**Особенности газо-пылевых образований в верхней атмосфере, связанных с выбросами продуктов сгорания ракетных двигателей.**

В работе представлены результаты исследования оптических явлений в верхней атмосфере сопровождающих запуски ракет и связанных с особенностями структуры и динамики газо-пылевых образований в верхней атмосфере. Наиболее интенсивные, крупномасштабные и динамичные явления обусловлены особыми режимами работы ракетных двигателей, в частности, разделение ступеней и отсечкой тяги твердотопливных ракетных двигателей и физическими условиями в области пролета ракеты.

Yu.V.Platov, G.N.Kulikova, S.A.Chernous. –The features of gas-dust formations in the upper atmosphere connected with rocket launches. The result of investigation of optical phenomena in the upper atmosphere connected with rocket launches is presented. This phenomena are caused by scattering of sunlight on gas-dust formation of rocket exhaust having certain features a structure and dynamics. The most intensive, large-scale and dynamic phenomena connect with special modes of engines operation, in particular, with separations of stages and solid fuel engines switch off as well as physical conditions in the upper atmosphere.

Запуски мощных ракет и работа двигательных установок космических аппаратов сопровождаются выбросами в околоземную среду продуктов сгорания сложного состава, содержащих как газовую компоненту, так и дисперсные образования, что приводит к развитию газо-пылевых облаков, обладающих определенными геометрическими и динамическими особенностями. Развитие таких искусственных образований в верхней атмосфере сопровождается достаточно необычными оптическими явлениями, обусловленными рассеянием солнечного света на продуктах сгорания и их взаимодействием с компонентами верхней атмосферы [1 - 5].

Исследование этих оптических явлений позволяет получить информацию об антропогенном загрязнении околоземного космического пространства, процессах взаимодействия загрязняющих выбросов с окружающей средой, динамических процессах в верхней атмосфере.

При проведении патрульных наблюдений полярных сияний на камерах полного обзора неба в северных регионах Советского союза в течение многих лет регистрировались оптические явления в верхней атмосфере, сопровождающие запуски ракет, производимые с космодрома Плесецк и испытательных ракетных полигонов. Оптические эффекты, связанные с работой ракетных двигателей, были зарегистрированы в виде треков и диффузных крупномасштабных образований на панорамных фотографических и спектральных камерах. Кроме того, для получения данных об их развитии с достаточно высоким пространственным и временным разрешением был проведен ряд комплексных целенаправленных наблюдения таких явлений. Всего было зарегистрировано более пятидесяти оптических явлений, сопровождающих запуски ракет. В результате анализа данных наблюдений отдельных наиболее интересных явлений были получены оценки характерных структурных и динамических параметров крупномасштабных образований в верхней атмосфере, развивающихся при пролете ракет с работающим двигателем. В частности, было показано, что характерные скорости расширения газо-пылевых облаков образованных ракетными выхлопами составляют 1-2 км/сек, а их размеры могут достигать нескольких сотен километров в поперечнике. Основным механизмом свечения таких искусственных образований является рассеяние солнечного излучения на дисперсной компоненте продуктов сгорания. Взаимодействие газовой фазы продуктов сгорания с веществом атмосферы приводит к изменению скоростей и направлений ионно-молекулярных реакций, что также может приводить к появлению аномалий в собственном свечении верхней атмосферы [6 - 9].

Статистический анализ оптических явлений, связанных с запусками и маневрами ракетно-космической техники позволяет сделать общие оценки пространственно-временных масштабов и заключения о физических механизмах развития явлений.

Совокупность крупномасштабных оптических явлений в средней и верхней атмосфере, сопровождающих запуски ракет можно, с некоторой долей условности, разделить не несколько основных типов.

1). Явления, развивающиеся в области стратосферы на высотах 40-50 км, связанные с выбросами остатков компонент топлива после отделения первых ступеней ракет носителей. Характерными особенностями развития таких образований являются: относительно небольшая скорость их расширения, определяемая диффузией и ветровым разносом; дрейфовые перемещения под действием стратосферных ветров; продолжительное время жизни; относительно высокая яркость, позволяющая проводить оптические наблюдения таких образований, как в сумеречное, так и в дневное время суток.

Указанные особенности определяются в основном физическими условиями в области развития этих явлений, а также составом и количеством инжектируемого в атмосферу вещества. На рис.1 приведена последовательность фотографий, иллюстрирующих развитие искусственного облака, образованного в результате слива компонент топлива жидкостной ракеты-носителя на высоте ~ 45 км. Общая масса выброшенного вещества составляла около 0,5 тонны. Значимость исследования такого типа явлений в первую очередь связана с необходимостью оценки степени возможного загрязнения окружающей среды.

2). Оптические явления, развивающиеся при прохождении ракеты носителя областей атмосферы вблизи турбопаузы на высотах 100-120 км.

