 1981 – 1982 гг., представлен в табл. 2 [15].

Таблица 1

Фотометр $2\omega = 2,5^\circ$ Фильтр $\delta\lambda = 1$ нм Источник $\lambda 630,0$ нм [OI]	Интенсивность эмиссии, Рл* Направление наблюдений с орбиты	
	по нормали к слою	по касательной к слою
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Ночное излучение атмосферы	50	750
Сумеречное излучение атмосферы	400	6×10^3
Свечение в тропической аномалии	800	12×10^3
Слабое полярное сияние	1×10^3	15×10^3
Земля, освещенная Луной (полной)	1×10^3	1×10^3
Сильное полярное сияние	1×10^5	15×10^5
Луна, если смотреть на нее	10^7	10^7
Земля, освещенная Солнцем	5×10^8	5×10^8
Солнце, если смотреть на него	5×10^{12}	5×10^{12}

*1 Рл = $10^6/4\pi$ фотонов/см²·с·стер – единица интенсивности излучения атмосферных эмиссий [16].

Таблица 2

Основные авроральные эмиссии в видимой области спектра, наблюдавшиеся с помощью фотометров с орбит космических аппаратов «Ореол-3» и «ИК-Болгария-1300»

Источник: возбужденный атом/молекула/ион	(N ₂ ⁺ NG)	(H β)	[OI]	[OI]	[OII]
Длина волны эмиссии, λ (нм)	427,8	486,1	557,7	630,0	732,0
Интенсивность в ночном излучении атмосферы и ионосферы, Рл	5 – 100	1 – 5	50 – 1000	20 – 800	1 – 10
Интенсивность в полярных сияниях, Рл	$50 – 5 \times 10^4$	5 – 500	$10^3 – 5 \times 10^5$	$800 – 10^5$	10 – 500

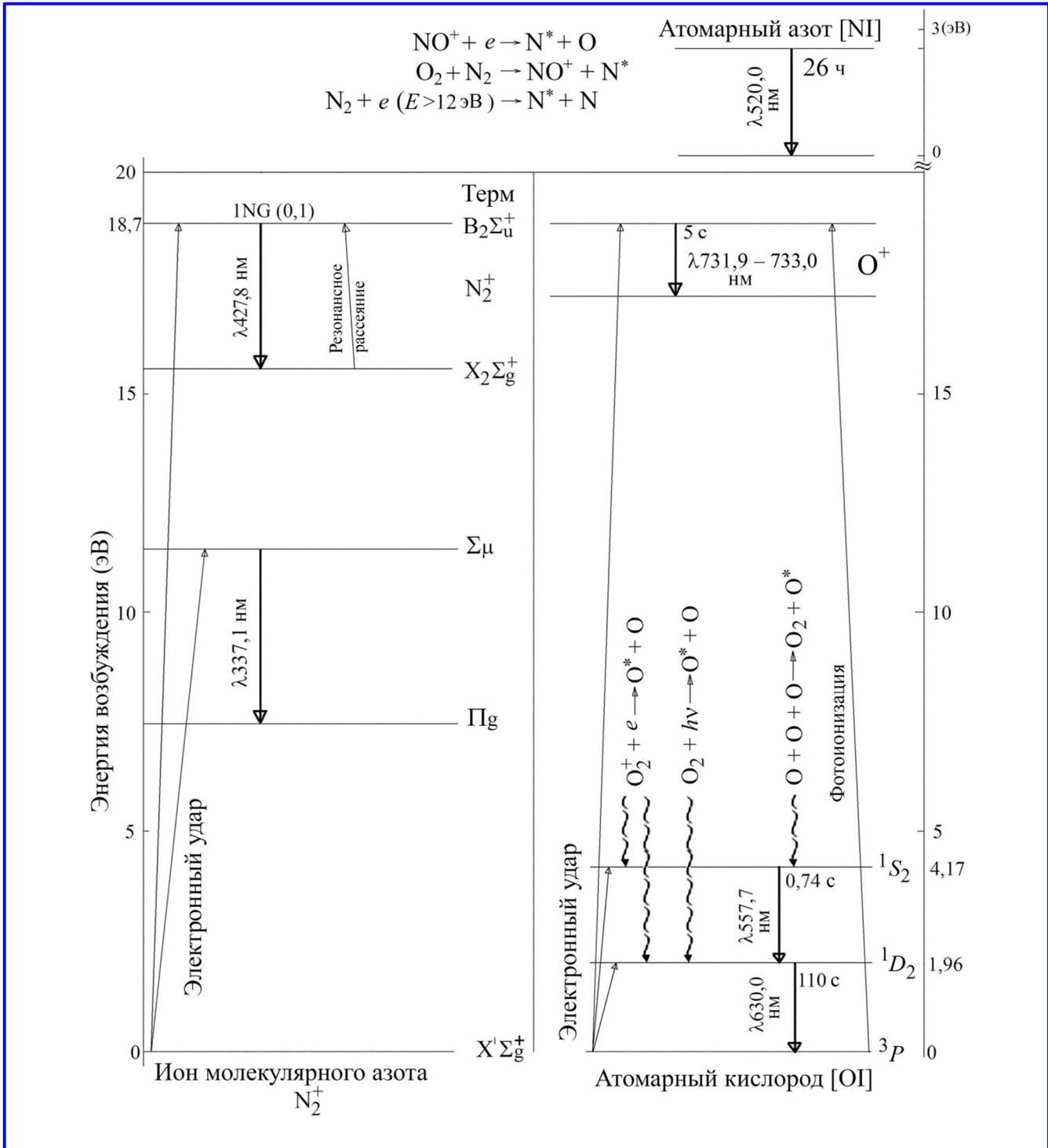


Рис. 1. Диаграмма энергетических уровней и процессов возбуждения основных авроральных эмиссий в видимой области спектра, используемых для диагностики состояния полярной ионосферы с орбит космических аппаратов

1.2. Основные свойства эмиссий верхней атмосферы и ионосферы:

а) все эмиссии «имеют» собственное распределение интенсивности по высоте, связанное с высотным распределением концентраций нейтральных и иони-

зованных атомарных и молекулярных излучающих специй и зависящее от концентрации дезактивирующих (гасящих) специй на конкретной высоте;

б) все возбужденные уровни нейтральных и ионизованных атомарных и молекулярных излу-

чающих спечей «имеют» собственное время жизни от наносекунд до часов [16] (см. рис. 1);

в) интенсивность всех локальных структур авроральных эмиссий связана с энергетическими характеристиками источника, то есть с функциями распределения потока энергии и средней энергии авроральных электронов и протонов, высыпающихся вдоль магнитных силовых линий, мгновенный наклон которых к вертикали зависит от геомагнитной широты и конкретных условий в магнитосфере.

1.3. Факторы, влияющие на временное и пространственное аппаратное разрешение структур авроральных эмиссий при наблюдениях с орбит космических аппаратов:

а) скорость массового переноса составляющих атмосферы, включая возбужденные: скорость ветра нейтральных спечей, определяемая законом термодинамики, и скорость дрейфа ионных спечей в скрещенных магнитном и электрическом полях;

б) разница в скорости вращения атмосферы и ионосферы на высотах свечения эмиссий со скоростью вращения Земли;

в) линейная скорость КА в плоскости орбиты;

г) угловая скорость «качания» строительных осей КА в режиме ориентации, мгновенный угол наблюдения θ_m между осью элементарного фотометра с углом поля зрения, стягиваемым одним пикселем (в рамках пространственного угла поля зрения имаджера), и направлением в надир (см. рис. 2);

д) интенсивность конкретной наблюдаемой эмиссии в угле поля зрения элементарного фотометра ω ;

е) время экспозиции изображения конкретной эмиссии авроральной структуры, зависящее от пороговой спектральной чувствительности матричного приемника изображения на длине волны λ конкретной эмиссии;

ж) интенсивность фоновых квантов, проходящих сквозь полосу пропускания интерференционного фильтра имаджера или изображающего спектрографа (см. далее);

з) смаз изображения излучающего слоя эмиссии под влиянием факторов а) – е) зависит от его толщины и динамики авроральной структуры за время экспозиции.

1.4. Эффект тангенциального усиления интенсивности эмиссии при тангенциальных (в лимб) наблюдениях высотного слоя свечения. Эффект Ван Рейна. Согласно табл. 1 заметим принципиальную важность влияния геометрии орбитальных наблюдений (в лимб или близко к нормали к Земле) на величину интенсивности наблюдаемых эмиссий, проявляющуюся в эффекте Ван Рейна [2]. Эффект увеличения интенсивности при отклонении направления наблюдений от нор-

мали/от зенита виден на рис. 2. На рисунке намеренно условно представлена идеализированная ситуация одновременных наблюдений пары эмиссий $\lambda 630,0$ [OI] и $\lambda 427,8$ N_2^+ , излучаемых на высотах слоев ионосферы F и E соответственно и используемых для диагностики состояния полярной ионосферы как с поверхности Земли (All-sky камера), так и с орбиты (авроральные имаджеры) в координированных орбитальных и наземных проектах [17]. Величина усиления интенсивности эмиссии (эффект Ван Рейна) $I_{(n)}/I_{(nadir)}$ (см. рис. 2) достигает максимума при тангенциальных (касательных к слою свечения) направлениях. Например при фотометрических наблюдениях интенсивности эмиссии $\lambda 630,0$ в полярном сиянии с орбитальной станции (ОС) «Мир», летавшей на высоте 335 км 28.08.1987, тангенциальное усиление достигало величин ~ 15 [18]), что позволяло за секунду сканировать доплеровский контур линии и измерять кинетическую температуру кислородных атомов в авроральной структуре на ночной стороне орбиты с помощью конфокального интерферометра Фабри – Перо (см. п. 2.2). Тангенциальная геометрия используется чаще всего при среднеширотных и экваториальных аэронавигационных наблюдениях эмиссий с орбит как в видимом диапазоне спектра, так и диапазоне вакуумного ультрафиолета (ВУФ), когда их интенсивность относительно низка. Из крупных перспективных орбитальных аэронавигационных проектов, намеченных на ближайшие годы, можно выделить низкоорбитальный проект Ionospheric Connection Explorer (ICON) [19], включающий спектрографический вакуумный ультрафиолетовый (ВУФ) имаджер, нацеленный на лимбовые измерения и исследования зависимости распределений отношения O/N_2 и O^+ от влияния факторов космической погоды и других характеристик.

1.5. Условия освещенности аврорального имаджера на орбите космических аппаратов в северной/южной полярной области. Эти условия зависят: от параметров орбиты и ориентации строительных осей КА в пространстве; от характеристик имаджера (угла защиты светозащитной бленды, установленной на входе, спектрального диапазона и ширины полосы интерференционного фильтра); от геометрии наблюдений, то есть направления оптической оси поля зрения, а также от сезона в конкретной области наблюдения.

Время, в течение которого КА может находиться на освещенной стороне орбиты, определяется ее параметрами, заданными при выведении и изменяющимися впоследствии под влиянием прецессии плоскости. Освещенность конкретной стороны КА прямым солнечным светом зависит от режима ориентации его строительных осей, а освещенность

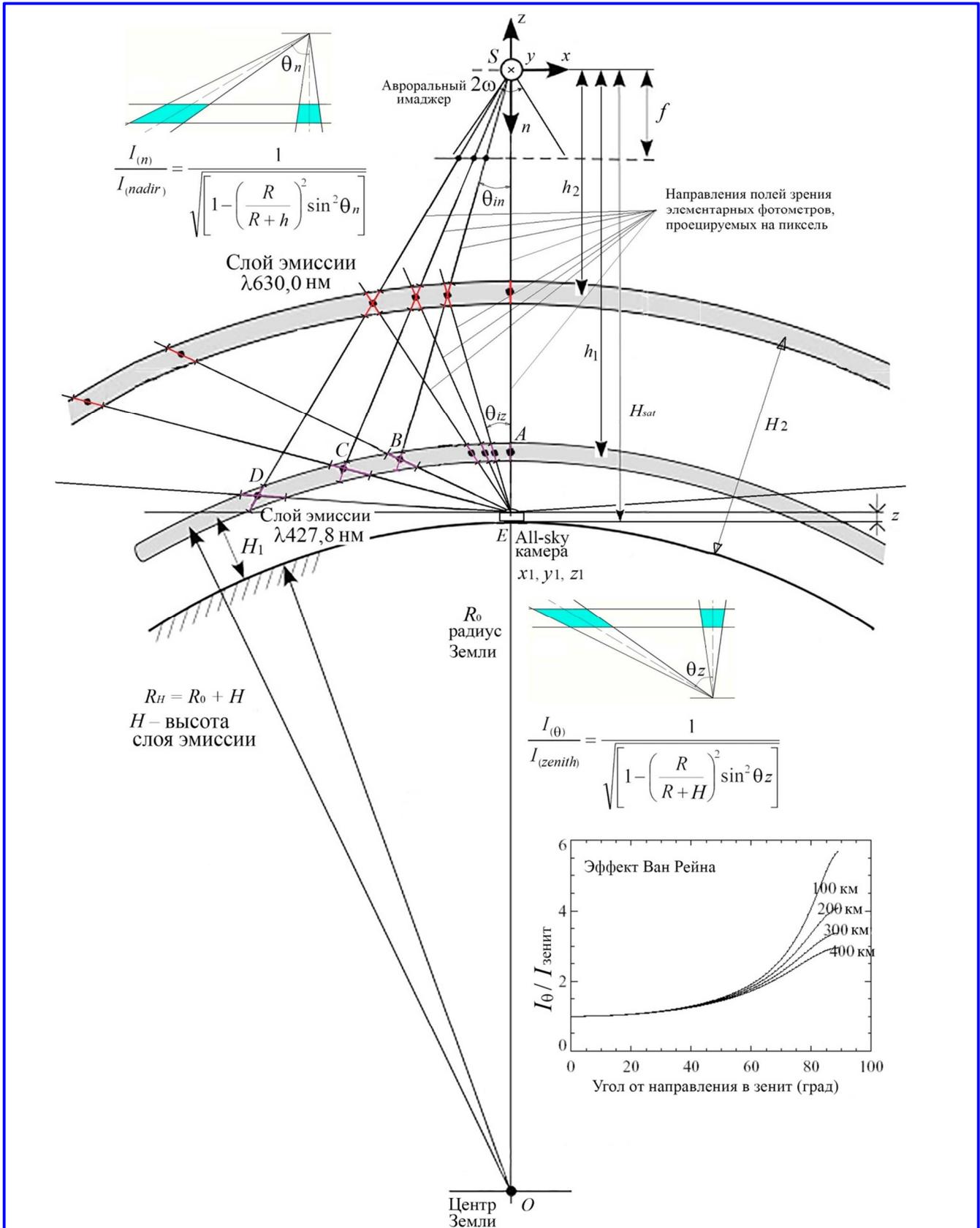


Рис. 2. Идеализированная ситуация одновременных наблюдений излучающих слоев эмиссий с Земли и с орбиты и влияние эффекта Ван Рейна (геометрическое усиление интенсивности) при направлениях наблюдений, отличных от направлений в зенит/надир

конкретной спектральной диагностической аппаратуры, установленной на ориентированном на Землю КА, зависит от ее конкретной компоновки на КА и затенения блоками служебной и научной аппаратуры. Например, на орбите типа «Молния» (высота апогея ~40 – 50 тыс. км, перигея ~1 – 5 тыс. км, угол наклона плоскости орбиты к плоскости экватора $i \sim 63^\circ$) КА, ориентированный на Землю, практически постоянно освещен с одной стороны. Низкоорбитальные КА типа «Метеор» (за исключением КА «ИК-Болгария-1300» [13], аппаратура на которых в основном нацелена на дистанционное зондирование поверхности Земли (ДЗЗ) и приземного слоя, запускаются на солнечно-синхронную орбиту с обратным наклоном ее плоскости к плоскости экватора $i \sim 98^\circ$, причем ее плоскость чаще всего близка к плоскости терминатора, поэтому участок тени на орбите КА относительно ее полного периода не велик (~ 10 – 30 мин). По этой и другим причинам на серии КА DMSP, начиная с F16, установлен изображающий ВУФ-спектрограф SSUSI [20], сканирующий подспутниковый слой свечения эмиссий поперек направления полета. Эта аппаратура позволяет получать изображения авроральных эмиссий как на ночной, так и на освещенной стороне в ВУФ-спектральной области, где присутствует поглощение фоновых квантов подстилающим слоем молекулярного кислорода [21] (см. далее).

При наблюдениях в направлениях близких к нормали к Земле с орбит как с прямым полярным наклоном ее плоскости к плоскости экватора ($i < 90^\circ$), например КА e-POP (Канада) ($i \sim 81^\circ$) с авроральным имаджером Fast Auroral Imager (FAI) [22], так и с обратным полярным наклоном ($i > 90^\circ$), например КА REIMEI (Япония) ($i = 98,6^\circ$) с авроральным имаджером multispectral auroral camera (MAC) на борту [23], важно расположение плоскости орбиты в окрестности полуденно-полуночного меридиана ± 2 часа Magnetic Local Time (MLT). Такое расположение плоскости орбиты обеспечивает возможность наблюдений динамики эмиссий в авроральных структурах в полуночном секторе аврорального овала, то есть там, куда проецируются магнитные силовые линии областей магнитосферы, в которых зарождаются авроральные суббури. Преимуществом аврорального имаджера FAI был угол его поля зрения ($\Omega \sim 28^\circ$), позволяющий всегда «видеть» подножную точку магнитной силовой линии foot point (*f. p.*) на высоте наблюдаемых эмиссий, которую пересекал КА e-POP, имеющий трехосную ориентацию. КА REIMEI (Япония) с авроральным имаджером MAC и анализатором частиц на борту для решения подобной методической задачи регулярно с помощью гироско-

пических устройств «изменял» ориентацию своих строительных осей, что позволяло имаджеру MAC ($\Omega \sim 8^\circ$) выполнять ту же функцию, что и FAI (e-POP), и обеспечивать возможность попадания *f. p.* в область изображения эмиссии. Такое методическое качество обеспечивало одновременное и синхронное измерение энергетических характеристик высыпавшихся частиц на высоте КА и эффекта их воздействия на компоненты полярной верхней атмосферы и ионосферы, то есть ионизацию и возбуждение эмиссий. Интенсивность конкретных эмиссий и их отношение эмпирически связаны с потоком энергии высыпавшихся электронов и их средней энергией соответственно [3, 6].

