

А.Н. Дмитриев, А.А. Плаксин, А.И. Семенов, Н.Н. Шефов

ТЕХНОГЕННАЯ СТИМУЛЯЦИЯ СВЕЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Рассмотрены процессы возникновения излучения верхней атмосферы, образующегося вследствие искусственных воздействий, как в виде распыления веществ с заранее заданными свойствами, так и в результате выбросов ракет. Даны количественные оценки содержания инородных веществ, обеспечивающих регистрируемые интенсивности излучения. Показана экологическая важность исследований и необходимость контроля за развитием изучаемых процессов.

В настоящее время проблемы глобальной экологии становятся актуальными при исследовании верхних слоев атмосферы Земли. В результате различного рода технической деятельности околоземное космическое пространство — атмосфера, ионосфера, магнитосфера — подвергается загрязнению инородными компонентами техногенного происхождения. Эта активность уже имеет общепланетарные последствия в виде уменьшения общего содержания озона [1], глобального потепления [2], семидневной пульсации геомагнитного поля [3]. Распыление в верхней атмосфере различных веществ сказывается на характере светимости верхней атмосферы [4, 5]. По мере роста числа и масштабов воздействий на геокосмос возрастает необходимость в количественной оценке реагентов, способствующих свечению. Важность этой задачи становится все более очевидной с увеличением количества пусков сверхмощных носителей типа «Энергия» и «Шаттл» [6, 7]. Кроме того, картирование свечений в верхней атмосфере связано с задачами обнаружения энергоактивных зон Земли, в которых отмечается сейсмическая активность [8, 9].

В данной статье приводятся некоторые оценки отклика собственного излучения верхней атмосферы в процессах флуоресценции, рассеяния света и хемилуминесценции на искусственные воздействия и даны краткие экологические интерпретации.

1. Многие металлы, распыленные в верхней атмосфере, могут быть легко обнаружены по своим резонансным эмиссиям, возбуждаемым излучением Солнца. Типичным примером является натрий, постоянно присутствующий на высотах около 90–100 км в результате сгорания микрометеоритов [10].

Независимо от средств технической инъекции химических элементов, обуславливающих флуоресценцию в солнечном излучении, количественная оценка вещества, содержащегося в светящейся области атмосферы, может быть выполнена по формуле:

$$I = m_X \cdot g_X / M_X \cdot m_H \cdot S, \quad (1)$$

где I — число фотонов, излучаемых данным веществом в столбе атмосферы сечением 1 см^2 в секунду за счет флуоресценции в солнечном излучении, m_X — общая масса флуоресцирующего вещества, г; g_X — число фотонов солнечного излучения, рассеиваемых за 1 с одним атомом (молекулой) данного вещества; M_X — атомная или молекулярная масса; m_H — вес атома водорода, г; S — площадь флуоресцирующего пятна, см^2 . Угловые или линейные размеры устанавливаются визуально и, перейдя от площади пятна (1) к его диаметру D (см), получим

$$m_X = \pi M_X \cdot m_H \cdot D^2 I / 4 g_X. \quad (2)$$

Различные вещества, распыленные в атмосфере, неоднократно регистрировались — литий, алюминий, натрий, окись алюминия и ряд других [4, 10–13].

В табл. 1 дана информация о длинах волн излучения, вычисленных значениях g , коэффициентах поглощения σ в линиях излучения для $T = 240^\circ\text{K}$, типичной для высот 90–100 км, скорости фотоионизации j солнечным излучением за пределами атмосферы. Данные о входящих в табл. 1 величинах — вероятностях переходов, сечениях фотоионизации, потока солнечного излучения взяты из [14–16]. Кроме того, в табл. 1 указаны количества распыленного вещества, создающего для начальных моментов свечения интенсивность излучения $I = 10^{11} \text{ фотон} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} = 100 \text{ килорэлей}$, что обеспечивает устойчивое цветоразличие для тех случаев, когда излучение соответствует видимой части спектра. При этом размер облака D принят равным 10 км. Там же приведены средние концентрации X в предположении, что высота однородной атмосферы $H = 6 \cdot 10^5 \text{ см}$. Следует отметить, что при таких заданных условиях в некоторых случаях, как это следует из табл. 1, оптическая толщина вдоль вертикали может превышать единицу.