Такие явления наблюдаются в сумеречных условиях, имеют достаточно большую яркость (часто наблюдаются визуально с расстояний до 1000 км) и определяются рассеянием солнечного света на расширяющемся облаке продуктов сгорания. Скорости расширения таких образований составляют 1-2 км/сек, характерный поперечный размер 100-200 км. Локализация таких явлений на высотах 100-120 км определяется условиями торможения дисперсной компоненты продуктов сгорания. Потеря импульса относительно крупной частицы при ее движении в верхней атмосфере описывается уравнением m dt r2 V2 dt, где m r3 0 масса частицы (0 - плотность частицы), r и V ее радиус и скорость, а плотность атмосферы. Нетрудно найти изменение скорости частицы со временем

VV0 V0 t 4 0 r и характерную «длину торможения», т.е. расстояние, на котором скорость частицы уменьшается в e раз

L 0 r lnt, где 0 r V0, а t=1.

На меньших высотах след ракеты имеет относительно небольшой поперечный размер. На высотах более 120 км дисперсная компонента продуктов сгорания практически свободно разлетается и яркость пылевого облака незначительна, а интенсивность солнечного света, рассеянного на газовой компоненте продуктов сгорания мала по сравнению с рассеянием на дисперсной фазе. В качестве примера на Рис.3 показано развитие газо-пылевого облака, образовавшегося во время запуска ИСЗ «Молния» на высоте 100-130 км.

На больших высотах при работе двигателей ракет-носителей и двигателей космических аппаратов также развиваются оптические явления, обусловленные рассеянием света на дисперсной фазе продуктов сгорания. Однако из-за быстрого расширения продуктов сгорания и относительно небольшого секундного расхода топлива двигателей последних ступеней ракет и космических аппаратов интенсивность свечения этих образований на несколько порядков меньше [1, 3].

3). Наиболее крупномасштабные динамические явления, развивающиеся на высотах более 150 км, связанные с особыми режимами работы ракетных двигателей. В основном, эти эффекты сопровождают процесс выключения твердотопливных ракетных двигателей, после выводя ракеты на расчетную траекторию. Этот процесс связан с резким сбросом давления в камере сгорания, что приводит к практически мгновенному выбросу в атмосферу большого количества различных компонент топлива и продуктов сгорания. Нетрудно оценить, что количество инжектированного таким образом вещества для мощных ракет может составлять сотни килограмм, причем значительная доля выброса находится в дисперсном состоянии из-за специфического состава топлива и неполного процесса сгорания. Масса вещества, выбрасываемого в атмосферу при сбросе давления в ракете с твердотопливным двигателем определяется давлением в камере сгорания – Р, ее объемом – V, температурой – Т и средней молярной массой продуктов горения - : М = Р V / R Т. Для характерных значений Р=10 Мпс, V= 20 м 3, Т= 3000 К, = 35 [ 11 ]. Такие искусственные «облака» могут подниматься до высот более 700 км, скорость их расширения составляет 2-3 км/сек, а их поперечный размер в отдельных случаях превышает 1500 км [ 5 ]. Время жизни таких образований определяется в основном временем оседания его компонент под действие силы тяжести до ~ 100 км, т.е. до границы турбопаузы. Явления такого класса многократно наблюдались не только в России, но и в США и на Канарских островах, при запусках ракет морского базирования. Интересно отметить, что возможность наблюдения таких оптических явлений на огромных территориях, охватывающих целые регионы и даже страны, их масштабность, необычность, отсутствие природных аналогов часто приводили даже к сенсационным сообщениям в печати о наблюдениях неопознанных летающих объектах (НЛО) [12, 13]. На рис. 4. приведены снимки, демонстрирующие развитие одного из таких явлений.

Статистический анализ совокупности полученных данных позволяет заключить, что динамические и морфологические особенности искусственных образований в верхней атмосфере, связанных с запусками ракет в целом определяются соотношением газовой и дисперсной составляющих. Ниже приведены характеристики двух основных типов оптических явлений наблюдаемых в верхней атмосфере при запусках ракет.

А). Долгоживущие светящиеся образования

Высота развития облака - 80 - 150 км.

Характерные размеры - 100 км.

Время жизни образования0.1 - 6 часов и более.

Наблюдаемый спектр - дискретные эмиссии.

Регистрируемые яркостидо 10-6 сб.

Состав облака - газовая фазы (молекулярная компонента выбросов ракетных двигателей)

Физические механизм свечения - взаимодействие продуктов сгорания ракетных двигателей с компонентами верхней атмосферы и резонансное рассеяние солнечного излучения в качестве превалирующего механизма.

Динамика развития облака определяется процессами молекулярной диффузии [ 14 ].

Б) Динамические образования с коротким временем жизни

Высота развития облака - 100 - 700 км.

Характерные размеры - 100 - 1000 км.

Время жизни образования1 – 10 минут.

Наблюдаемый спектр - непрерывный.

Регистрируемые яркостидо 10 –4 сб.

Состав облака - дисперсная компонента выбросов ракетных двигателей с характерными размерами частиц 0.1 – 10 мкм

Физический механизм свечение - рассеяние солнечного света.

Динамика развития облака - разлет дисперсной фазы компонент ракетного выброса.