2. Фоновые условия измерений интенсивности свечения полярных сияний и излучения атмосферы и ионосферы при наблюдениях с орбит космических аппаратов

2.1. Влияние прямого света Солнца и отраженного от Земли и рассеянного атмосферой солнечного света. Прямой солнечный свет – самый яркий природный источник, с малой вероятностью он может попасть в поле зрения фотометра (имаджера) при спиновом вращении КА или направленного тангенциально (по касательной) к слою свечения атмосферы (см. далее) и только при условии внештатного отклонения осей ориентации за пределы ограничений при выходе ориентированного на Землю КА из тени на освещенную сторону орбиты. Для примера величина интенсивности прямого солнечного света в кислородной эмиссии $\lambda 630,0$ нм в рамках полосы пропускания с полушириной $\delta\lambda \sim 1$ нм была приведена в нижней строке табл. 1 для фотометра RLP на КА ISIS-II. Для того чтобы получить интенсивность прямого Солнца в телесных углах полей зрения конкретных фотометров или элементарных фотометров в рамках угла поля зрения аврорального имаджера, необходимо разделить данные удельной интенсивности Солнца, приведенные в [24], на отношение телесного угла поля зрения фотометра к телесному углу, под которым видно Солнце, и умножить на полуширину полосы пропускания соответствующего интерференционного светофильтра. В этой работе приведены также формулы расчета интенсивности отраженного солнечного света от подстилающей поверхности на основе данных энергетической яркости для длин волн основных авроральных эмиссий, полученных фотометрически с самолета над Тихим океаном в 1969 г. [25].

Двухступенчатая светозащитная бленда аврорального имаджера, ослабляющая боковой солнечный и рассеянный от подстилающей поверхности и элементов конструкции КА свет, попавший на кромку ее

входной диафрагмы (с коэффициентом ослабления $K_w \cong 3 \times 10^{-7}$ на угле защиты 30° [26, 1]), позволяет проводить измерения интенсивности свечения в объеме атмосферы Земли, находящемся еще в тени, в то время, когда КА уже освещен прямым солнечным светом. Длительность этого участка орбиты зависит от расположения плоскости орбиты по отношению к плоскости терминатора, но наблюдения на этом участке важны потому, что на сумеречном участке полярной верхней атмосферы еще преобладает вклад фотохимических реакций возбуждения эмиссий одновременно с ударным воздействием фотоэлектронов, «приходящих» вдоль магнитных силовых линий из магнитно-сопряженной области.

Селекция квантов конкретных эмиссий в фотометрах и авроральных имаджерах осуществляется с помощью узкополосных плоских интерференционных фильтров, поэтому уровень фонового сигнала от рассеянного света на изображающем детекторе элементарного фотометра аврорального имаджера в рамках полного пространственного угла поля зрения Ω зависит от полуширины полосы пропускания конкретного светофильтра ($\delta\lambda$ – несколько нм) и конкретного угла наблюдений θ_i [27] (см. рис. 2). В работе [28] впервые была предложена принципиально новая оптическая схема широкоугольного аврорального имаджера ($\Omega = 30^\circ$) с интерференционным фильтром, напыленным на сферический мениск. При ее развитии были предложены еще несколько вариантов этой схемы как для видимой области спектра, так и для ВУФ [29, 27]. Принципиально новое качество предложенных схем заключается в стабильности полосы пропускания (с полушириной $\delta\lambda \sim 2$ нм) во всех направлениях в пределах всего угла поля зрения Ω . Схемы были протестированы теоретически, но до сих пор не были реализованы в орбитальных проектах по техническим причинам, связанным с ограниченностью в России технологических характеристик оборудования для напыления диэлектрических слоев на сферическую поверхность, которые позволяют достигнуть полосы пропускания фильтра $\delta\lambda \sim 1 - 2$ нм. Для достижения такой узкой полосы пропускания сферический мениск должен быть установлен в механизм, который может вращаться по заданной программе (в пределах угла 4π в вакууме), обеспечивающей равномерную по сфере компенсацию влияния силы тяжести на осадение микрокапель диэлектриков.

После пересечения КА подспутниковой границы тени и света (линии терминатора) и выходе на освещенную сторону орбиты на величине сигнала начинает сказываться механизм рэлеевского рассе-

яния солнечных квантов на молекулах в стратосфере и мезосфере, физический механизм которого рассмотрен в [30]. Зависимость интенсивности рассеянного солнечного света от освещенной подстилающей поверхности от локального зенитного угла была оценена в работе [20] для фотометра, настроенного на эмиссию $\lambda 630,0$ нм (см. рис. 3), входящего в комплекс трех фотометров, направленных в нади́р, в системе фотометров NPS, входящих в состав изображающего ВУФ-спектрографа SSUSI, установленного на серии КА DMSP). Этот фотометр имел угол поля зрения $2\omega = 2^\circ$ и полуширину полосы пропускания фильтра $\delta\lambda = 0,3$ нм с максимумом пропускания на длине волны $\lambda 630,0$ нм.

2.2. *Фоновые условия и наблюдения авроральной эмиссии $\lambda 630,0$ нм с пилотируемых орбитальных станций в тангенциальной геометрии.* Влияния рассеянного света на освещенной Солнцем стороне орбит на условия наблюдений кислородной эмиссии $\lambda 630,0$ нм с помощью прибора «Эмиссия-М» на ОС «Салют-4» и модернизированной аппаратуры «Эмиссия-М» (прибор «Босра») на ОС «Мир» были показаны в [31, 18]. С помощью этих приборов были проведены наблюдения кислородной эмиссии $\lambda 630,0$ нм на высотах ночного слоя свечения 250 – 270 км с орбитальных станций «Салют-4» в 1974 г. и «Мир» в 1987 г., высоты орбит которых были ~ 350 км, а угол наклона плоскости к плоскости экватора $\sim 51^\circ$. В состав этих приборов входили соосные фотометр и интерферометр Фабри – Перо [18]. Для проведения измерений экипаж устанавливал прибор на иллюминатор внутри ОС, подключал к бортсети, наводил визирную трубку на горизонт Земли (при этом поля зрения каналов «смотрели» на высоту слоя свечения).

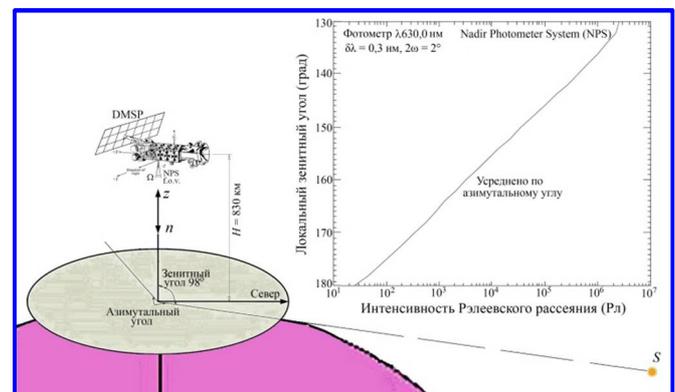


Рис. 3. Зависимость интенсивности рэлеевского рассеянного света (в Рл) от локального зенитного угла (в градусах) для фотометра $\lambda 630$ нм (в комплексе фотометров NPS, входящих в состав спектрографического ВУФ-имаджера SSUSI на КА серии DMSP)

Измерения доплеровского контура линии $\lambda 630,0$ нм в соответствии с начальным проектом должны были проводиться на дневной стороне орбиты ОС. При проектировании эксперимента и конструкторской проработке компоновки прибора для обеспечения защиты от световых помех измерительных каналов предполагалась установка светозащитной бленды на иллюминатор снаружи ОС. В связи с необходимостью регулярного использования иллюминаторов экипажами для визуальных и фотографических экспериментов по приказу главного конструктора бленды не были установлены на иллюминаторы снаружи ОС. Поэтому высокоинтенсивный рассеянный свет на стекле иллюминатора от подстилающей поверхности, переотраженный от корпуса ОС и солнечных батарей (СБ), превышал интенсивность эмиссий, что препятствовало проведению измерений на освещенной стороне орбит ни с ОС «Салют-4», ни с ОС «Мир». При выходе ОС на освещенную сторону орбиты из-за высокоинтенсивного рассеянного света от поверхности ОС фотореле, встроенное в прибор, при освещенности выше установленного порога автоматически выдавало сигнал на отключение высокого напряжения, подаваемого на фотоумножители в каждом канале прибора. Первые результаты тангенциальных фотометрических измерений кислородной эмиссии $\lambda 630,0$ нм были получены на ночной стороне орбиты в области тропической (экваториальной) аномалии с орбиты ОС «Салют-4» в 1974 г. [32], а первые результаты измерений доплеровских контуров линии $\lambda 630,0$ нм и определения доплеровской кинетической температуры атомов кислорода на высотах F2-слоя ионосферы были получены только в июле 1987 г. на ночной стороне апекса орбиты ОС «Мир» в авроральной структуре в области аврорального овала на долготах Южной Австралии в условиях повышенной геомагнитной активности. Эти результаты были доложены на 40-м Международном конгрессе астронавтики (IAC) в 1989 г. [31]. На рисунке в [18, с. 14] были проиллюстрированы результаты интерферометрических и фотометрических наблюдений, полученные 28.07.1987 во время авроральной суббури в апексе орбиты в Южном полушарии. Для грубого представления, как могла быть видна область свечения красной кислородной эмиссии с ОС «Мир» (максимум интенсивности на высоте ~ 250 км), на рис. 4 показан фрагмент фотографии, сделанной 20.04.2003 американским астронавтом Д. Р. Петтитом с Международной космической станции (МКС) в районе Южной Австралии [33].

2.3. Фоновые условия и влияние «света» Луны, отраженного от подстилающей поверхности при наблюдениях авроральных эмиссий с орбит космических аппаратов в направлениях близких к нормали к Земле. На рис. 5 показана геометрия наблюдений авроральных эмиссий с орбиты перспективного КА «Метеор-МП» (авроральный имаджер «Авроравизор-ВИС/МП» [34]), а на рис. 6 – с орбиты перспективного КА «Зонд» (Probe) (авроральный имаджер «Летиция» [35]) соответственно, при освещении подстилающей поверхности «светом» Луны (условно).

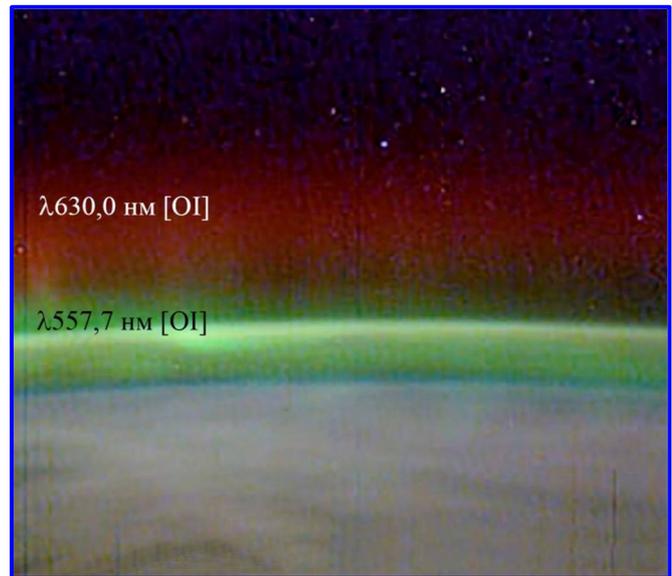


Рис. 4. Фрагмент фотографии южного аврорального овала, сделанной с МКС 20.04.2003 американским астронавтом Д. Р. Петтитом

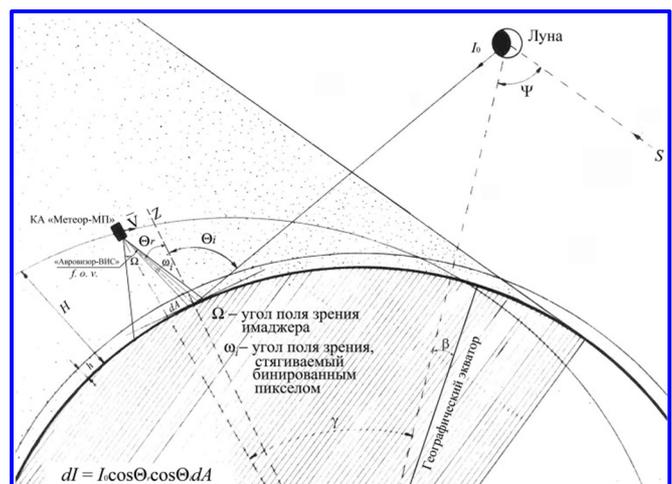


Рис. 5. Геометрия наблюдений авроральных эмиссий с орбиты перспективного КА «Метеор-МП» при освещении подстилающей поверхности «светом» Луны (условно)

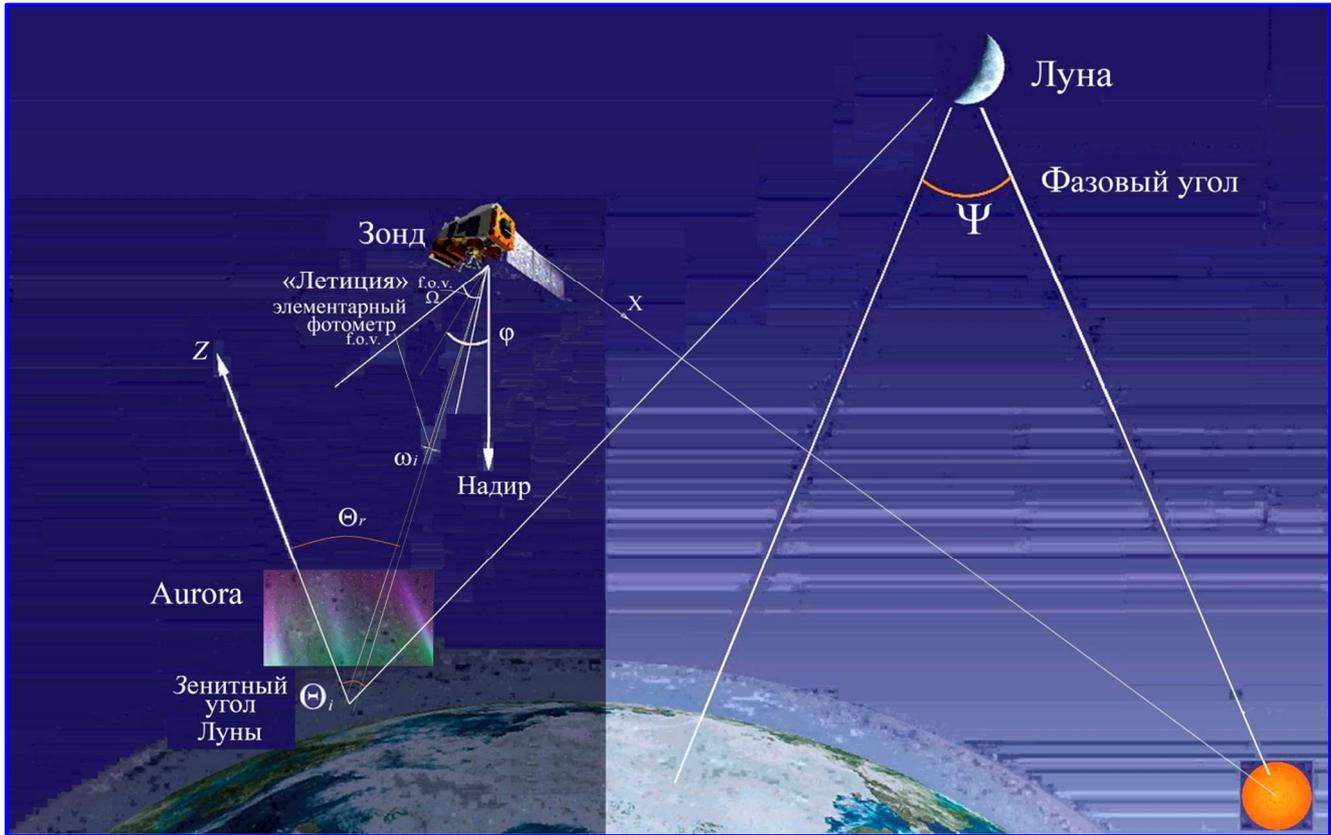


Рис. 6. Геометрия наблюдений авроральных эмиссий с орбиты перспективного КА «Зонд» (Probe) на теневой стороне орбиты при освещении подстилающей поверхности «светом» Луны (условно). Угол $\varphi = 30^\circ$ фиксированное отклонение оси аврорального имаджера «Летиция» от строительной оси КА (-Z)

Нелинейность функции зависимости отраженного солнечного света от поверхности Луны от фазового угла Луны была впервые экспериментально выявлена в работе [36]. В 1959 г. функция Ружье была уточнена в [37], а в 1963 г. рассчитана теоретически в [38] (см. рис. 7).

Расчет вклада в сигнал любого элементарного фотометра (в рамках пространственных углов авроральных имаджеров Авровизор-ВИС/МП и Летиция) «света» Луны, рассеянного от подстилающей поверхности, с учетом ее фазового угла и геометрии наблюдений с орбит перспективных КА «Метеор-МП» и «Зонд», был введен в состав программного обеспечения (ПО) в [17].

2.4. Коррекция на отражение авроральных структур в орбитальных фотометрических экспериментах на КА «Ореол-3» и «ИК-Болгария-1300». Орбитальные фотометрические наблюдения авроральных эмиссий в направлениях близких к нормали к Земле отличаются от фотометрических наблюдений с Земли тем, что в первом случае диффузное отражение света авроральных структур

от земной подстилающей поверхности может давать значительный вклад в интегральный сигнал, измеряемый фотометром или авроральным имаджером при пролете КА над авроральными структурами. Впервые на это было обращено внимание при обработке фотометрических профилей авроральных эмиссий, полученных с КА ISIS-II [39, 40]. В связи с тем, что тангенциальное усиление Ван-Рейна (см. выше) изотропного излучающего слоя увеличивает отражение на больших зенитных углах, а рассеяние света от ламбертовской поверхности происходит по закону косинуса, профиль наблюдаемой сверху авроральной формы уширяется рассеянным светом от Земли или подстилающей поверхности. Эта зависимость была подтверждена экспериментально 28.02.1974 с помощью фотометров ($\lambda 391,4$ и $\lambda 557,7$ нм), установленных на ракете ADF-B-39 и направленных в сторону Земли, которые измерили отраженный от снега свет авроральной формы, при пролете под яркой авроральной формой [41].