Характеристики флуоресцирующих элементов

Излучатель	Атомная масса, M	Длина волны λ , мкм	τ^{-1} , с^{-1}	σ , см^2	j , с^{-1}	m , г	$[X]$, см^{-3}
Li	7	0,6708	15,5	6,7(−12)	2,6(−5)	0,06	1,1(4)
Na	23	0,589	0,80	1,5(−11)	1,8(−5)	3,7	2,1(5)
Mg	24	0,2852	0,056	1,8(−11)	3,7(−7)	56	3,0(6)
Mg ⁺	24	0,280	0,057	6,0(−12)	3,8(−9)	55	3,0(6)
Al	27	0,3962	0,24	1,2(−12)	4 (−4)	15	7,0(5)
		0,3944	0,21	1,2(−12)		17	8,0(5)
K	39	0,7699	0,67	1,3(−11)	2,7(−6)	7,6	2,5(5)
		0,4045	0,04	1,1(−13)		130	4,2(6)
Ca	40	0,4227	6,7	3,6(−11)	6,5(−5)	0,78	2,5(4)
Ca ⁺	40	0,3968	0,15	6,5(−12)	1 (−8)	35	1,1(6)
		0,3934	0,30	1,3(−11)		17	5,6(5)
Fe	56	0,3860	0,034	3,9(−13)	5 (−7)	210	4,9(6)
		0,3720	0,077	1,3(−12)		95	2,2(6)
Sr	88	0,4607	2,4	8,7(−12)	2,2(−4)	4,8	7,0(4)
Sr ⁺	88	0,4216	0,32	1,5(−12)	4,0(−8)	36	5,2(5)
		0,4078	0,44	2,3(−12)		26	3,8(5)
Cs	133	0,8944	9,7	2,6(−11)	4,0(−4)	1,8	1,7(4)
		0,8521	27	7,3(−11)		0,6	6,2(3)
		0,4593	0,25	1,1(−12)		69	6,7(5)
		0,4555	0,11	5,1(−13)		160	1,5(6)
Ba	138	0,5535	20	6,8(−11)	6,1(−4)	0,9	8,4(3)
Ba ⁺	138	0,4934	3,6	1,5(−11)	1,1(−7)	5	4,6(4)
		0,4554	6	3,0(−11)		3	2,8(4)
Eu	152	0,4661	1,8	8,1(−12)	5,0(−4)	11	9,3(4)
		0,4627	2,0	9,6(−12)		10	8,4(4)
		0,4594	2,3	1,1(−11)		8,6	7,3(4)
Eu ⁺	152	0,4205	0,56	3,6(−12)	1 (−7)	35	3,0(5)
		0,4130	0,31	2,0(−12)		64	5,4(5)
H ₂ O	18				1 (−5)	2900	1,9(8)
H ₂ O ⁺	18	0,6158	0,06	8,7(−14)	1 (−5)	39	2,5(6)
AlO	43	0,4650	0,04	1,2(−13)	1,4(−7)	140	4,2(6)

Длительность флуоресценции, обеспечивающей достаточную яркость свечения, обуславливается как процессами распыливания облака, вследствие диффузии и ветровых движений, так и процессами ионизации излучающих компонент, которые приводят к убыванию их концентрации. Ионизация происходит за счет реакций перезарядки с ионами атмосферы: $X+M^+ \rightarrow X^++M$. Типичные коэффициенты скорости имеют значения приблизительно $2 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [10]. Содержание ионов M^+ на высотах около 250 км в сумеречное время, когда проводятся такие эксперименты, составляет около $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, а на высотах вблизи 100 км $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$. Это означает, что постоянные времени такого процесса будут равны 10^3 и 10^4 с соответственно.

Одновременно с этим фотоионизация, диффузия и перенос излучения определяют постоянную времени существования атомов в заданном объеме атмосферы

$$\tau = 1/\alpha[M^+] + j + D.$$

Поэтому скорость затухания свечения с учетом высоты распыленного облака и изменения его размеров позволяет получить сведения о происходящих процессах.

Процесс рекомбинации ионов металлов X^+ происходит в основном через реакции тройных соударений с образованием молекулярных ионов, последующие реакции которых приводят снова к ионам, так как реакция рекомбинации $X^+ + e \rightarrow X + hv$ медленная и имеет коэффициент скорости $\beta = 1 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [10]. Поэтому отношение

$$[X^+]/[X] = ([M^+] + j + D) / \beta \cdot n_e$$

составляет в большинстве случаев $10^2 + 10^4$ и его можно измерять экспериментально, т.к. многие металлы имеют флуоресцирующие ионы.