При регистрации оптических «ракетных» явлений в той или иной мере, как правило, наблюдаются оба механизма свечения. На Рис. 4, например, отчетливо видно, что после окончания динамической фазы развития явления, долгое время (до нескольких часов после начала развития явления, во время наблюдений - до восхода Солнца) наблюдалось относительно слабое диффузное свечение в месте отделения ступени ракеты-носителя, связанное с эмиссиями газовой компоненты выброса.

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос об образовании дисперсной фазы в ракетном выхлопе. Во-первых, достаточно крупные частицы с размерами до нескольких микрон образуются в результате конденсации паров воды при резком расширении продуктов сгорания [1, 15, 16]. В этих работах было показано, что для объяснения наблюдавшихся явлений достаточно допустить степень конденсации 5-10% водяных паров в факеле ракетных двигателей с образованием кристаллов льда с характерными размерами 100 А. Этот механизм представляется весьма интересным, поскольку является универсальным как для жидкостных, так и для твердотопливных ракет. Кроме того, он не только объясняет динамику развития «ракетных облаков» в верхней атмосфере, но и крупномасштабность явлений, связанных с взаимодействием продуктов сгорания с веществом атмосферы, например в процессе образования ионосферных дыр с пониженной плотностью электронов. Действительно, разлет «ледяной» компоненты ракетного выброса должен приводить к быстрой транспортировке возмущающего фактора на большие расстояния, а возгонка льда в процессе разлета переводит его в «активное» состояние для участия в физико-химических процессах. Однако подробное рассмотрение механизма конденсации-переноса-возгонки с учетом термодинамических процессов пока не проведено.

Образование дисперсной компоненты при отсечке тяги твердотопливных двигателей и сливе компонент топлива после разделения ступеней особых проблем не вызывает, однако, необходимо оценить характерное распределение твердых частиц по размерам для корректной интерпретации результатов наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Международного научно-технического центра, проект № 1328-99.

**Список литературы**

R.T.V.Kung, L.Cianciolo и J.A.Myer, Solar Scattering from Condensation in Apollo Translunar Injection Plume// AIAA Journal. 1975. v.13. №4. P. 432-437

Платов Ю.В., Фешин Б.А., Черноус С.А. Аномальные явления факты и вымысел// Наука в СССР. 1989. №. 5. С. 14-22.

Chemouss S. A., Platov Y. V. Optical Effects of Exhaust Products of a Rocket Launches," Proceedings of the 19th European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, edited by A. Steen, IRF Scientific Rept. 209, Swedish Inst. of Space Physics, Kiruna, Sweden. 1992. P. 501-505.

Ветчинкин Н.В., Границкий Л.В., Платов Ю.В., Шейхет А.И. Оптические явления в околоземной среде при работе двигательных установок ракет и спутников. I. Наземные и спутниковые наблюдения искусственных образований при запусках ракет// Космические исследования. 1993. Т.31. Вып. 1. С. 93-100.

Tagirov, V. R., Arinin, V. A., Brändström U., Pajunpää A., Klimenko V.V. Atmospheric Optical Phenomena Caused by Powerful Rocket Launches// Journal of Spacecraft and Rockets. 2000. V. 37. No. 6. P. 812-821/

Mendillo, M., Hawkins, G. S., and Klobuchar, J. A. A Sudden Vanishing of the Ionospheric F Region due to the Launch of Skylab// Journal of Geophysical Research. 1975. V. 80. No. 16. P. 2217-2228.

Карлов В.Д., Козлов С.И., Ткачев Г.Н. Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при пролете ракеты с работающим двигателем (обзор)// Космические исследования. 1980. Т. 18, Вып. 2., С. 266-277.

Красовский В.И., Рапопорт З.Ц., Семенов А.И. Новые эмиссии в верхней атмосфере как результат искусственного воздействия на ионосферу // Космические исследования. 1982. Т. 20. Вып. 2. С. 237-243.

Платов Ю.В., Семенов А.И., Шефов Н.Н. Увеличение интенсивности эмиссии гидроксила в мезопаузе, связанное с выбросами продуктов сгорания ракетных двигателей // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. В печати.

Аллен К.У.Астрофизические величины. 1977. М. Мир.

Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду. Справочное пособие. М.: Издательство «Анкил». 2000. 640 с.

Oberg J.E. The Great Soviet UFO Coverup// Ufo Journal (USPS 002-970) 103 Oldtowne Rd., Seguin, Texas 78155. 1982. October. P. 1-10.

Платов Ю.В., Рубцов В.В. НЛО и современная наука. 1991. М. Наука.

Смирнова Н.В., Козлов С.И. Козик Е.А. Влияние запусков твердотопливных ракет на ионосферу Земли. 2. Области Е, E-F// Космические исследования. 1995. Т. 33. Вып. 2. С 115.

Wu J.C. Possible Water Vapor Condensation in Rocket Exhaust Plumes// AIAA Journa., 1975. V. 13. № 6. P. 797-802

Pike C.P., Knecht R.A., Viereck R.A., Murad E., Kofsky I.L., Maris M.A., Tran N.H., Ashley G., Twist L., Gersh M.E., Elgin J.B., Berk A., Stair A.T., Bagian J.P. and Buchli J.F. Release of Liquid Water from the Space Shuttle// GRL. V. 1. N. 2. P. 139-142.