Первый вариант методики коррекции широтных профилей интенсивности авроральных эмиссий

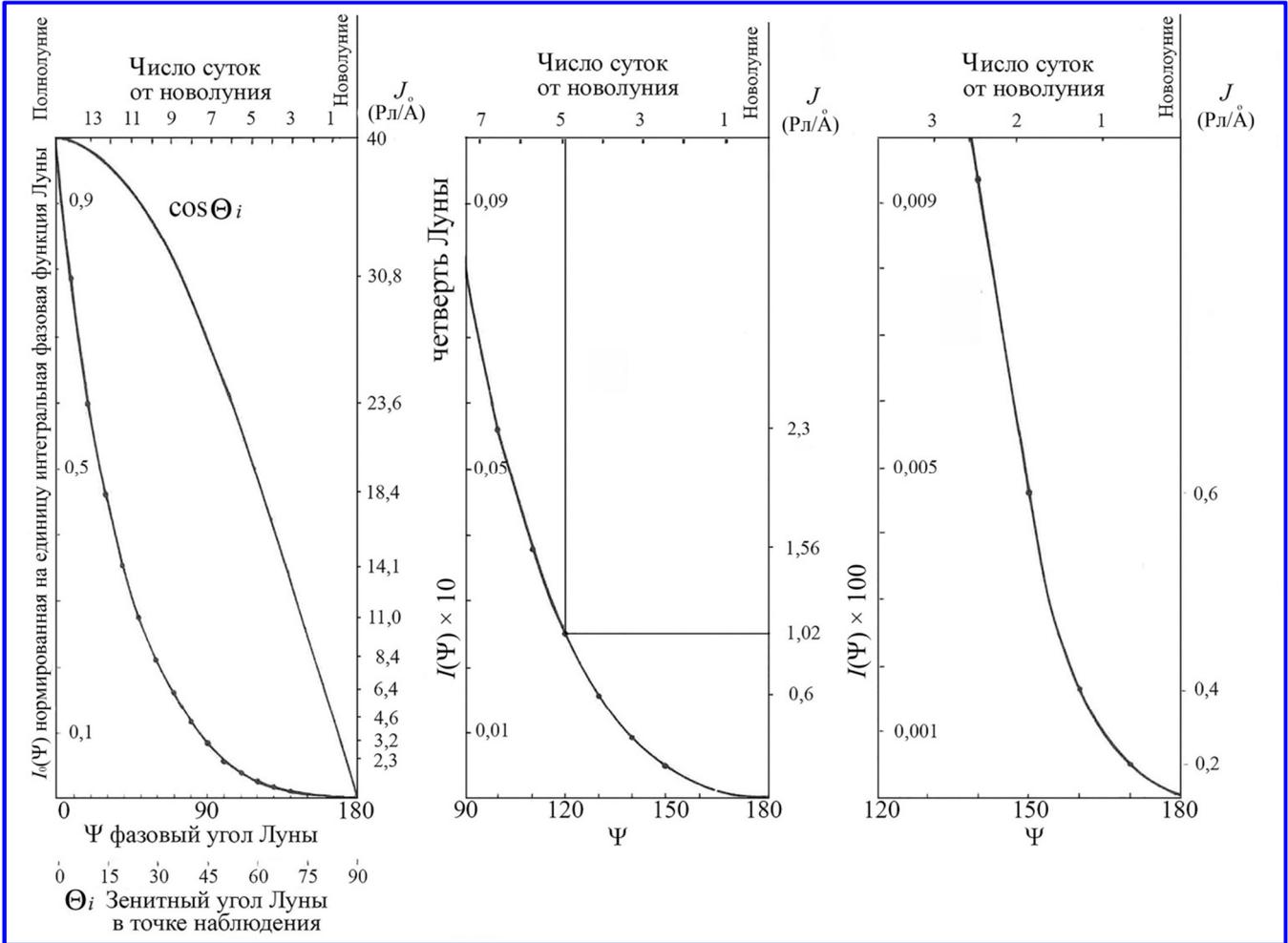


Рис. 7. Нормированная на единицу зависимость от фазового угла Луны интенсивности отраженного от Луны солнечного света (интегральная фазовая функция Луны $I_0(\Psi)$ – функция Ружье) в шкале слева. Удельная интенсивность отраженного от подстилающей поверхности Земли «света» Луны J (в Рл/Ангстрем) в шкале справа была рассчитана в [15] из величины, приведенной в табл. 1 (moonlit Earth) для угла поля зрения фотометра RLP на КА ISIS-II [1] в пересчете на угол $1,8^\circ$ полей зрения фотометров «ЭМО-5» [13] и «Альтаир» [14]

(в двухмерном варианте, см. уравнения (1 – 3)) был предложен в процессе обработки данных интенсивности эмиссий, полученных в авроральных структурах при измерениях с орбит КА AE-D [42] и ISIS-II [43]. Позднее методика коррекции была развита для трехмерной геометрии наблюдений с КА AE-S (рис. 8, з) с учетом рассеяния в толще слоя атмосферы, и предложен итерационный метод подбора коэффициента отражения (альбедо) подстилающей поверхности и коэффициентов поглощения d и рассеяния τ атмосферы [44, 45]. В результате решения интегрального уравнения (3) с помощью прямого и обратного Фурье-преобразований (6 и 7) при оптимальных a и d профиль интенсивности эмиссии в авроральной форме становился близким к истинному, где $B_m(\mathbf{r}, \theta)$ – наблюдаемая интенсивность; $B_a(\mathbf{r})$ – истинная интенсивность эмиссии:

$$B_m(\mathbf{r}, \theta) = B_a(\mathbf{r}) + \iint_{-\infty}^{\infty} B_a(\mathbf{r}_a) W_2(|\mathbf{r}_g - \mathbf{r}_a|, \theta) d\mathbf{r}_a, \quad (1)$$

где $\mathbf{r}_g = \mathbf{r} + \mathbf{c}$, а весовая функция

$$W_2(|\mathbf{r}_g - \mathbf{r}_a|, \theta) = \frac{z}{\pi} \frac{\sigma(\lambda, \alpha, \eta, R, \Phi_0)}{R^3}, \quad (2),$$

Интеграл в (1) включает вклады рассеяния Землей и атмосферой в интегральный сигнал. Эффекты параллакса рассчитываются, когда этот интеграл оценивается в точке, где линия зрения пересекает верх рассеивающего слоя (рис. 8, з). В эту точку направлен вектор \mathbf{r}_g .

Фурье-преобразование уравнения (1) по \mathbf{r} будет:

$$\hat{B}_m(\mathbf{f}, \theta) = \hat{B}_a(\mathbf{f}) + \hat{B}_a(\mathbf{f}) \hat{W}_2(\mathbf{f}, \theta) \exp[2\pi i \mathbf{f} \mathbf{c}(\theta)], \quad (3)$$

где крышечка означает операцию Фурье-преобразования. Следует отметить, что после выполнения операции Фурье-преобразования эффекты параллакса учитываются посредством фазового члена $\exp[2\pi i \mathbf{f} \mathbf{c}(\theta)]$, что является следствием теоремы сдвига Фурье-преобразований. Это уравнение может быть инвертировано, используя свойство Фурье-преобразования свертки. В этом случае

$$B_a(\mathbf{r}) = B_m(\mathbf{r}, \theta) - \int_{-\infty}^{\infty} B_m(\mathbf{r}', \theta) W_2^{-1}(|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|, \theta) d\mathbf{r}', \quad (4)$$

где инверсная весовая функция

$$W_2^{-1} = F^{-1} \left\{ \frac{\hat{W}_2(\mathbf{f}, \theta) \exp[2\pi i \mathbf{f} \mathbf{c}(\theta)]}{1 + \hat{W}_2(\mathbf{f}, \theta) \exp[2\pi i \mathbf{f} \mathbf{c}(\theta)]} \right\}, \quad (5)$$

а F^{-1} означает инверсное Фурье-преобразование. Если интенсивность варьирует только в одном направлении, подобное соотношение будет

$$B_a(y) = B_m(y, \theta) - \int_{-\infty}^{\infty} B_m(y', \theta) W_1^{-1}(|y - y'|, \theta) dy', \quad (6),$$

где

$$W_1^{-1} = F^{-1} \left\{ \frac{\hat{W}_1(f_y, \theta) \exp[2\pi i f_y c(\theta)]}{1 + \hat{W}_1(f_y, \theta) \exp[2\pi i f_y c(\theta)]} \right\}, \quad (7),$$

а

$$W_1(|y_g - y_a|, \theta) = \frac{z}{\pi} \frac{\sigma(\lambda, \alpha, \eta, \frac{z}{R}) \tan^{-1} \frac{x_a}{y_a} dx_a}{R^3}, \quad (8)$$

где $R = [(x_g - x_a)^2 + (y_g - y_a)^2 + z^2]^{1/2}$.

2D-геометрия показана на рис. 8, в, а 3D-геометрия на рис. 8, з. Автор настоящей работы адаптировал методику коррекции (двухмерный вариант) для широтных профилей интенсивности авроральных эмиссий, полученных на орбитах советских КА «Ореол-3» и «ИК-Болгария-1300» в 1982 г. [46, 44, 45]. Суть методики в подборе итерационным способом оптимальных коэффициентов отражения a подстилающей поверхности и коэффициента поглощения атмосферы d , так как они для большинства данных наблюдений не известны, и расчете истинной функции интенсивности эмиссии, свернутой под интегралом с функциями отражения и рассеяния. На рис. 8, б, показаны широтные наблюдаемые и скорректированные на отражение от подстилающей поверхности профили авроральных эмиссий $\lambda 427,8$ нм N_2^+ и $\lambda 630,0$ нм [OI], наблюдавшиеся с КА «Ореол-3» 26.02.1982 над островом Врангеля

во время авроральной суббури, а также широтные профили отношений интенсивности эмиссий $I_{\lambda 630,0}/I_{\lambda 427,8}$. На экваториальной границе авроральной дуги отчетливо видно увеличение отношения эмиссий, полученное из скорректированных на отражение профилей интенсивности. Так как $I_{\lambda 630,0}/I_{\lambda 427,8} = f(E_{cp}^e)$ [6], следствием коррекции является увеличение средней энергии высыпающихся электронов на несколько сотен эВ [18, 46] на экваториальной границе наблюдаемой дуги. В конечном счете коррекция профилей интенсивности авроральных эмиссий на эффект отражения и рассеяния от подстилающей поверхности приводит к уточнению границ наблюдаемых авроральных структур и, как следствие, к уточнению пространственного распределения энергетических характеристик высыпающихся электронов (уменьшению потока энергии электронов $I_{\lambda 427,8} = f(F_e)$ и увеличению их средней энергии (E_{cp}^e)), которые вычислялись на основе распределений интенсивности эмиссий и их отношений. Функциональные связи энергетических характеристик высыпающихся электронов с интенсивностью эмиссий рассмотрены в [6, 47].

Геометрия наблюдений в трехмерном варианте (уравнение (4)) показана на рис. 8, з. Вектор \vec{c} вдоль оси поля зрения элементарного фотометра в рамках угла поля зрения (f. o. v.) аврорального имаджера направлено в элементарный объемный элемент авроральной структуры (воксел) на высоте эмиссии. На рис. 8, в, д, показаны идеализированные примеры (с точки зрения наблюдений с орбиты, то есть сверху), иллюстрирующие варианты 3D-структуры фрагмента авроры в эмиссии $\lambda 427,8$ нм N_2^+ , полученные при реконструкции ряда 2D-изображений с сети наземных станций ALIS [48]. На рис. 8, в, 3D-фрагмент показан в виде, полученном при реконструкции, проведенной в [48], а на рис. 8, д, – тот же 3D-фрагмент, скорректированный на отражение, как будто он был получен с орбиты. Варианты математических алгоритмов для реконструкций фрагментов изображений авроральных эмиссий, полученных с двух разных орбит перспективных КА, были проанализированы в [49].

Рассмотренная выше методика коррекции структур авроральных эмиссий на отражение от подстилающей поверхности (в 3D-варианте) может быть использована для коррекции изображений эмиссий, которые предполагается получать с перспективных орбитальных авроральных имаджеров «Авровизор-ВИС/МП» и «Летития» [17]. Если адаптировать 3D-геометрию наблюдений авроральных эмиссий для авро-

рального имаджера «Летиция» [35] с орбиты перспективного КА «Зонд», то вектор \vec{c} на рис. 8, z , будет совпадать с осью элементарного фотометра в рамках угла поля зрения имаджера $\Omega = 2\omega$, ось которого направлена на наблюдаемый элементарный объем авроральной структуры под углом θ . В работе [17] рассмотрены рассчитанные варианты возможных ситуаций для одновременных наблюдений фрагментов одной и той же авроральной структуры под разными углами двумя имаджерами, которые могут возникать при предполагаемом запуске КА «Метеор-МП»

и КА «Зонд» на разновысотные орбиты на одном носителе. Автор уверен, что именно такая методика наблюдений и последующих 3D-реконструкций изображений фрагментов авроральных эмиссий, полученных одновременно с характеристиками плазмы и распространения сигналов навигационных систем сквозь эти фрагменты, позволит получить новые данные о влиянии плазменных процессов на условия генерации сцинтилляций этих сигналов во время структурированных высыпаний заряженных частиц, сопутствующих суббурям [50].

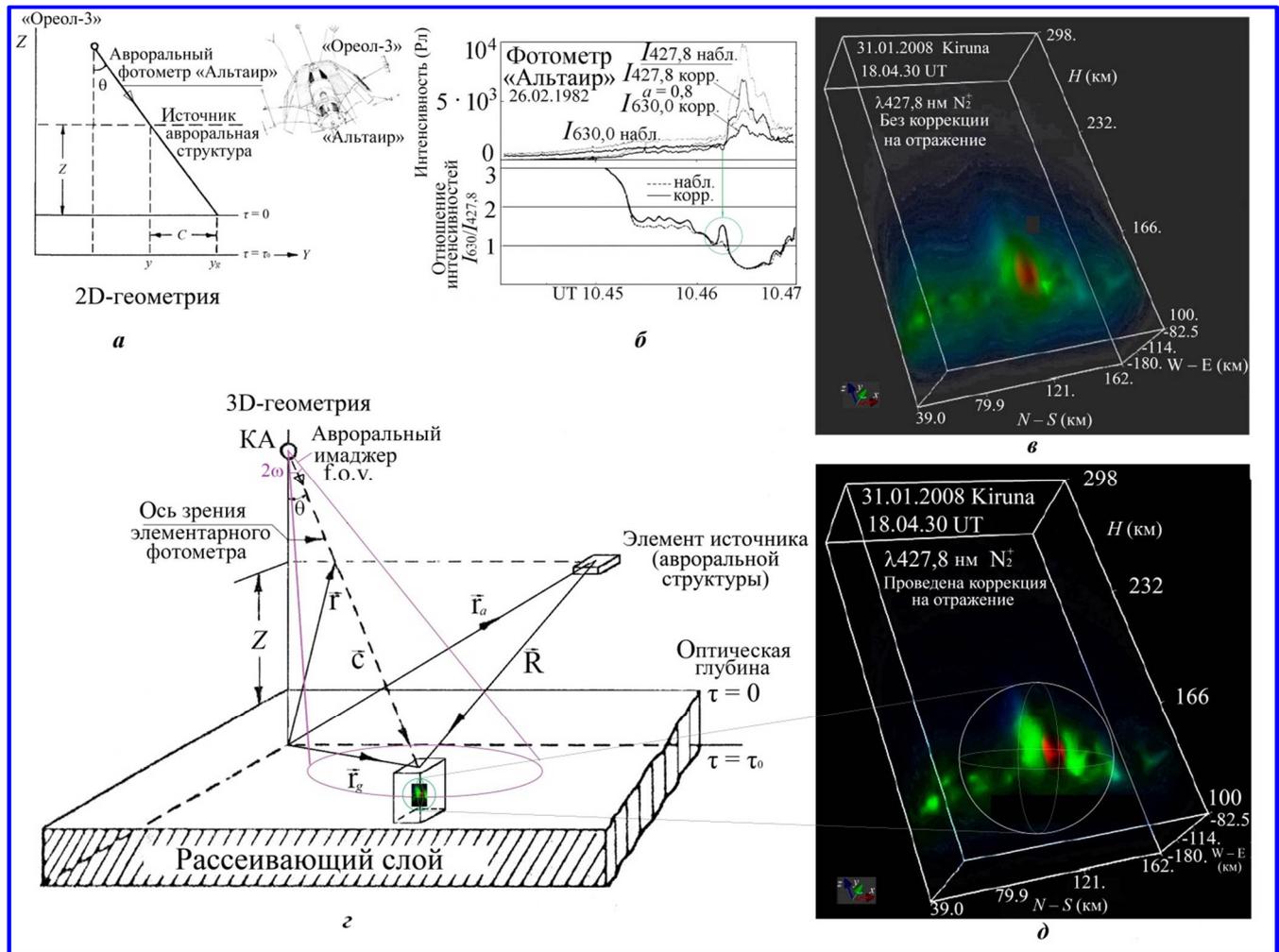


Рис. 8. 2D- (a) и 3D-геометрии (z) наблюдений распределения авроральной эмиссии при наблюдении с орбиты КА; б – пример влияния коррекции широтных профилей авроральных эмиссий, полученных с фотометра «Альтаир» на орбите КА «Ореол-3» 26.02.1982, на отражение от подстилающей поверхности. Коррекция приводит к уточнению пространственного положения границы авроральной структуры и уточнению отношения интенсивностей наблюдаемых эмиссий; в, д – 3D-реконструкция (условно) фрагмента структуры авроральной эмиссии $\lambda 427,8$ нм, которые предполагается проводить при одновременном наблюдении одной и той же авроральной структуры с разных угловых позиций с разных орбит; д – на нижней правой панели изображение фрагмента, прошедшего процесс коррекции на отражение от подстилающей поверхности; в – до коррекции

2.5. Поглощение подстилающим слоем фоновых ВУФ-квантов при наблюдениях авроральных ВУФ-эмиссий с орбит КА на фоне освещенной Солнцем атмосферы. На рис. 9 [21, 51] показана зависимость сечения поглощения O_2 (включая спектральную область континуума Шумана – Рунге (Schumann-Runge continuum) от длины волны, которая была рассчитана в [52]. Влияние эффекта поглощения фона было впервые проверено в орбитальном эксперименте с ВУФ-ТВ-камерой, установленной на КА КЮОККО (Exos-A), высота круговой орбиты которого была ~ 3975 км, а угол наклона плоскости 65° [53]. По результатам наблюдений стало понятно, что изображение аврорального овала, получаемое сверху в эмиссиях, расположенных в спектральной области поглощения, на освещенной стороне выделяется на фоне дневного свечения (dayglow). После этого проекта был проведен ряд орбитальных наблюдений ВУФ-эмиссий, нацеленных на получение как изображений фрагментов аврорального овала (с низкоорбитальных КА), так и глобальных изображений аврорального овала с более высоких орбит. Большинство КА, на которых работала изображающая аппаратура в ВУФ-области спектра, перечислены с указанием года запуска в круглых скобках и ссылками на результаты исследований: DE-1 (1981) [54]; NILAT (1983) [55]; Viking (1986) [56]; MSX (1986) [57, 58]; Akebono (EXOS-D) (1989) [59]; Freja (1992) [60]; Polar (1996) [61, 62]; Interball-2 (1996) [63 – 65]; Image (2000) [66 – 68]; DMSP F16 – F19 (2003) [20], Fengyun-3D (2017) [69]. Эти ссылки приводятся с целью проследить развитие методики измерений с орбит авроральных ВУФ-эмиссий во времени.

Для сравнения в табл. 3 [70] показаны величины интенсивности основных ВУФ-эмиссий в дневном свечении (dayglow), включая интенсивность (Рл) геокорона в линии Ly- α ($\lambda 121,6$ нм), кислорода в ночном свечении верхней атмосферы (nightglow), а так-

же НI, OI и N₂ в авроральных структурах, возбуждаемых высыпавшимися заряженными частицами.

Для примера на рис. 10 показаны два ВУФ-изображения фрагмента аврорального овала, полученные 23.07.1983 над территорией СССР в эмиссии NI $\lambda 149,3$ нм (в области поглощения континуума Шумана – Рунге O_2) на освещенной Солнцем стороне на двух последовательных витках КА NILAT с помощью сканирующего ВУФ-спектрометра Auroral Ionospheric Mapper (AIM). Это был первый орбитальный эксперимент, в котором были получены фрагменты аврорального овала в нескольких ВУФ-эмиссиях.

На рис. 11 показаны два последовательных глобальных ВУФ-изображения северного аврорального овала, полученные на фоне освещенной атмосферы с орбиты КА Image 15.07.2000 с помощью изображающей камеры Wide angle Imaging Camera (WIC) в спектральном диапазоне $\lambda 140 – 190$ нм. Прогресс, достигнутый в этом проекте, заключался в том, что синхронно наблюдались авроральный овал, возбужденный высыпавшимися электронами, и авроральный овал, возбужденный высыпавшимися протонами [66]. Из перспективных зарубежных проектов, нацеленных на исследования взаимодействия солнечного ветра и земной магнитосферы, можно выделить проект Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer (SMILE), осуществляемых совместно European Space Agency (ESA)/Chinese Academy of Sciences (CAS) и специалистами канадского космического агентства (CSA) для орбиты «Молния» с высотой апогея ~ 121000 км, перигея ~ 5000 км и наклоном плоскости $i \sim 63^\circ$. Изображающая ВУФ-камера UVI в спектральном диапазоне $\lambda 160 – 180$ нм (диапазон Lyman-Birdge-Hopfield bands (long) – LBH) на этом КА будет нацелена на получение изображения северного аврорального овала, возбуждаемого высыпавшимися электронами в полосах LBH N₂ [71].

Таблица 3

Эмиссия, λ (нм)	Интенсивность дневного свечения (dayglow), Рл	Интенсивность ночного свечения (nightglow) в средних и низких широтах, Рл	Интенсивность в полярных сияниях (aurora), Рл
121,6 Ly- α (НI)	>5000 (геокорона)		1000 – 20000 [Ly- α (НI) 121,8 нм доплеровски сдвинутая]
135,6 [OI]	30 – 1000	0,5 – 200	50 – 1000
127,3 – 255,5 LBH (N ₂)	300 – 1000		1000 – 5000

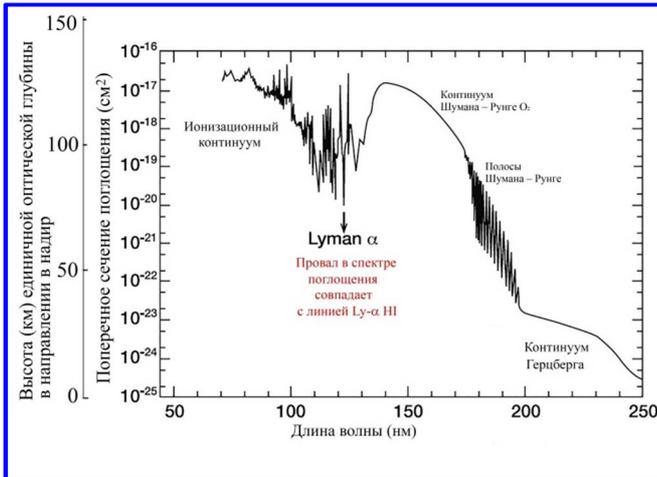


Рис. 9. Зависимость сечения поглощения ВУФ-квантов от длины волны, включая поглощение молекулами кислорода и парами воды в спектральной области левее континуума Шумана – Рунге [21]. Высотная шкала оптической глубины при наблюдениях в надир была введена в [51]

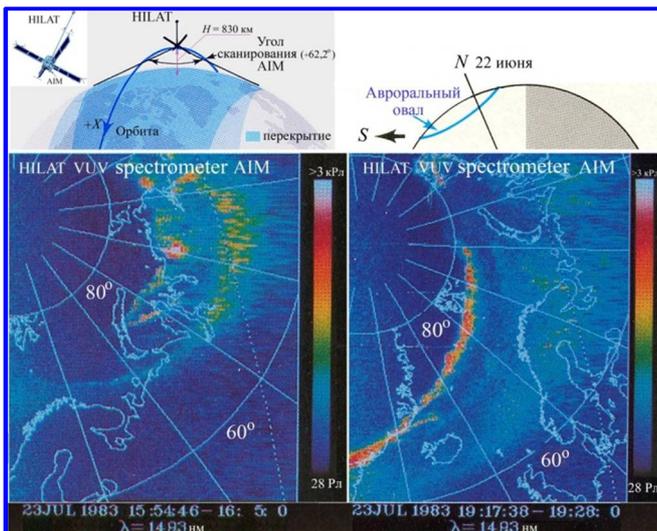


Рис. 10. Изображения фрагментов северного аврорального овала, полученные 23.07.1983, на фоне освещенной Солнцем атмосферы на двух последовательных витках КА NIIAT с помощью сканирующего ВУФ-спектрометра AIM в эмиссии $\lambda 149,3$ нм NI [55]

В процессе высыпания в атмосферу часть авроральных протонов, захватывая электрон при обдирочном столкновении с атомом/молекулой (O , O_2 , N_2) в результате реакций перезарядки становятся нейтральными атомами водорода и переходят в возбужденное состояние, а потом, прежде чем снова потерять электрон и стать протоном, возвращаясь в основное состояние, отдают свою энергию в виде эмиссии $Ly-\alpha$ H I. При наблюдениях с орбит возникает доплеровское смещение излучения эмиссии $Ly-\alpha$ H I

($\lambda \sim 121,8$ нм), которое зависит от кинетической энергии возбужденного водородного атома, которую он получил от высыпавшегося или вторичного протона при перезарядке ($\delta\lambda(\text{\AA}) = 1,77\sqrt{E}$) [73], где энергия атома в единицах кэВ). Из-за большой разницы в гирорадиусах протона и электрона, и реакций перезарядки протонов с атомами и молекулами атмосферы локальные границы «протонного» аврорального овала могут отличаться от границ «электронного» овала [74]. Необходимо отметить, что сечение поглощения коронального излучения $Ly-\alpha$ H I ($\lambda 121,567$ нм) холодных атомов водорода в околоземной среде, находится на самом краю континуума Шумана – Рунге и спускается (провал) до 10^{-20} см² (см. рис. 9). Именно в этой спектральной области существенную роль играет водяной пар, сечение поглощения ВУФ-квантов которого, зависящее от температуры молекул, может даже превышать сечение поглощения континуума O_2 [75], а его концентрация на высотах ниже лежащей дневной полярной мезосферы более 5 PPMv – (parts per million by volume) – это единица концентрации в миллионных долях по объему, то есть отношение объемной доли ко всему (включая эту долю) [76]. Выделение авроральной линии $Ly-\alpha$ H I ($\lambda 121,8$ нм) над фоном дневного свечения геокорональной $Ly-\alpha$, интенсивность которого может превышать авроральную в несколько десятков раз [77], обеспечивается главным образом инструментально спектрографическим имаджером SI [78], оптическая схема которого рассчитана на основе модели профиля авроральной $Ly-\alpha$, разработанной в [73]. Максимум полосы пропускания канала SI12 прибора SI находится вблизи длины волны $\lambda 121,8$ нм и имеет полуширину $\sim 0,03$ нм, а ее левое «крыло» пропускает, хотя и малую долю, геокоронального излучения $\lambda 121,567$ нм (см. рис. 9), поэтому роль поглощения фонового излучения молекулами кислорода и водяным паром остается важной.

На рис. 12 [68] показаны глобальные изображения «электронного» и «протонного» авроральных овалов, полученные на неосвещенной стороне 19.10.2000 синхронно с орбиты КА Image с помощью изображающей ВУФ-камеры WIC (a) и спектрографического имаджера SI12 (б), свидетельствуют об отличии их размеров и границ.

На рис. 13 [79, 66] показаны три изображения авроральной эмиссии $Ly-\alpha$, полученные с SI12, возбужденной высыпавшимися протонами (в – в 09.12. UT, a – в 09.12.36 UT, б – в 09.44 UT; причем изображение a в координатах инвариантная широта-MLT, а б и в – в географических). Полуденная часть овала «находится» на освещенной стороне,

причем область полярного каспа проецируется на полярный край овала, а два фрагмента овала, разделенных промежутком, находятся в более экваториальных широтах. Эти изображения получены при разных условиях в магнитосфере: в 09.12 UT (рис. 13, а, в) B_z -компонента межпланетного магнитного поля (ММП) была положительной, а в 09.44 UT – отрицательной (рис. 13, б), что можно видеть на графике B_z -компоненты ММП от времени, встроенном в рис. 13, г. Изображения свидетельствуют, что авроральная эмиссия $\text{Ly-}\alpha$ на освещенной стороне выделяется над фоном геокорональной $\text{Ly-}\alpha$, благодаря аппаратной функции

изображающего ВУФ-спектрографа SI12 и поглощению водяного пара в мезосфере, и в меньшей степени поглощению континуума O_2 . Доплеровски сдвинутый профиль авроральной линии $\text{Ly-}\alpha$ встроен в рис. 13, в, для того, чтобы проиллюстрировать зависимость ее интенсивности от энергии высыпающихся протонов, показанной на верхней шкале (в единицах кэВ) в логарифмическом масштабе, а на нижней отложена длина волны в линейном масштабе. Проекция м. с. л., проецируемых в область каспа (крестики), показаны на рис. 13, б и г, в солнечно-эклиптической системе координат в масштабе радиуса Земли R_E .

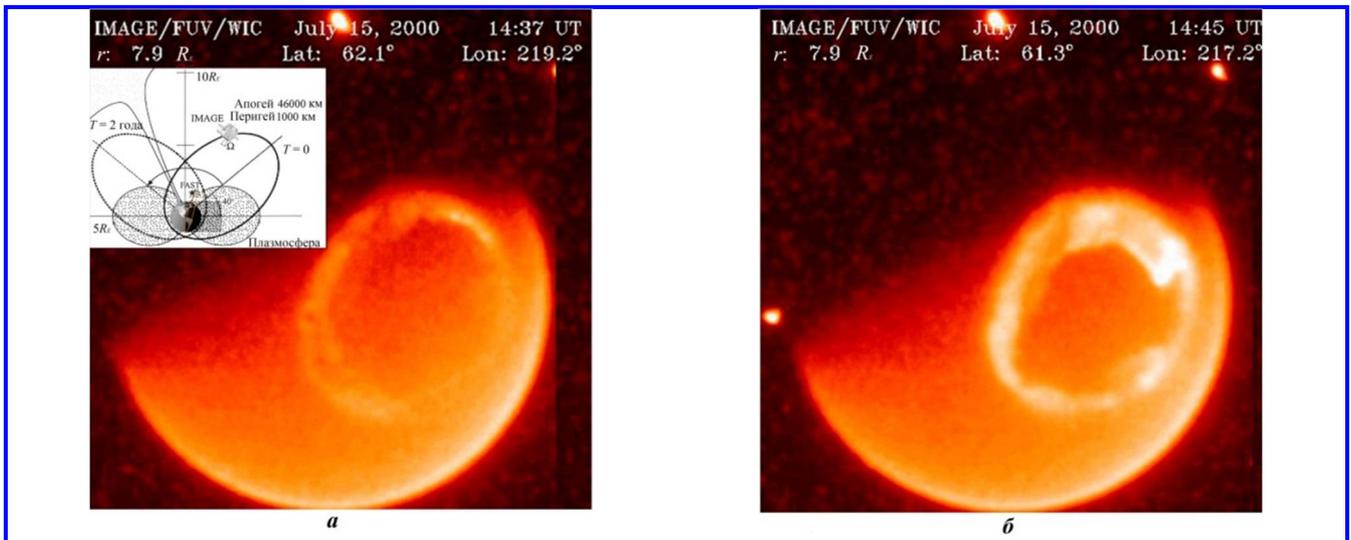


Рис. 11. Два последовательных глобальных ВУФ-изображения северного аврорального овала на фоне освещенной атмосферы, полученные 15.07.2000 с орбиты спиново-вращающегося КА IMAGE с помощью широкоугольной изображающей камеры WIC ($\lambda\lambda 140 - 190$ нм) во время возмущенных условий [80]

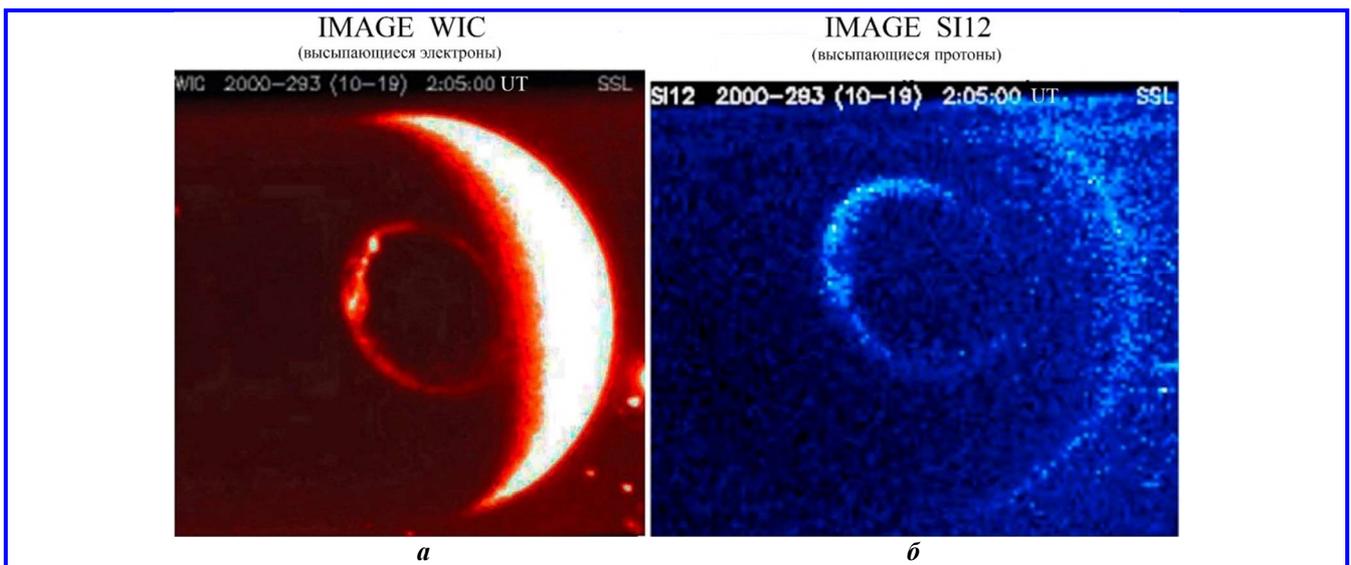


Рис. 12. Изображения «электронного» и «протонного» авроральных овалов в Северном полушарии, полученные на неосвещенной стороне атмосферы одновременно с орбиты КА IMAGE 19.10.2000 в 02.05.00 UT с помощью изображающей ВУФ-камеры WIC и спектрографического имаджера SI12 соответственно. Рисунок иллюстрирует отличие позиций электронного и протонного овалов и их локальных границ [68]

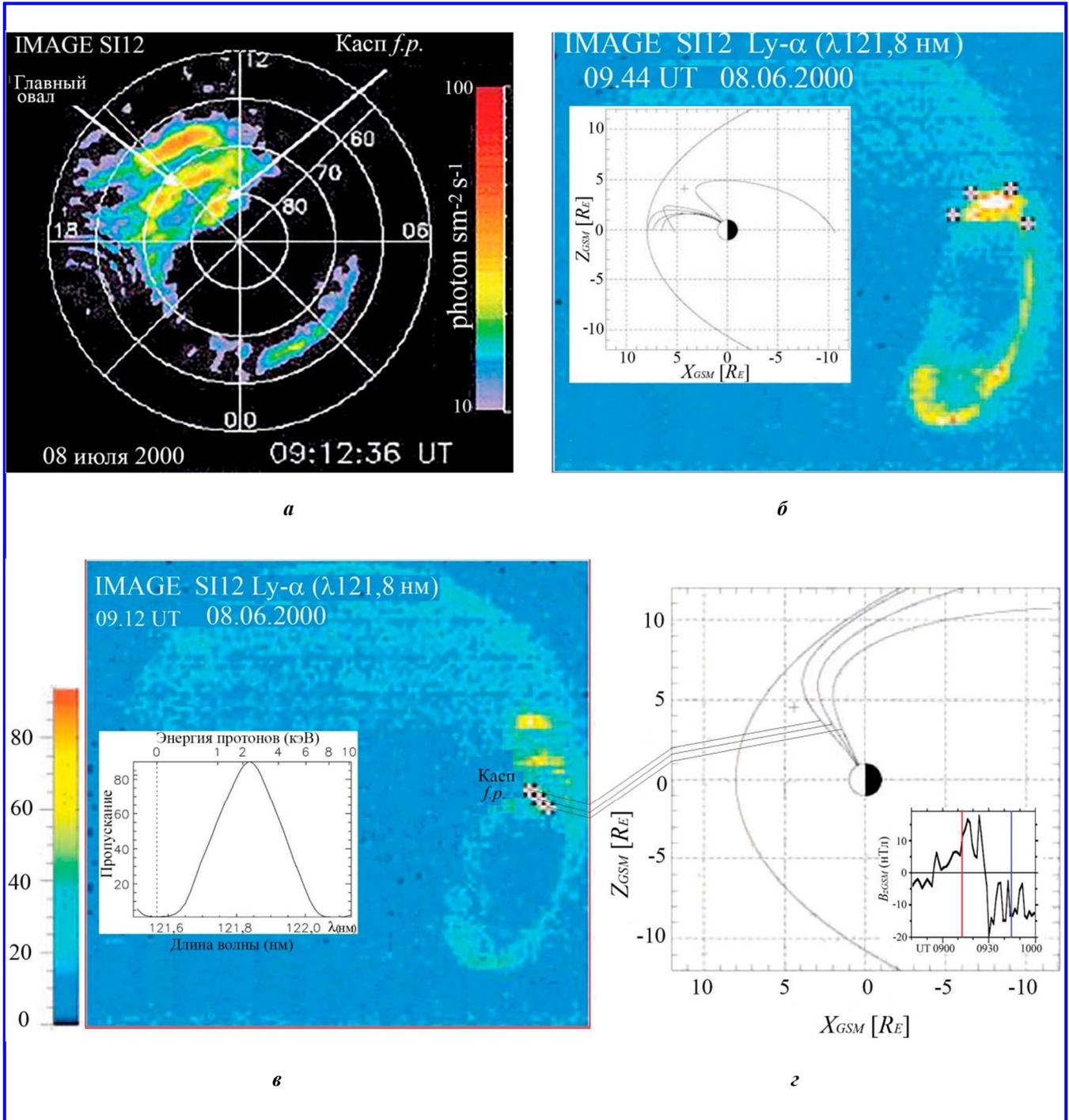


Рис. 13. Изображения аврорального овала в доплеровски сдвинутой эмиссии Ly- α ($\lambda 121,8$ нм H I), возбужденной высыпавшимися протонами в процессе перезарядки (см. текст), полученные 08.06.2000 в 09.12. и 09.44 UT с помощью спектрографического имаджера SI12 с орбиты КА IMAGE, в географической проекции (v и б) и в инвариантных геомагнитных координатах (а) (инвариантная геомагнитная широта на поверхности Земли связана магнитной силовой линией с заданным значением параметра дрейфовой оболочки L . Ее вычисляют по формуле $\cos \Lambda = 1/\sqrt{L}$) в 09.12.36 UT. Крестиками показаны проекции подножных точек магнитных силовых линий на высоте эмиссии, проецируемых в область полярного каспа (б и з), которые показаны солнечно-эклиптической системе координат. В левой части изображения (v) в 09.12. UT встроено профиль в авроральной линии Ly- α в зависимости от полосы пропускания SI12 и от энергии высыпавшихся протонов по верхней шкале. B_z -компонента межпланетного поля в интервале 08.40 – 10.00 UT показана справа внизу (z)

2.6. Методика увеличения контраста авроральных ВУФ-изображений (коррекция), полученных с орбит космических аппаратов на освещенной Солнцем стороне. Сначала обратим внимание на геометрию наблюдений авроральных эмиссий с орбиты спиново-вращающегося поперек плоскости орбиты КА DE-1, которая представлена на рис. 14, м). Комплекс изображающих авроральных фотометров SAI состоял из трех приборов (A, B и C с углом поля зрения $\Omega = 0,29^\circ$ каждый), два из которых (A и B) были нацелены на измерения эмиссий в видимой области спектра, а третий (C) – на измерения ВУФ-эмиссий (см. рис. 14, н). Сканирование свечения эмиссий аврорального овала осуществлялось по строкам в плоскости вектора скорости КА с помощью встроенного входного зеркала (рис. 14, о), а вдоль строки – с помощью спинового вращения КА [54]. *Комментарий.* Изображения аврорального овала, получаемые с фотометров (A и B) были видны только на фоне неосвещенной атмосферы (не показаны), и не видны на фоне освещенной из-за интенсивного рэлеевского рассеяния (см. конец п. 2.1), хотя метровые светозащитные бленды гасили вклад от бокового солнечного света на орбите в сигналы всех трех SAI-фотометров. Фотометры были расположены равномерно с азимутальными углами 120° между осями полей зрения в плоскости спинового вращения КА. В каждом фотометре селекция эмиссий проводилась с помощью интерференционных фильтров, расположенных на дисках, встроенных в их оптические схемы (см. рис. 14, о). Методика, построенная на использовании двух углов S и D, впервые была предложена в [81] на примерах ВУФ-изображений аврорального овала, полученных с орбиты КА DE-1, позднее была усовершенствована в [82], где для коррекции было использовано уже 4 угла (S, D, P и A), а еще позднее адаптирована в [83] для коррекции ВУФ-изображений аврорального овала, полученных с помощью ВУФ-имаджера UVI с орбиты КА Polar [62]. Диапазоны углов наблюдения с КА-DE-1 (см. рис. 14, а – г [82]) показаны с помощью цветовой шкалы справа: (S) – зенитный угол Солнца в диапазоне от 4 до 151° ; (D) – зенитный угол КА DE-1 в диапазоне от 0 до 90° ; (P) – фазовый угол в диапазоне от 30 до 188° ; и (A) – азимутальный угол в диапазоне от 0 до 180° . Зависимость реакции фотометра на изменение азимутального угла A (при фиксированных углах S и D) введена в анализ авроральных ВУФ-изображений с КА DE-1 в предположении одной и той же высоты эмиссии 150 км [82]. Фазовый угол P определялся в ортогональной системе координат, где \hat{x} в направлении Солнца от Земли, \hat{z} на север в плоскости, содержащей \hat{x} и ось вращения Земли, а

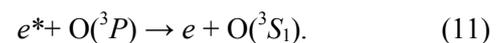
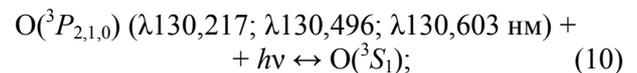
$\hat{y} = \hat{z} \times \hat{x}$. Угол P измерялся в плоскости $y - z$ и равен 0° вдоль оси y в послеполуночном секторе. Вместе углы P и S образуют ортогональную пару координат для привязки точек изображения на диске относительно Солнца.

Для коррекции изображения в спокойных условиях (d) [81] были использованы только углы S и D в диапазонах $0^\circ < D < 66^\circ$ и $20^\circ < S < 100^\circ$. Для сглаживания была использована эмпирическая формула:

$$C = S^2(-2,036D + 45,47)10^{-4} + S(0,0282D - 1,724) + (-0,849D + 127,9)\text{counts/pixel.} \quad (9)$$

На рис. 14, е отчетливо видно изображение аврорального овала, расположенного полностью на неосвещенной стороне полярной атмосферы, что свидетельствует о том, что высыпания электронов из магнитосферы присутствуют даже при относительно спокойных геомагнитных условиях.

На рис. 14, ж показано изображение аврорального овала частично расположенного на освещенной стороне. Часть овала едва различима на фоне свечения dayglow и выделяется на неосвещенной стороне. Кодировка интенсивности ВУФ-свечения показана цветом между изображениями (е) и (ж) в диапазоне от 0 до 45 кРл. Значения высоты орбиты КА DE-1 и местное солнечное время относительно близки для изображений на (е) и (ж), они представлены в оригинальном формате данных без обработки. На изображениях (з) и (и) представлены эти же изображения после применения алгоритмов сглаживания и удаления лимбовой области свечения. Авроральная структура внутри овала, видная на изображении (ж), оказалась размытой при сглаживании (и). Причина этого в том, что основной вклад в измеряемый спектральный диапазон был от оптически толстого интенсивного триплета атомарного кислорода $\lambda 130,4$ нм, возбужденного в реакциях благодаря переходу $2p^4\ ^3P_{2,1,0} - 2p^3\ ^3S' - ^3S_1$:



Согласно полосе пропускания ВУФ-интерференционного фильтра #2 с полушириной $\sim \lambda \lambda 123 - 165$ нм в имаджере UVI $\sim 85 - 90\%$ вклада квантов в интегральный сигнал в этих изображениях аврорального овала происходил за счет реакции (10), и только $\sim 5 - 8\%$ был вклад квантов кислородной

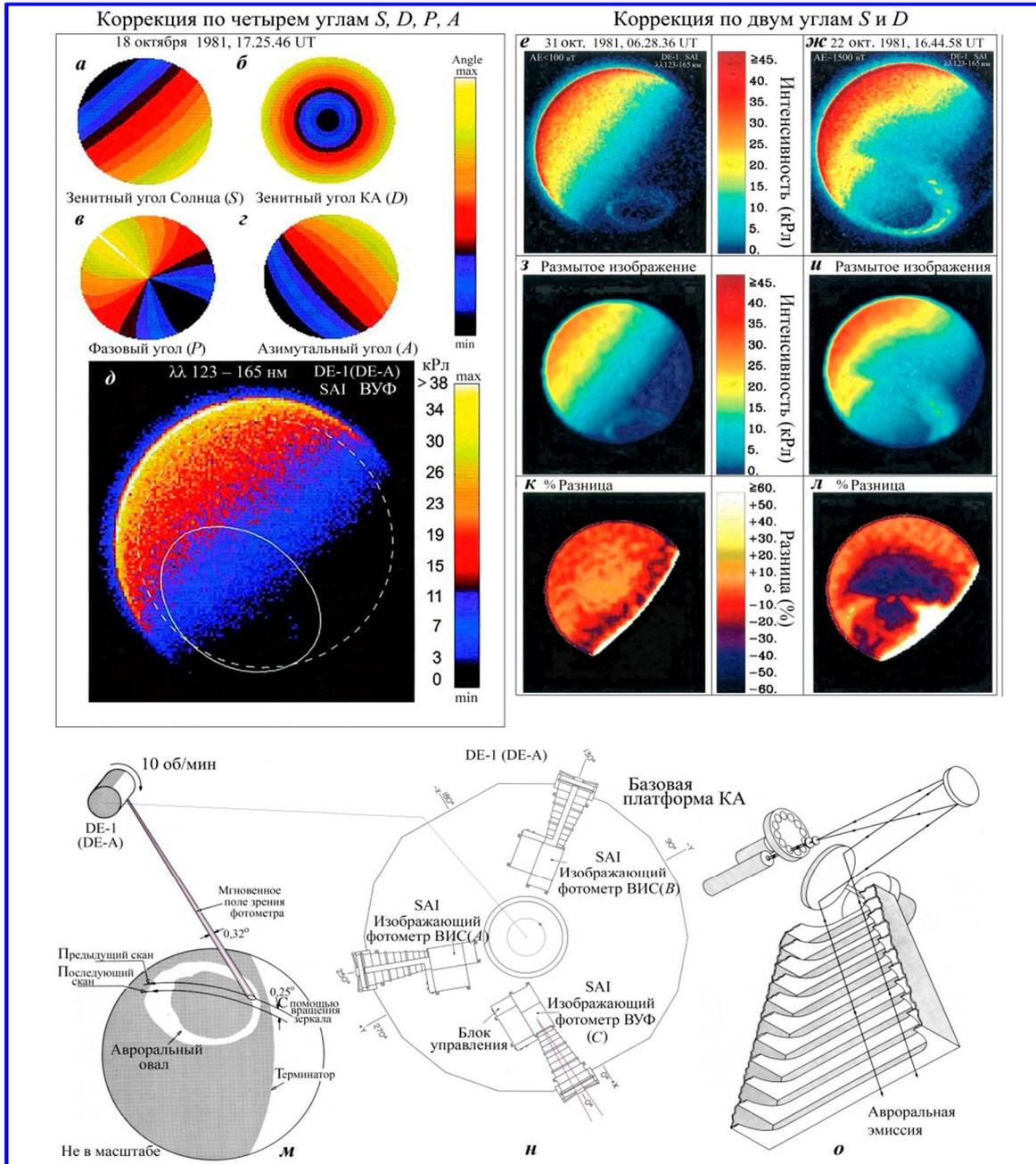


Рис. 14. Четыре угла, используемые в методике повышения контраста изображений: *a* – *S* (зенитный угол Солнца в диапазоне от 4 до 151°); *б* – *D* (для КА DE-1 в диапазоне от 0 до 90°); *в* – *P* (фазовый угол в диапазоне от 30 до 188°, отражающий базовый часовой угол относительно подсолнечной точки); *г* – *A* (азимутальный угол в диапазоне от 0 до 180° (при фиксированных *S* и *D*), вводится в анализ изображений в предположении одной фиксированной высоты эмиссии, при наблюдениях вблизи терминатора). Шкала для углов показана цветом справа от min до max в рамках указанных диапазонов в кРл; *д* – ВУФ-изображение, полученное с орбиты КА DE-1 в фильтре #2 18.10.1981 17:25:46 UT в спокойных геомагнитных условиях (индекс AE < 100 нТ). Шкала интенсивности (Рл) показана цветом справа от изображения; *е, ж* – «сырые» ВУФ-изображения, полученные в спокойных геомагнитных условиях (индекс AE < 100 нТ) и в возмущенных условиях (индекс AE ~ 1500 нТ) соответственно в фильтре #2 с полосой пропускания $\lambda\lambda 123 - 165$ нм (см. текст); *з, и* – показаны те же изображения после сглаживания и удаления лимба соответственно; *к, л* – показана разница между «сырыми» и сглаженными изображениями; *м* – геометрия последовательных наблюдений аврорального овала сканирующими поперек плоскости орбиты изображающими фотометрами SAI (два в видимой области спектра и один в ВУФ), установленными равномерно по азимутальному углу платформы спиново-вращающегося КА DE-1 (DE-A); *н* – геометрия расположения фотометров на платформе, включая изображающий ВУФ фотометр в диапазоне $\lambda\lambda 123 - 165$ нм фильтр #2); *о* – оптическая схема сканирующих изображающих фотометров [54]

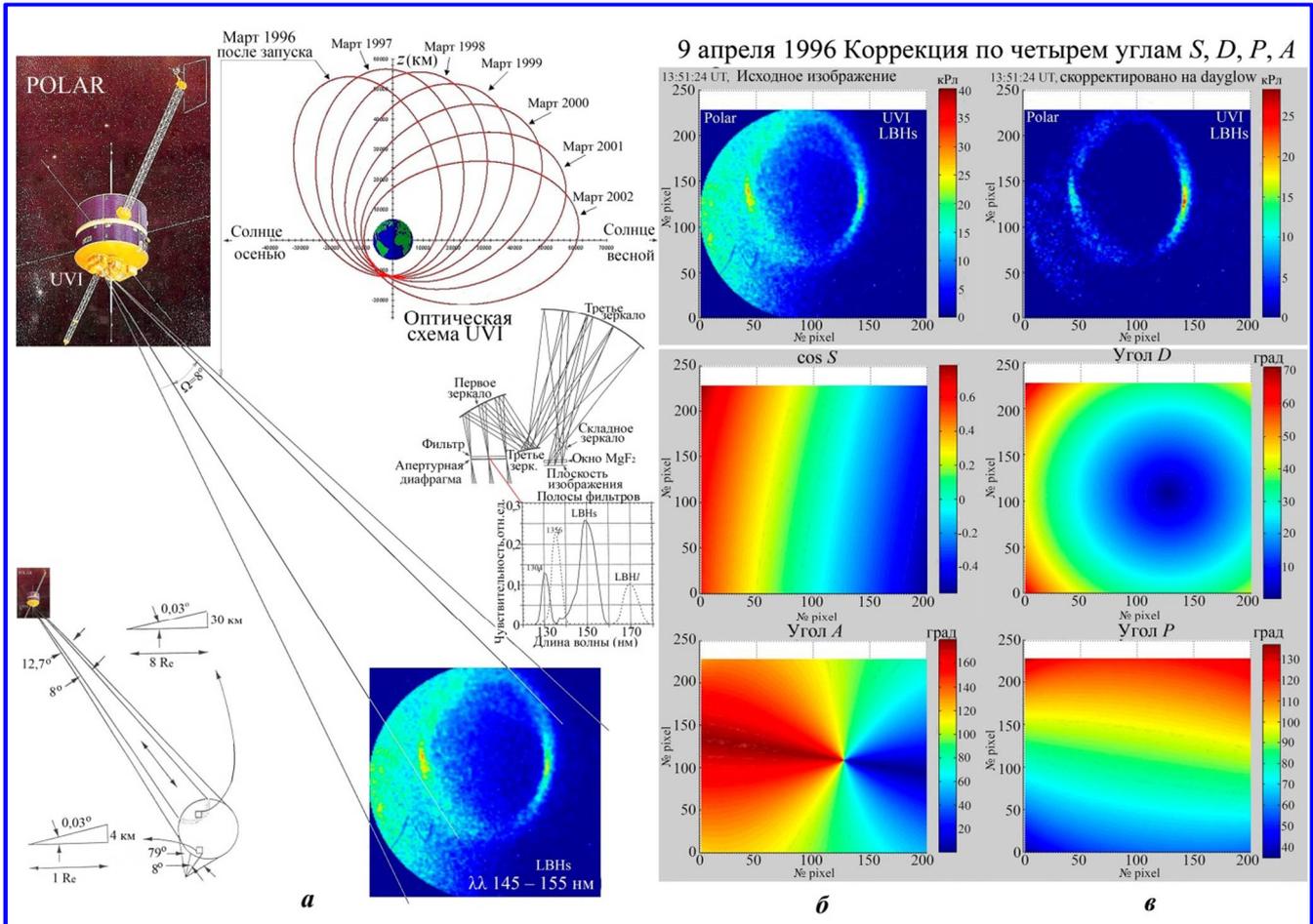


Рис. 15. Геометрия наблюдений ВУФ-эмиссий (а) в авроральном овале с орбиты спиново-вращающегося КА Polar с помощью аврорального имаджера UVI, спектральная селекция в котором осуществлялась с помощью ВУФ-фильтров с более узкими спектральными полосами относительно фильтров в изображающем ВУФ-фотометре на КА DE-1 на рис. 14); б – «сырые» изображения в спектральной полосе фильтра LBHs (λ 145 – 155 нм); в – те же самые изображения с повышенным контрастом, что было реализовано попиксельно по доработанной методике, основанной на учете четырех углов (см. выше)

эмиссии λ 135,6 нм и $\sim 5 - 8 \%$ вклад квантов полос LBH [71]. Как можно видеть из изображений (з) и (и) на рис. 14 из-за большого диапазона высот многократного резонансного рассеяния ($\sim 100 - 500$ км) в эмиссии λ 130,4 нм [OI] методика сглаживания, использованная в [81], основанная на учете двух переменных зенитных углов S (Солнца) и D (спутника), привела к размытию изображений аврорального овала и неразличимости внутренней авроральной структуры (см. уравнение (9)). На это было обращено внимание в [84].

Как уже сказано выше, в работе [83] методика увеличения контраста аврорального овала на фоне dayglow была адаптирована для обработки ВУФ-изображений, полученных с помощью ВУФ-имаджера UVI с орбиты КА Polar [62] 09.04.1996 (рис. 15). Пример изображения, полученного 09.04.1996, в

полосе фильтра Lyman-Birdge-Hopfield bands (short) (LBHs) (λ 145 – 155 нм), в которую не попал яркий триплет $O(^3P_{2,1,0})$, подверженный многократному рассеянию, показывает, что методика увеличения контраста, построенная на учете четырех углов (см. выше), позволяет улучшать характеристики авроральных ВУФ-изображений на фоне дневного свечения нижележащей атмосферы. Эта методика может быть использована в эксперименте с ВУФ-имаджером «Авроризор-ВУФ», который проектируется для перспективного КА «Арктика-МП» [85, 74].

3. Влияние вклада внеатмосферных источников

3.1. Влияние дискретных источников света на поверхности Земли, морей и океанов. При орби-

тальных наблюдениях авроральных эмиссий в видимой области спектра на неосвещенной стороне в направлениях близких к нормали помехами являются дискретные световые источники или их скопления, такие как города, жилые поселки, промышленные предприятия, буровые установки, факелы от сгорания сопутствующего газа и т. д. Главными признаками этих источников являются их географическая стабильность и квази-стабильность во времени. Например, буровые установки могут «передвигаться» время от времени. Практически все эти источники света регулярно картографируются аппаратурой ДЗЗ и их координаты каталогизируются в цифровом виде. К переменным ярким источникам относятся ледоколы и транспортные корабли, рыбацкие шхуны, джонки и пр., использующие яркие лампы для привлечения рыбы и др. Снимки, полученные в полярных областях с широкоспектральной сканирующей системы Operational Line-Scan System (OLS), установленной на КА серии DMSP, [86] свидетельствуют (см. например рис. 16), что при обработке и анализе узкоспектральных ($\delta\lambda \sim 2 - 3$ нм) изображений авроральных эмиссий будет наиболее важна идентификация точечных источников света, соизмеримых с мелкомасштабными авроральными структурами (от сотен метров до нескольких км). Структуры эмиссий подобных масштабов могут возбуждаться и искусственно с поверхности Земли (см. рис. 3 в [34]) во время конкретных режимов работы нагревного ВЧ-стенда [87].

3.2. Влияние света галактик и звездного неба, отраженного от подстилающей поверхности, на наблюдения эмиссий в свечении атмосферы. Наименее интенсивным источником фоновых квантов, вносящим относительно малый вклад в авроральные изображения на неосвещенной стороне в видимой области спектра, является свет звездного неба и галактик (см. рис. 17, фотография получена с Международной космической станции (МКС) [88]). На рис. 18 показана карта звездного неба, составленная по фотометрическим измерениям в длине волны $\lambda 630,0$ нм, сделанным с помощью ВАЕ-фотометра с орбиты КА АЕ-С [89], которую можно использовать при коррекции изображений авроральной кислородной эмиссии при наблюдениях с орбит КА «Метеор-МП» и «Зонд». Шкала интенсивности в черно-белом цвете приведена в прямоугольниках внизу рисунка в единицах Рл/Å.

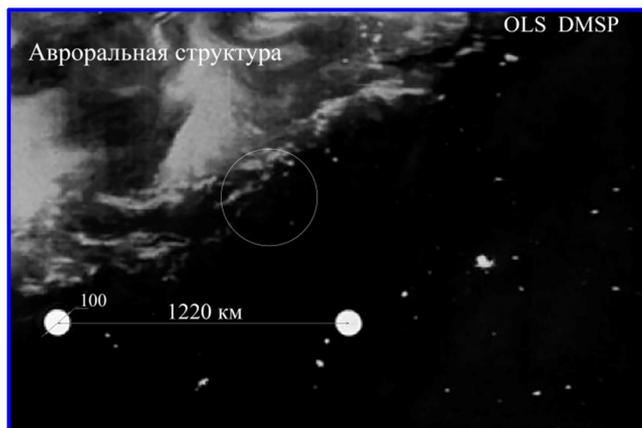


Рис. 16. Фрагмент изображения аврорального овала, полученного над Скандинавией с помощью оптической широкоспектральной сканирующей системы OLS на КА DMSP. Масштаб изображения показан между двумя белыми кружками, а также диаметром кружка. Белым кругом в середине очерчена площадь, наблюдаемая на высоте эмиссии авроральным имаджером «Авроризор-ВИС/МП» с перспективного КА «Метеор-МП»



Рис. 17. Фотография звездного неба, сделанная над Южной Австралией космонавтами МКС

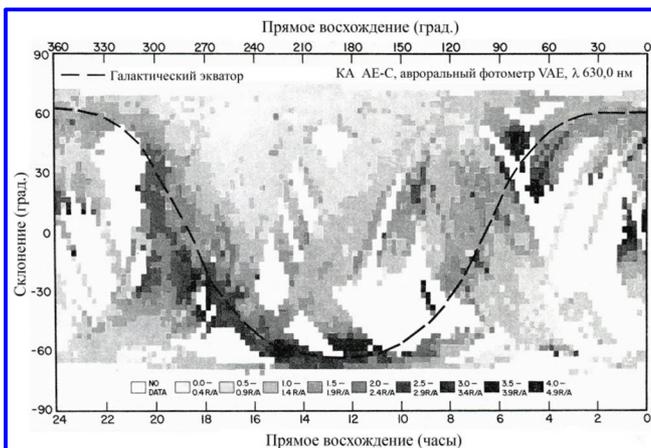


Рис. 18. Карта света звезд и галактик, составленная по фотометрическим данным ($\lambda 630,0$ нм) с орбиты КА АЕ-С

Заключение

Проанализирован ряд аспектов влияния фоновых квантов, проходящих сквозь полосу пропускания авроральных имаджеров, нацеленных на получение с различных орбит КА изображений конкретных эмиссий, несущих информацию об энергетических характеристиках высыпавшихся заряженных частиц в полярную верхнюю атмосферу и ионосферу, их зависимости от плазменных процессов в магнитосфере и динамики геомагнитных условий в околоземном пространстве. Рассмотрены основные свойства эмиссий, специфика методики наблюдений их распределений в авроральных структурах с орбит, влияние геометрии наблюдений и тангенциального усиления интенсивности, и ряда других характеристик на качество изображений.

На примерах зарубежных и отечественных результатов фотометрических измерений авроральных эмиссий показано влияние условий освещенности атмосферы Солнцем, Луной, влияние их отраженного и рассеянного света от подстилающей поверхности. Представлен алгоритм учета влияния вклада «света» Луны в сигнал элементарного фотометра в рамках угла поля зрения аврорального имаджера в зависимости от ее фазового угла Ψ на основе нелинейной функции Ружье.

Рассмотрено влияние отражения и рассеяния излучения эмиссий в видимой области спектра самих авроральных структур от подстилающей поверхности на пространственные характеристики авроральных структур в изображениях и точность измерений интенсивности эмиссий, и особенно на границах структур. Адаптирован алгоритм коррекции изображений эмиссий в 2D и показан пример результатов его использования в анализе фотометрических широтных профилей интенсивности авроральных эмиссий, полученных с помощью фотометра с орбиты КА «Ореол-3», а также 3D-вариант этого алгоритма для коррекции результатов наблюдений с орбит перспективных российских КА и последующих реконструкций фрагментов изображений авроральных эмиссий. Автор уверен, что использование 3D-реконструкций изображений авроральных эмиссий, полученных под разными углами с орбит КА и поверхности Земли одновременно с характеристиками плазмы в окрестностях КА, создаст предпосылки для получения новой информации в интересах исследований механизмов генерации процессов, приводящих к синхротронным сигналам навигационных систем, пересекающих авроральные структуры в различных секторах полярной ионосферы во время геомагнитных возмущений и суббурь.

Рассмотрено влияние поглощения фоновых ВУФ-квантов на освещенной стороне полярной атмосферы в спектральной области континуума молекулярного кислорода, «создающего» условия на освещенной стороне для получения глобальных изображений аврорального овала (с орбиты типа «Молния») и его локальных фрагментов (с орбиты DMSP) в ВУФ-эмиссиях N_2 , OI, NI над фоном ВУФ-излучения, возбужденным солнечным ультрафиолетом. Проанализировано минимальное влияние поглощения нижележащим слоем O_2 (из-за провала в поперечном сечении поглощения до 10^{-20} см²) на измерения эмиссии Ly- α HII, возбужденной высыпавшимися протонами в области аврорального овала. Так как «протонный» авроральный овал с минимальным контрастом «виден» на освещенной стороне полярной ионосферы, и на основе лабораторных исследований [75] сделано предположение о влиянии поглощения фоновых квантов геокорональной эмиссии Ly- α водяным паром в подстилающей полярной мезосфере [76].

Показаны результаты использования методики повышения контраста ВУФ-изображений аврорального овала в спектральной полосе LBHs, на примере изображения, полученного с помощью ВУФ-имаджера UVI с орбиты КА Polar на освещенной стороне, на основе адаптированного алгоритма с учетом значений зенитных углов Солнца и КА, а также фазового и азимутального углов в каждом пикселе изображения.

На примере изображения фрагмента северного аврорального овала над Скандинавией, полученного с помощью широкоспектральной системы OLS в видимой области спектра с орбиты КА DMSP, акцентировано внимание на важности идентификации координат точечных наземных источников света при анализе изображений эмиссий в мелко-масштабных авроральных структурах. В конкретных районах полярной и субполярной ионосферы, под которыми расположены нагревные ВЧ-стенды, эта идентификация особенно важна, так как при наблюдениях сверху искусственно возбужденные структуры эмиссий могут по масштабу приближаться к точечным наземным источникам света.

Литература

1. ISIS-II atomic oxygen red line photometer / G. G. Shepherd, T. Fancott, J. McNally [et al.] // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12. – P. 1767 – 1774.
2. On the brightness of the sky at night and total amount of the starlight / P. J. Van Rhijn // Publications of the Astronomical Laboratory at Groningen. – 1921. – 83 p.

3. Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions I. Model Computations. / M. H. Rees and D. Luckey // *Journ. Geophys. Res.* – 1974. – Vol. 79. – № 34. – P. 5181 – 5186.
4. The auroral 6300 Å emission: Observation and Modeling / S. C. Solomon, P. B. Hays, V. J. Abreu // *Journ. Geophys. Res.* – 1988. – Vol. 93. – № A9. – P. 9867 – 9882.
5. Deducing composition and incident electron spectra from ground-based auroral optical measurements: theory and model results. / D. J. Strickland, R. R. Meier, J. H. Hecht // *Journ. Geophys. Res.* – 1989. – Vol. 94. – № A10. – P. 13527 – 13539.
6. Electron auroral excitation efficient and intensity ratios. / D. P. Steel, D. J. McEwen // *Journ. Geophys. Res.* – 1990. – Vol. 95. – P. 10321 – 10336.
7. The visible-airglow experiment on Atmosphere Explorer / P. B. Hays, G. Carignan, B. C. Kennedy [et al.] // *Radio Sci.* – 1973. – Vol. 8. – Iss. 4. – P. 369 – 377.
8. Excitation of the $O(^1D)$ atoms in aurorae and emission of the [OI] 6300-Å line / M. H. Rees, R. G. Roble // *Can. J. Phys.* – 1986. – Vol. 64. – № 12. – P. 1608 – 1613.
9. Auroral particle transport using Monte Carlo hybrid methods: observation and modeling. / S. C. Solomon // *Journ. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – № A1. – P. 107 – 116.
10. Прохождение электронных и протонно-водородных пучков в атмосфере Земли / В. Е. Иванов, Б. В. Козелов. – Апатиты : Изд. КНЦ РАН, 2001. – 260 с.
11. A model for generating global images of emission from the thermosphere / D. J. Strickland, R. J. Cox, R. P. Barnes [et al.] // *Applied Optics.* – 1994. – Vol. 33. – Iss. 16. – P. 3578 – 3594.
12. Дашкевич Ж. В. Фотометрия и моделирование излучений полярных сияний: специальность 25.00.09 «Физика атмосферы и гидросферы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Ж. В. Дашкевич; ПГИ РАН. – Апатиты, 2005. – 145 с.
13. Airglow atmospheric imager on board the «IK-Bulgaria-1300» satellite / M. Gogoshev, N. Petkov, A. Kuzmin [et al.] // *Adv. Space. Res.* – 1983. – Vol. 1.2. – № 7. – P. 115 – 120. – URL : <http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/198801.pdf> (дата обращения: 18.06.2020). – Текст: электронный.
14. Auroral photometers aboard the Aureol-3 satellite: the Altair experiment / V. A. Gladyshev, A. K. Kuzmin, T. M. Mularchik [et al.] // *Annales Geophysicae.* – 1982. – T. 38. – Fasc. 5. – P. 631 – 634.
15. Кузьмин А. К. Спектрофотометрия полярных сияний и ночного излучения атмосферы с искусственных спутников Земли : специальность 05.07.12 «Дистанционные аэрокосмические исследования» и 01.03.03 «Гелиофизика и физика Солнечной системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / А. К. Кузьмин. – Москва, 1991. – 296 с.
16. Chamberlain J. W. *Physics of the aurora and airglow* / J. W. Chamberlain. – New York ; London: Academic Press, 1961. – 704 p.
17. Методика проведения космического эксперимента с авроральными имаджерами на спутниковых орбитах / М. А. Баньщикова, В. А. Авдюшев, А. К. Кузьмин // *Космические Исследования.* – 2020. – Т. 58. – № 5. – С. 1 – 8.
18. Экспериментальный опыт и перспективы развития авроральной оптической диагностики состояния полярной ионосферы с орбит / А. К. Кузьмин, Г. М. Крученицкий, Ю. Н. Потанин [и др.] // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ.* – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – Т. 163. – № 2. – С. 12 – 28.
19. The far-ultraviolet imager on the ICON mission / S. B. Mende, H. U. Frey, K. Rider // *Space Sci. Rev.* – 2017. – Vol. 212. – Iss. 1 – 2. – P. 1 – 42. – DOI : 10.1007/s 11214-017-0386-0.
20. SSUSI: Horizon-to-horizon and limb-viewing spectrographic imager for remote sensing of environmental parameters. / L. J. Paxton, C.-I. Meng, G. H. Fountain [et al.] // *Proceedings of SPIE, Ultraviolet Technology IV.* – 1993. – Iss. 1. – P. 161 – 176. – DOI: 10.1117/12.140846.
21. Brausser G. P. *Aeronomy of the middle atmosphere chemistry and physics of the stratosphere and mesosphere* / G. P. Brausser, S. Solomon. – 3d edition. – Netherlands : Springer, 2005. – 646 p. – ISBN 978-1-402003824-2.
22. Fast Auroral Imager (FAI) for e-POP Mission / L. Cogger, A. Howarth, A. Yau [et al.] // *Space Sci. Rev.* – 2014. – Vol. 189. – P. 15 – 25. – DOI: 10.1007/s11214-014-0107-x.
23. Obuchi Y. Initial observations of auroras by the multi-spectral auroral camera on board the Reimei satellite / Y. Obuchi., T. Sakanoi, A. Yamazaki [et al.] // *Earth Planets Space.* – 2008. – Vol. 60. – P. 827 – 835.
24. Аллен К. У. *Астрофизические величины* / К. У. Аллен. – Москва : Мир, 1977. – 448 с.
25. Determination of extraterrestrial solar spectral irradiance from a research aircraft / J. C. Arvesen, R. N. Griffin, P. D. Pearson // *Appl. Opt.* – 1969. – Vol. 8. – № 11. – P. 2215 – 2232.
26. Якушенков Ю. Г. *Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах* / Ю. Г. Якушенков. – Москва : Радио и связь, 1981. – 180 с.
27. Варианты и выбор оптической схемы, оптимизация характеристик орбитального аврорального имаджера «Авровизор-ВИС/МП», сравнение с зарубежными аналогами / А. К. Кузьмин, М. А. Баньщикова, Г. М. Крученицкий [и др.] // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ.* – Москва: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – Т. 160. – № 5. – С. 20 – 36.
28. Возможности дистанционной диагностики авроральных и аэрономических характеристик с космического аппарата с помощью спектрофотометрической изображающей системы нового типа / А. К. Кузьмин, К. Н. Чиков // *Космические Исследования.* – 1994. – Т. 32. – Вып. 1. – С. 126 – 142.
29. Панорамные изображающие монохроматические камеры для дистанционной диагностики характеристик ионосферы и верхней атмосферы с ИСЗ / А. К. Кузьмин, К. Н. Чиков // *Оптика атмосферы и океана.* – 1995. – Т. 8. – № 6. – С. 897 – 909.
30. Rayleigh scattering questions of terminology are resolved during a historical excursion through the physics of light -scattering by gas molecules / A. T. Young // *Physics Today.* – 1982. – P. 43 – 48.
31. The first results of neutral Doppler temperature observations from Mir orbital station / V. M. Balebanov, A. K. Kuzmin, Yu. N. Ponomarev [et al.] // *IAF-89-178, 40th Congress of the In-*

- ternational Astronautical Federation. – Spain, Malaga, 1989. – URL : [http:// www.cosmic-rays.ru/articles/13/198901.pdf](http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/198901.pdf) (дата обращения: 18.06.2020). – Текст: электронный.
32. Прибор для измерения контура линии $\lambda 630,0$ А [OI] и её интенсивности / В. А. Гладышев, Л. И. Графова, А. К. Кузьмин [и др.] // Конструирование научной космической аппаратуры. Сб. АН СССР. – Москва: Наука, 1977. – С. 79–88.
33. Auroras dancing in the night / Don Pettit : сайт. – 2004. – URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/ISSAurora> (дата обращения: 18.06.2020).
34. Прикладные аспекты измерений авроральных эмиссий и характеристик полярной ионосферы имаджером «Авроратор-ВИС/МП» на перспективном КА «Метеор-МП» / А. К. Кузьмин, А. М. Мерзлый, М. А. Баныщикова [и др.] // Материалы четвертой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. – С. 325–341. – URL : <http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/201702.pdf> (дата обращения: 18.06.2020). – Текст : электронный.
35. Исследования авроральных характеристик и высокоширотной структуры эмиссий верхней атмосферы и ионосферы Земли с использованием метода пространственных реконструкций изображений, полученных с высоты орбиты перспективного микроспутника / Ю. С. Доброленский, Б. В. Козелов, А. К. Кузьмин [и др.] // Сб. Исследования солнечно-земных связей на микро- и пико-спутниках. Материалы научной сессии Секции солнечно-земных связей Совета по космосу Российской академии наук. – Москва, 2015. – С. 77–90.
36. Photometrie photoelectrique globale de la lune / M. G. Rougier // Annales de l' Observatoire de Strasbourg. – Vol. 2. – Fasc. 3. – Orleans : Impr. Henri Tessier, 1933. – P. 203–339.
37. Photometric properties of lunar crater floors / J. Van Diggelen // Rech. Astron. Obs. Utrecht. – 1959. – Vol. 14. – № 2. – P. 1–114.
38. A theoretical photometric function for Lunar surface / B. W. Napke // Journ. Geophys. Res. – 1963. – Vol. 8. – № 15. – P. 4571–4586.
39. Spectral albedo corrections to ISIS-2 satellite auroral photometer data / A. W. Harrison, C. D. Anger // Can. Journ. Phys. – 1977. – Vol. 55. – P. 663–670.
40. Earth albedo effects in satellite auroral photometry / A. W. Harrison, C. D. Anger // Can. Journ. Phys. – 1977. – Vol. 55. – P. 929–936.
41. Rocket observations of auroral albedo over snow / J. S. Murphree, I. W. H. Robertson, C. D. Anger [et al.] // Appl. Opt. – 1978. – Vol. 17. – Iss. 12. – P. 1849–1850.
42. Influence of ground scattering on satellite auroral observations / P. B. Hays, C. D. Anger // Appl. Opt. – 1978. – Vol. 17. – № 12. – P. 1898–1904.
43. Influence of atmospheric absorption on satellite auroral observations / V. J. Abreu, P. B. Hays // Appl. Opt. – 1979. – Vol. 18. – № 19. – P. 3324–3327.
44. An empirical method for determining albedo contribution to satellite photometer data / J. S. Murphree, C. D. Anger // Remote Sensing of Environment. – 1980. – Vol. 9. – P. 183–187.
45. Parallax and atmospheric scattering effects on the inversion of satellite auroral observations / V. J. Abreu, P. B. Hays // Appl. Opt. – 1981. – Vol. 20. – № 13. – P. 2203–2209.
46. Кузьмин А. К. Эффект влияния отражения и рассеяния света земной поверхностью на характеристики профилей интенсивности полярных сияний на примерах данных со спутников «Ореол-3» и «ИК-Болгария-1300» / А. К. Кузьмин // Препринт ИКИ АН СССР. Пр-1552. – 1989. – 37 с.
47. Влияние сопряжений по магнитному полю элементов изображений авроральных эмиссий на точность определения $E_{ср}$ высыпающихся электронов / М. А. Баныщикова, И. Н. Чувашов, А. К. Кузьмин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61. – № 1. – С. 132–137.
48. Tomography-like retrieval of auroral volume emission ratios for the 31 January 2008 Hotel Payload 2 event / C.-F. Enell, B. Gustavsson, B. U. E. Brandstrom [et al.] // Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss. – 2012. – Vol. 2. – P. 1–21.
49. Преимущества наблюдений авроральных структур с двух орбит и возможности для реконструкций 3D-распределений эмиссий, получаемых с разных позиций имаджеров / А. К. Кузьмин, М. А. Баныщикова, И. Н. Чувашов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – Т. 158. – № 3. – С. 7–21.
50. Методика диагностики распределений интенсивности авроральных эмиссий с орбит одновременно с измерениями характеристик плазмы и ее роль в исследованиях и контроле условий распространения сигналов навигационных систем в полярной ионосфере / А. К. Кузьмин, О. Л. Вайсберг, С. Д. Шувалов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – Т. 169. – № 2. – С. 9–25.
51. Huffman R. E. Atmospheric ultraviolet remote sensing / R. E. Huffman. – Boston ; San Diego ; New York ; London ; Sydney ; Tokyo ; Toronto : Academic Press, INC, 1992. – 317 p.
52. Absorption coefficients of oxygen in vacuum ultraviolet / K. Watanabe, E. C. Y. Inn, M. Zelikoff // Journ. Chem. Phys. – 1953. – Vol. 21. – № 6. – P. 1023–1030. – DOI : 10.1063/1.1599104.
53. Scientific satellite KYOKKO (EXOS-A) / K. Hirao, T. Itoh // Solar Terr. Env. Res. – 1978. – Vol. 2. – P. 148–152.
54. Imaging results from Dynamics Explorer 1 / L. A. Frank, J. D. Craven // Rev. Geophys. – 1988. – Vol. 26. – P. 249–283.
55. Ultraviolet imaging of sunlit auroras from HILAT / R. E. Huffman, C.-I. Meng // John Hopkins, APL Technological Digest. – 1984. – Vol. 5. – № 2. – P. 138–142.
56. An ultraviolet auroral imager for the Viking spacecraft / C. D. Anger, S. K. Babey, A. L. Broadfoot // Geophys. Res. Lett. – 1987. – Vol. 14. – № 4. – P. 387–390.
57. The UVISI instrument / K. J. Heffernan, J. E. Heiss, J. D. Boldt [et al.] // John Hopkins, APL Technical Digest. – 1996. – Vol. 17. – № 2. – P. 198–214.
58. MSX-A Multi-Use Space Experiment. / L. J. Paxton, C.-I. Meng, D. E. Anderson [et al.] // Johns Hopkins, APL Tech. Dig. – 1996. – Vol. 17. – № 1. – P. 19–34.
59. Studies of auroral Dynamics by Aurora-TV on the Akebono (EXOS-D) satellite / T. Oguti, E. Kaneda, M. Ejiri [et al.] //

- Journ. Geomagn. Geoelectr. – 1990. – Vol. 42. – Iss. 4. – P. 555 – 564. – DOI : 10.5636/j.gg.42.555.
60. The Freja ultraviolet imager / J. S. Murphree, R. A. King, T. Payne [et al.] // Space Sci. Reviews. – 1994. – Vol. 70. – P. 421 – 446.
61. The Visible Imaging System (VIS) for the Polar Spacecraft / L. A. Frank, J. B. Sigwarth, J. D Craven [et al.] // Space Sci. Rev. – 1995. – Vol. 71. – Iss. 1 – 4. – P. 297 – 328.
62. Auroral observations from the POLAR Ultraviolet Imager (UVI) / G. A. Germany, J. F. Spann, G. K. Parks [et al.] // Geospace Mass and Energy Flow: Results the International Solar-terrestrial Physics Program. Geophys. Monogr. Ser. ; ed. by J. L. Horwitz, D. L. Gallagher and W. K. Peterson. – Washington : AGU, D.C., 1998. – Vol. 104 – P. 149 – 160.
63. Ultraviolet auroral imager (UVAI) / L. L. Cogger, D. Hearn, J. S. Murphree [et al.] // Interball mission and payload ; ed. By Yu. I. Galperin, T. Muliarchik, J. P. Thouvenin ; Russian Space Agency, Space Research Institute, and French Space Agency. – 1995. – P. 382 – 400.
64. UV-spectrometer in Interball project to map ionospheric characteristics in the magnetic field line footprint from the satellite Auroral probe / A. K. Kuzmin, T. V. Fomicheva, A. V. Kondabarov [et al.] // Interball Mission and Payload. – CNES-IKI-RSA. – 1995. – P. 401 – 407.
65. The ultraviolet spectrometer UVSIPS onboard the Auroral Probe satellite: an example of simultaneous measurements of intensity of the auroral OI $\lambda 1304$ Å and $\lambda 1356$ Å emissions, and particle fluxes / A. K. Kuzmin, Yu. I. Galperin, F. K. Shuiskaya [et al.] // Cosmic Research. – 1998. – Vol. 36. – № 5. – P. 593 – 603.
66. Summary of quantitative interpretation of IMAGE Far ultraviolet auroral data / H. U. Frey, S. B. Mende, T. J. Immel [et al.] // Space Science Reviews. – 2003. – Vol. 109. – P. 255 – 283.
67. IMAGE FUV and in situ FAST particle observations of sub-storm aurorae / S. B. Mende, C. W. Carlson, H. U. Frey [et al.] // Journ. Geophys. Res. – 2003 – Vol. 108. – № A4, 8010. – P. COA 11 - 1 – 11 - 13. – DOI : 10.1029/2002JA009413.
68. Observing the magnetosphere through global auroral imaging: 1. Observables / S. B. Mende // Journ. Geophys. Res. – 2016. – Vol. 121. – P. 10623 – 10637. – DOI : 10.1002/2016/A022558.
69. Wide-field auroral imager onboard the Fengyun satellite. / X.-X. Zhang, B. Chen, F. He [et al.] // Light: Science & Applications. – 2019. – Vol. 8. – № 47. – P. 1 – 12. – DOI : 10.1038/s41377-019-0157-7.
70. Кузьмин А. К. Дистанционная спектрофотометрическая диагностика характеристик авроральной ионосферы с орбит перспективных российских космических аппаратов / А. К. Кузьмин // ИКИ РАН. Пр-2161. – 2011. – 49 с. – URL : iki.rssi.ru>books/2011kuzmin.pdf (дата обращения: 18.06.2020). – Текст : электронный.
71. Interpretation of Dynamics Explorer far UV images of the quiet time thermosphere / R. R. Meier, R. Cox, D. J. Strickland [et al.] // Journ. Geophys. Res. – 1995. – Vol. 100. – № A4. – P. 5777 – 5794. – DOI : 10.1029/94JA02679.
72. Raab W. SMILE: A joint ESA/CAS mission to investigate the interaction between the solar wind and Earth's magnetosphere. / W. Raab, G. Branduardi-Raymont, C. Wang [et al.] // SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation. – 2016. – Vol. 9905. – 9 p. – DOI : 10.1117/12.2331984.
73. A model of the Lyman- α line profile in the proton aurora / J.-C. Gerard, B. Hubert, D. V. Bisikalo // Journ. Geophys. Res. – 2000. – Vol. 105. – № A7. – P. 15795 – 15805.
74. Дистанционная оптическая диагностика состояния полярной ионосферы в различных диапазонах спектра на основе данных наблюдений орбитального аврорального имаджинга. Часть 1 / А. К. Кузьмин, А. М. Мерзлый // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2018. – Т. 167. – № 6. – С. 9 – 41.
75. Calculations of Lyman alfa absorption in the mesosphere / J. L. Lean // Atmospheric ozone ; Zerebos C.S., and Ghasi A. (eds.). – Dordrecht : Springer, 1985. – P. 697 – 701. – DOI : 10.1007/978-94-009-5313-0.
76. Observation of water vapour in the middle atmosphere / S. Lossow // Stockholm Univ. Akademisk Avhandling. – 2008. – 63 p.
77. Observation of the proton aurora with IMAGE FUV imager and simultaneous ion flux in situ measurements / J.-C. Gerard, B. Hubert, M. Meurant M. [et al.] // Journ. Geophys. Res. – 2001. – Vol. 106. – № A12. – P. 28939 – 28948.
78. Far ultraviolet imaging from the IMAGE spacecraft: 3. Spectral imaging of Lyman- α and OI 135.6 nm / S. B. Mende, H. Heetderks, H. U. Frey // Space Science Reviews. – 2000. – Vol. 91. – P. 287 – 318.
79. Cusp aurora dependence on interplanetary magnetic field B_z / S. A. Fuselier, H. U. Frey, K. J. Trattner [et al.] // Journ. Geophys. Res. – 2002. – Vol. 107. – № A7, 1111. – P. SIA 6 – 10.
80. URL: pluto.space.swri.edu/image/FUV_images2.html (дата обращения: 2016 год).
81. A survey of large-scale variations in thermospheric oxygen column density with magnetic activity as inferred from observations of the FUV dayglow / A. C. Nikolas, J. D. Craven, L. A. Frank // Journal Geophys. Res. – 1997. – Vol. 102. – № A3. – P. 4493 – 4510.
82. An empirical model of the FUC dayglow from DE-1 images / T. Immel, J. Craven, A. Nicholas // Journ. Atmos. Solar. Ter. Phys. – 2000. – Vol. 62. – P. 42 – 64.
83. Correcting and refining dayglow technology for dayside orbital auroral FUV-images from data of UVI (POLAR) / D. G. Shadrin, A. K. Kuzmin, A. M. Merzlyi // Rep. of student section of COSPAR-2014, Moscow State University. – 2014. – 9 p.
84. Global O/N₂ derived from DE-1 FUV dayglow data: technique and examples from two storm periods / D. J. Strickland, R. J. Cox, R. R. Meier [et al.] // Journ. Geophys. Res. – 1998. – Vol. 104. – P. 4251 – 4266.
85. Создание перспективного оптического комплекса «Авроризор-ВУФ» в составе группировок высоко- и низко-алюейных КА для мониторинга и контроля состояния ионосферы Земли // ИКИ РАН ; ОАО НИП «Геофизика-Космос» ; Аванпроект. – Москва : ИКИ РАН, 2013. – 385 с.
86. The Earth ionosphere-plasma physics and electrodynamics // Int. Geophys ; M. C. Kelley (ed.). – California, San Diego : Academic Press, 2009. – 576 p.

87. Kendall E. Decameter structure in heater-induced airglow at the High frequency Active Auroral Research Program facility / E. Kendall, R. Marshall, R. T. Parris [et al.] // Journ. Geophys. Res. Space. – 2010. – Vol. 115. – A08306. – P. 1 – 11. – DOI : 10.1029/2009JA015043.
88. Earth at night, our planet in brilliant darkness // NASA. NP-2019-07-2739-HQ. – 2019. – 178 p.
89. Intercalibration of airglow observatories with Atmosphere Explorer Satellite / M. R. Torr, P. B. Hays, B. C. Kennedy [et al.] // Planet. Space Sci. – 1977. – Vol. 25. – P. 173 – 184.

Поступила в редакцию 15.04.2020

Александр Константинович Кузьмин, кандидат физико-математических наук, главный специалист, т. (495) 333-20-00, e-mail: alkuzmin@mail.ru. (ИКИ РАН).

BACKGROUND CONDITIONS AND THE INFLUENCE OF VARIOUS LIGHT FACTORS ON THE IMAGES OF THE INTENSITY DISTRIBUTIONS OF AURORAL EMISSIONS OBTAINED FROM THE ORBITS OF THE SPACECRAFTS

A. K. Kuzmin

The article is presented as one of the parts of the methodological and analytical groundwork in the preparation of experiments with auroral imagers on promising spacecraft. Obtaining images of auroral emissions in the visible and VUV spectral regions emitted in the atmosphere and ionosphere from different orbits is associated with their separation above the background using band-pass filters in image chambers or using monochromators and exit slots in spectrographic imagers. When auroral emissions are selected, part of the background quanta passes through the passband of the devices and enters the imaging detector. Using specific examples are considered the characteristics of background sources in the visible and VUV spectral ranges and their effects on the images of emissions in auroral structures

Key words: diagnostics of the state of the polar ionosphere, background conditions, auroral emissions, auroral oval, auroral imager, imaging spectrograph.

References

1. ISIS-II atomic oxygen red line photometer / G. G. Shepherd, T. Fancott, J. McNally [et al.] // Appl. Opt. – 1973. – Vol. 12. – P. 1767 – 1774.
2. On the brightness of the sky at night and total amount of the starlight / P. J. Van Rhijn // Publications of the Astronomical Laboratory at Groningen. – 1921. – 83 p.
3. Auroral electron energy derived from ratio of spectroscopic emissions 1. Model Computations. / M. H. Rees and D. Luckey // Journ. Geophys. Res. – 1974. – Vol. 79. – № 34. – P. 5181 – 5186.
4. The auroral 6300 Å emission: Observation and Modeling / S. C. Solomon, P. B. Hays, V. J. Abreu // Journ. Geophys. Res. – 1988. – Vol. 93. – № A9. – P. 9867 – 9882.
5. Deducing composition and incident electron spectra from ground-based auroral optical measurements: theory and model results. / D. J. Strickland, R. R. Meier, J. H. Hecht // Journ. Geophys. Res. – 1989. – Vol. 94. – № A10. – P. 13527 – 13539.
6. Electron auroral excitation efficient and intensity ratios. / D. P. Steel, D. J. McEwen // Journ. Geophys. Res. – 1990. – Vol. 95. – P. 10321 – 10336.
7. The visible-airglow experiment on Atmosphere Explorer / P. B. Hays, G. Carignan, B. C. Kennedy [et al.] // Radio Sci. – 1973. – Vol. 8. – Iss. 4. – P. 369 – 377.
8. Excitation of the O(¹D) atoms in aurorae and emission of the [OI] 6300-Å line / M. H. Rees, R. G. Roble // Can. J. Phys. – 1986. – Vol. 64. – № 12. – P. 1608 – 1613.
9. Auroral particle transport using Monte Carlo hybrid methods: observation and modeling. / S. C. Solomon // Journ. Geophys. Res. – 2001. – Vol. 106. – № A1. – P. 107 – 116.
10. The passage of electron and proton-hydrogen beams in the Earth's atmosphere. / V. E. Ivanov, B. V. Kozelov // Apatity. Pub. KNC RAS. – 2001. – 260 p.
11. A model for generating global images of emission from the thermosphere / D. J. Strickland, R. J. Cox, R. P. Barnes [et al.] // Applied Optics. – 1994. – Vol. 33. – Iss. 16. – P. 3578 – 3594.
12. Dashkevich Zh. V. Photometry and modeling of auroral emissions: specialty 25.00.09 'Atmosphere and hydrosphere physics': Thesis for the Degree of Candidate of Physics and Mathematics / Zh. V. Dashkevich; Polar Geophysical Institute of the Russian Academy of Sciences. – Apatity, 2005. – 145 p.
13. Airglow atmospheric imager on board the «IK-Bulgaria-1300» satellite / M. Gogoshev, N. Petkov, A. Kuzmin [et al.] // Adv. Space Res. – 1983. – Vol. 1.2. – № 7. – P. 115 – 120. – URL : <http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/198801.pdf> (дата обращения: 18.03.2020). – Текст: электронный.

14. Auroral photometers aboard the Aureol-3 satellite: the Altair experiment / V. A. Gladyshev, A. K. Kuzmin, T. M. Murchchik [et al.] // *Annales Geophysicae*. – 1982. – Т. 38. – Fasc. 5. – P. 631 – 634.
15. Kuzmin A. K. Spectrophotometric analysis of polar aurora and night atmosphere radiation from artificial Earth satellites : specialty 05.07.12 'Remote aerospace research' and 'Heliophysics and solar system physics' : Thesis for the Degree of Candidate of Physics and Mathematics / A. K. Kuzmin. – Moscow, 1991. – 296 p.
16. Chamberlain J. W. Physics of the aurora and airglow. / J. W. Chamberlain. – New York ; London: Academic Press, 1961. – 704 p.
17. Technique for a space experiment with auroral imagers in satellite orbits / M. A. Banshchikova, V. A. Avdyushev, A. K. Kuzmin // *Kosmicheskie Issledovaniya*. – 2020. – Vol. 58. – №5. – P. 1 – 8.
18. Experimental heritage and prospects of further development of the orbital auroral optical diagnostics of the polar ionosphere state / A. K. Kuzmin, G. M. Kruchenitskii, Yu. N. Potanin // *Matter of Electromechanics*. – Moscow : JSC «VNIIEМ Corporation». – 2018. – Vol. 163. – №. 2 – P. 12 – 28.
19. The far-ultraviolet imager on the ICON mission / S. B. Mende, H. U. Frey, K. Rider // *Space Sci. Rev.* – 2017. – Vol. 212. – Iss. 1 – 2. – P. 1 – 42. – DOI : 10.1007/s 11214-017-0386-0.
20. SSUSI: Horizon-to-horizon and limb-viewing spectrographic imager for remote sensing of environmental parameters. / L. J. Paxton, C.-I. Meng, G. H. Fountain [et al.] // *Proceedings of SPIE, Ultraviolet Technology IV*. – 1993. – Iss. 1. – P. 161 – 176. – DOI: 10.1117/12.140846.
21. Brausser G. P. Aeronomy of the middle atmosphere chemistry and physics of the stratosphere and mesosphere / G. P. Brausser, S. Solomon. – 3d edition. – Netherlands : Springer, 2005. – 646 p. – ISBN 978-1-402003824-2.
22. Fast Auroral Imager (FAI) for e-POP Mission / L. Cogger, A. Howarth, A. Yau [et al.] // *Space Sci. Rev.* – 2014. – Vol. 189. – P. 15 – 25. – DOI: 10.1007/s11214-014-0107-x.
23. Obuchi Y. Initial observations of auroras by the multi-spectral auroral camera on board the Reimei satellite / Y. Obuchi., T. Sakanoi, A. Yamazaki [et al.] // *Earth Planets Space*. – 2008. – Vol. 60. – P. 827 – 835.
24. Allen C. W. Astrophysical quantities / C. W. Allen. – Moscow : Mir, 1977. – 448 p.
25. Determination of extraterrestrial solar spectral irradiance from a research aircraft / J. C. Arvesen, R. N. Griffin, P. D. Pearson // *Apple Opt.* – 1969. – Vol. 8. – № 11. – P. 2215 – 2232.
26. Yakushenkov Yu. G. Methodologies of attenuation of bright high lights in optic-electronic instruments / Yu. G. Yakushenkov. – Moscow : Radio and communication, 1981. – 180 p.
27. Variants and selection of an optical arrangement, optimization of characteristics of orbital auroral imager Aurovisor-VIS/MP and its comparison with foreign analogs / A. K. Kuzmin, M. A. Banshchikova, G. M. Kruchenitskii // *Matter of Electromechanics*. – Moscow : JSC «VNIIEМ Corporation». – 2017. – Vol. 160. – № 5. – P. 20 – 36.
28. Possibilities of remote diagnostics of auroral and aeronomic characteristics from a spacecraft using a new type of spectrophotometric imaging system / A. K. Kuzmin, K. N. Chikov // *Kosmicheskie Issledovaniya*. – 1994. – Vol. 32. – Iss.1. – P. 126 – 142.
29. Panoramic imaging monochromatic cameras for remote diagnostics of the characteristics of the ionosphere and upper atmosphere from a satellite / A. K. Kuzmin, K. N. Chikov // *Optics of atmosphere and ocean*. – 1995. – Vol. 8. – № 6. – P. 897 – 909.
30. Rayleigh scattering questions of terminology are resolved during a historical excursion through the physics of light - scattering by gas molecules / A. T. Young // *Physics Today*. – 1982. – P. 43 – 48.
31. The first results of neutral Doppler temperature observations from Mir orbital station / V. M. Balebanov, A. K. Kuzmin, Yu. N. Ponomarev [et al.] // IAF-89-178, 40th Congress of the International Astronautical Federation. – Spain, Malaga, 1989. – URL : <http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/198901.pdf> (дата обращения: 18.03.2020). – Текст: электронный.
32. Instrument for measuring the contour of the $\lambda 6300$ A [OI] line and its intensity / V. A. Gladyshev, L. I. Grafova, A. K. Kuzmin [et al.] // *Collection of articles: Designing scientific space equipment*. – Moscow : Nauka, 1977. – P. 79 – 88.
33. Auroras dancing in the night / Don Pettit : сайт. – 2004. – URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/ISSAurora> (дата обращения: 18.03.2020).
34. Applied aspects of measurements of auroral emissions and polar ionosphere characteristics by an imager «Aurovisor-VIS/MP» on perspective spacecraft «Meteor-MP» / A. K. Kuzmin, A. M. Merzliy, M. A. Banshchikova [et al.] // *Matter of Electromechanics. Proceedings of VNIIEМ for 2016. Matter of 4th Int. Conf. «Actual problems of creation space systems of remote sensing of the Earth»*. – Moscow : JSC «VNIIEМ Corporation». – 2016. – P. 325 – 341. – URL : <http://www.cosmic-rays.ru/articles/13/201702.pdf>.
35. Researches of auroral characteristics and altitude-latitude emission structures of the earth's upper atmosphere and ionosphere by means of space reconstruction of auroral images detected from the orbit perspective microsatellite / Yu. S. Drobolskiy, B. V. Kozelov, A. K. Kuzmin [et al.] // *In Proceedings Solar-terrestrial science with micro-, nano- and pico-spacecraft* ; Ed.by A.A. Petrukovich. – Moscow, 2015. – P. 77 – 90.
36. Photometrie photoelectrique globale de la lune / M. G. Rougier // *Annales de l' Observatoire de Strasbourg*. – Vol. 2. – Fasc. 3. – Orleans : Impr. Henri Tessier, 1933. – P. 203 – 339.

37. Photometric properties of lunar crater floors / J. Van Diggelen // *Rech. Astron. Obs. Utrecht.* – 1959. – Vol. 14. – № 2. – P. 1 – 114.
38. A theoretical photometric function for Lunar surface / B. W. Hapke // *Journ. Geophys. Res.* – 1963. – Vol. 8. – № 15. – P. 4571 – 4586.
39. Spectral albedo corrections to ISIS-2 satellite auroral photometer data / A. W. Harrison, C. D. Anger // *Can. Journ. Phys.* – 1977. – Vol. 55. – P. 663 – 670.
40. Earth albedo effects in satellite auroral photometry / A. W. Harrison, C. D. Anger // *Can. Journ. Phys.* – 1977. – Vol. 55. – P. 929 – 936.
41. Rocket observations of auroral albedo over snow / J. S. Murphree, I. W. H. Robertson, C. D. Anger [et al.] // *Appl. Opt.* – 1978. – Vol. 17. – Iss. 12. – P. 1849 – 1850.
42. Influence of ground scattering on satellite auroral observations / P. B. Hays, C. D. Anger // *Appl. Opt.* – 1978. – Vol. 17. – № 12. – P. 1898 – 1904.
43. Influence of atmospheric absorption on satellite auroral observations / V. J. Abreu, P. B. Hays // *Appl. Opt.* – 1979. – Vol. 18. – № 19. – P. 3324 – 3327.
44. An empirical method for determining albedo contribution to satellite photometer data / J. S. Murphree, C. D. Anger // *Remote Sensing of Environment.* – 1980. – Vol. 9. – P. 183 – 187.
45. Parallax and atmospheric scattering effects on the inversion of satellite auroral observations / V. J. Abreu, P. B. Hays // *Appl. Opt.* – 1981. – Vol. 20. – № 13. – P. 2203 – 2209.
46. Kuzmin A. K. The effect of the reflection and scattering of light by the earth's surface on the characteristics of the intensity profiles of auroras using satellite data as examples from Aureol-3 and IK-Bulgaria-1300 spacecraft / A. K. Kuzmin // *Preprint Pr-1552 Space Research Institute of RAS.* – 1989. – 37 p.
47. Influence of coupling along magnetic field of the elements of auroral emissions images to correctness of definitions of E_{av} of electrons precipitation / M. A. Banshchikova, I. N. Chuvashov, A. K. Kuzmin [et al.] // *Russian Physics Journal.* – 2018. – Vol. 61. – № 1. – P. 150 – 156.
48. Tomography-like retrieval of auroral volume emission ratios for the 31 January 2008 *Hotel* Payload 2 event / C.-F. Enell, B. Gustavsson, B. U. E. Brandstrom [et al.] // *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.* – 2012. – Vol. 2. – P. 1 – 21.
49. Advantages of observation of auroral structures from two orbits and possibilities for reconstruction of 3D-emission distributions received from different positions of imagers / A. K. Kuzmin, M. A. Banshchikova, I. N. Chuvashov [et al.] // *Matter of Electromechanics.* – Moscow : JSC «VNIEM Corporation», 2017. – Vol. 158. – № 3 – P. 7 – 21.
50. Methodology of diagnostics of intensity distributions of auroral emissions from the orbits simultaneously with measurements of plasma characteristics and its's role in research and monitoring of the propagation conditions of navigation systems in the polar ionosphere / A. K. Kuzmin, O. L. Vaisberg, S. D. Shuvalov [et al.] // *Matter of Electromechanics.* – Moscow : JSC «VNIEM Corporation», 2019. – Vol. 169. – № 2 – P. 9 – 25.
51. Huffman R. E. Atmospheric ultraviolet remote sensing / R. E. Huffman. – Boston ; San Diego ; New York ; London ; Sydney ; Tokyo ; Toronto : Academic Press, INC, 1992. – 317 p.
52. Absorption coefficients of oxygen in vacuum ultraviolet / K. Watanabe, E. C. Y. Inn, M. Zelikoff // *Journ. Chem. Phys.* – 1953. – Vol. 21. – № 6. – P. 1023 – 1030. – DOI : 10.1063/1.1599104.
53. Scientific satellite KYOKKO (EXOS-A) / K. Hirao, T. Itoh // *Solar Terr. Env. Res.* – 1978. – Vol. 2. – P. 148 – 152.
54. Imaging results from Dynamics Explorer 1 / L. A. Frank, J. D. Craven // *Rev. Geophys.* – 1988. – Vol. 26. – P. 249 – 283.
55. Ultraviolet imaging of sunlit auroras from HILAT / R. E. Huffman, C.-I. Meng // *John Hopkins, APL Technological Digest.* – 1984. – Vol. 5. – № 2. – P. 138 – 142.
56. An ultraviolet auroral imager for the Viking spacecraft / C. D. Anger, S. K. Babey, A. L. Broadfoot // *Geophys. Res. Lett.* – 1987. – Vol. 14. – № 4. – P. 387 – 390.
57. The UVISI instrument / K. J. Heffernan, J. E. Heiss, J. D. Boldt [et al.] // *John Hopkins, APL Technical Digest.* – 1996. – Vol. 17. – № 2. – P. 198 – 214.
58. MSX-A Multi-Use Space Experiment. / L. J. Paxton, C.-I. Meng, D. E. Anderson [et al.] // *Johns Hopkins, APL Tech. Dig.* – 1996. – Vol. 17. – № 1. – P. 19 – 34.
59. Studies of auroral dynamics by Aurora-TV on the Akebono (EXOS-D) satellite / T. Oguti, E. Kaneda, M. Ejiri [et al.] // *Journ. Geomagn. Geoelectr.* – 1990. – Vol. 42. – Iss. 4. – P. 555 – 564. – DOI : 10.5636/j.gg.42.555.
60. The Freja ultraviolet imager / J. S. Murphree, R. A. King, T. Payne [et al.] // *Space Sci. Reviews.* – 1994. – Vol. 70. – P. 421 – 446.
61. The Visible Imaging System (VIS) for the Polar Spacecraft / L. A. Frank, J. B. Sigwarth, J. D. Craven [et al.] // *Space Sci. Rev.* – 1995. – Vol. 71. – Iss. 1 – 4. – P. 297 – 328.
62. Auroral observations from the POLAR Ultraviolet Imager (UVI) / G. A. Germany, J. F. Spann, G. K. Parks [et al.] // *Geospace Mass and Energy Flow: Results the International Solar-terrestrial Physics Program. Geophys. Monogr. Ser. ; ed. by J. L. Horwitz, D. L. Gallagher and W. K. Peterson.* – Washington : AGU, D.C., 1998. – Vol. 104 – P. 149 – 160.
63. Ultraviolet auroral imager (UVAI) / L. L. Cogger, D. Hearn, J. S. Murphree [et al.] // *Interball mission and payload ; ed. By Yu. I. Galperin, T. Muliarchik, J. P. Thouvenin ; Russian Space Agency, Space Research Institute, and French Space Agency.* – 1995. – P. 382 – 400.
64. UV-spectrometer in Interball project to map ionospheric characteristics in the magnetic field line footprint from the satellite Auroral probe / A. K. Kuzmin, T. V. Fomicheva, A. V. Kondabarov [et al.] // *Interball Mission and Payload.* – CNES-IKI-RSA. – 1995. – P. 401 – 407.

65. The ultraviolet spectrometer UVSIPS onboard the Auroral Probe satellite: an example of simultaneous measurements of intensity of the auroral OI $\lambda 1304 \text{ \AA}$ and $\lambda 1356 \text{ \AA}$ emissions, and particle fluxes / A. K. Kuzmin, Yu. I. Galperin, F. K. Shuiskaya [et al.] // *Cosmic Research*. – 1998. – Vol. 36. – № 5. – P. 593 – 603.
66. Summary of quantitative interpretation of IMAGE Far ultraviolet auroral data / H. U. Frey, S. B. Mende, T. J. Immel [et al.] // *Space Science Reviews*. – 2003. – Vol. 109. – P. 255 – 283.
67. IMAGE FUV and in situ FAST particle observations of substorm aurorae / S. B. Mende, C. W. Carlson, H. U. Frey [et al.] // *Journ. Geophys. Res.* – 2003 – Vol. 108. – № A4, 8010. – P. COA 11 - 1 – 11 - 13. – DOI : 10.1029/2002JA009413.
68. Observing the magnetosphere through global auroral imaging: 1. Observables / S. B. Mende // *Journ. Geophys. Res.* – 2016. – Vol. 121. – P. 10623 – 10637. – DOI : 10.1002/2016/A022558.
69. Wide-field auroral imager onboard the Fengyun satellite. / X.-X. Zhang, B. Chen, F. He [et al.] // *Light: Science & Applications*. – 2019. – Vol. 8. – № 47. – P. 1 – 12. – DOI : 10.1038/s41377-019-0157-7.
70. Kuzmin A. K. Remote spectrophotometric diagnostics of the characteristics of the auroral ionosphere from the orbits of perspective Russian spacecrafts / A. K. Kuzmin / Preprint Pr-2161 Space Research Institute of RAS. – 2011. – 49 p. – URL : [iki.rssi.ru>books/2011kuzmin.pdf](http://iki.rssi.ru/books/2011kuzmin.pdf).
71. Interpretation of Dynamics Explorer far UV images of the quiet time thermosphere / R. R. Meier, R. Cox, D. J. Strickland [et al.] // *Journ. Geophys. Res.* – 1995. – Vol. 100. – № A4. – P. 5777 – 5794. – DOI : 10.1029/94JA02679.
72. Raab W. SMILE: A joint ESA/CAS mission to investigate the interaction between the solar wind and Earth's magnetosphere. / W. Raab, G. Branduardi-Raymont, C. Wang [et al.] // *SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation*. – 2016. – Vol. 9905. – 9 p. – DOI : 10.1117/12.2331984.
73. A model of the Lyman- α line profile in the proton aurora / J.-C. Gerard, B. Hubert, D. V. Bisikalo // *Journ. Geophys. Res.* – 2000. – Vol. 105. – № A7. – P. 15795 – 15805.
74. Remote optical diagnostics of the condition of the polar ionosphere in different range of spectrum based on observation data of orbital auroral imaging. Part 1 (VUV-range) / A. K. Kuzmin, A. M. Merzliy // *Matter of Electromechanics*. – Moscow : JSC «VNIIEP Corporation», 2018. – Vol. 167. – № 6 – P. 9 – 41.
75. Calculations of Lyman alfa absorption in the mesosphere / J. L. Lean // *Atmospheric ozone ; Zerebos C.S., and Ghasi A. (eds.)*. – Dordrecht : Springer, 1985. – P. 697 – 701. – DOI : 10.1007/978-94-009-5313-0.
76. Observation of water vapour in the middle atmosphere / S. Lossow // *Stockholm Univ. Akademisk Avhandling*. – 2008. – 63 p.
77. Observation of the proton aurora with IMAGE FUV imager and simultaneous ion flux in situ measurements / J.-C. Gerard, B. Hubert, M. Meurant M. [et al.] // *Journ. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – № A12. – P. 28939 – 28948.
78. Far ultraviolet imaging from the IMAGE spacecraft: 3. Spectral imaging of Lyman- α and OI 135.6 nm / S. B. Mende, H. Heeterks, H. U. Frey // *Space Science Reviews*. – 2000. – Vol. 91. – P. 287 – 318.
79. Cusp aurora dependence on interplanetary magnetic field B_z / S. A. Fuselier, H. U. Frey, K. J. Trattner [et al.] // *Journ. Geophys. Res.* – 2002. – Vol. 107. – № A7, 1111. – P. SIA 6 – 10.
80. URL: pluto.space.swri.edu/image/FUV/images2.html (дата обращения: 2016 год).
81. A survey of large-scale variations in thermospheric oxygen column density with magnetic activity as inferred from observations of the FUV dayglow / A. C. Nikolas, J. D. Craven, L. A. Frank // *Journal Geophys. Res.* – 1997. – Vol. 102. – № A3. – P. 4493 – 4510.
82. An empirical model of the FUV dayglow from DE-1 images / T. Immel, J. Craven, A. Nicholas // *Journ. Atmos. Solar. Ter. Phys.* – 2000. – Vol. 62. – P. 42 – 64.
83. Correcting and refining dayglow technology for dayside orbital auroral FUV-images from data of UVI (POLAR) / D. G. Shadrin, A. K. Kuzmin, A. M. Merzlyi // Rep. of student section of COSPAR-2014, Moscow State University. – 2014. – 9 p.
84. Global O/N₂ derived from DE-1 FUV dayglow data: technique and examples from two storm periods / D. J. Strickland, R. J. Cox, R. R. Meier [et al.] // *Journ. Geophys. Res.* – 1998. – Vol. 104. – P. 4251 – 4266.
85. Development of advanced optical system Aurovisor-VUV as part of high- and low-apogee satellite constellations for Earth ionospheric monitoring // Space research Institute of RAS – JSC NPP Geofizika-Kosmos. Preliminary Design. – Space research Institute of RAS. – 2013. – 385 p.
86. The Earth ionosphere-plasma physics and electrodynamics // *Int. Geophys ; M. C. Kelley (ed.)*. – California, San Diego : Academic Press, 2009. – 576 p.
87. Kendall E. Decameter structure in heater-induced airglow at the High frequency Active Auroral Research Program facility / E. Kendall, R. Marshall, R. T. Parris [et al.] // *Journ. Geophys. Res. Space*. – 2010. – Vol. 115. – A08306. – P. 1 – 11. – DOI : 10.1029/2009JA015043.
88. Earth at night, our planet in brilliant darkness // NASA. NP-2019-07-2739-HQ. – 2019. – 178 p.
89. Intercalibration of airglow observatories with Atmosphere Explorer Satellite / M. R. Torr, P. B. Hays, B. C. Kennedy [et al.] // *Planet. Space Sci.* – 1977. – Vol. 25. – P. 173 – 184.

*Alexander Konstantinovich Kuzmin, Candidate of Physics and Mathematics (Ph. D.),
Chief Specialist, tel.: +7(495) 333-20-00, e-mail: alkkuzmin@mail.ru.
(Space Research Institute of RAS).*