2. В области минимума температуры вблизи мезопаузы (высота около 90 км) иногда при определенных условиях (наличие водяного пара, ядер конденсации) появляются необычно светящиеся облака. Облака имеют тонкую структуру, состоящую из кристалликов льда, и серебристо-голубоватый цвет. Это самые высокие облака в атмосфере Земли, получившие за свой цвет название серебристых [17, 18]. Естественная концентрация водяного пара на этих высотах составляет $10^8 - 10^9 \text{ см}^{-3}$. При таких концентрациях образование мелких ледяных кристалликов при температуре выше 150°K не происходит. Для того, чтобы при температурных, типичных для области мезопаузы (как правило выше 150°K), возник процесс конденсации водяного пара в кристаллы льда, необходима значительно большая концентрация водяного пара.

В табл. 2 на основе модели атмосферы СИРА-72 [19] приведено распределение температуры по высоте в области мезопаузы для различных сезонов года. Там же показаны соответствующие давления насыщенных паров воды над льдом (мм рт. ст.), рассчитанные в соответствии с концентрациями молекул воды, необходимыми для ее кристаллизации.

Из табл. 2 видно, что в нормальных условиях серебристые облака могут образовываться только в летний период года, когда температура в мезосфере понижается до 150°K и ниже. Для других температур необходимо большее количество воды, значительно превышающее ее естественное содержание. Кроме того известно, что даже при наличии перенасыщения не весь водяной пар переходит в лед (одна из возможных причин этого — недостаток ядер конденсации) [17, 18].

Таблица 2

Концентрации паров воды, необходимые для конденсации в условиях мезопаузы

Высота, км	Зима			Равноденствие			Лето		
	T, K	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ мм рт. ст.	H_2O , см^{-3}	T, K	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ мм рт. ст.	H_2O , см^{-3}	T, K	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ мм рт. ст.	H_2O , см^{-3}
70	227	4,46(−2)	3,4(15)	222	2,5 (−2)	1,9 (15)	217	1,4 (−2)	1,06(15)
80	212	7,08(−3)	5,4(14)	198	1,0 (−3)	7,6 (13)	164	1,26(−6)	9,6 (10)
90	205	2,6 (−3)	1,97(14)	187	1,5 (−4)	1,14(13)	150	3,16(−8)	2,4 (9)
100	213	7,9 (−3)	6,0(14)	212	7,08(−3)	5,4 (14)	214	8,9 (−3)	6,7 (14)

Масса воды, содержащаяся в насыщенном паре в объеме атмосферы с основанием S и высотой, равной высоте однородной атмосферы H , может быть определена с помощью выражения

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = S \cdot H \cdot [\text{H}_2\text{O}] \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot [\text{H}_2\text{O}] \cdot M \cdot m_{\text{H}}$$

где D — диаметр пятна; $H = 6 \cdot 10^5 \text{ см}$ (для области мезосферы); $[\text{H}_2\text{O}]$ — концентрация паров, см^{-3} ; $M_{\text{H}_2\text{O}}$ — молекулярная масса воды; $M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}}$ — масса молекулы воды, равная $3,0 \cdot 10^{-23} \text{ г}$. При $D = 10^7 \text{ см}$ и естественной концентрации воды около 10^8 см^{-3} ($m_{\text{H}_2\text{O}} = 140 \text{ кг}$). Как и флуоресценция, рассеяние света ледяными кристаллами может появляться только в освещенной области высот атмосферы.

Используя данные табл. 2 для различных сезонов года и сведения о размерах наблюдаемых светящихся облаков, можно легко оценить необходимое количество воды, требуемое для образования кристалликов льда и связать его с запуском ракет различной мощности. Естественно ожидать, что области повышенного содержания паров воды будут иметь ограниченные размеры порядка сотен километров.

По результатам исследований серебристых облаков средний размер рассеивающих частиц составляет 10^{-5} см [18]. Если сделать предположение, что весь водяной пар превращается в кристаллические частицы (что заведомо преувеличено), то отношение концентрации частиц льда n к концентрации паров воды H_2O будет равно:

$$n/[\text{H}_2\text{O}] = 6 \cdot 10^{-8}.$$

Но так как реальные значения $n \sim 1 \text{ см}^{-3}$, то скорее всего и $n/[\text{H}_2\text{O}] \sim 10^{-8}$. Изданных [17, 18] также следует, что коэффициент рассеяния σ такой частицы составляет $\sim 5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2$.

Отсюда интенсивность рассеянного излучения равна

$$I_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-8} \sigma n [\text{H}_2\text{O}] F,$$

где $F = 1,3 \cdot 10^{17} \text{ фотон} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ — интенсивность излучения Солнца в видимой области спектра. Таким образом, если распылить $m_{\text{H}_2\text{O}}$ (г) воды в виде пятна размером D (см), то при обеспечении условий конденсации можно оценить интенсивность (в рэляях) рассеянного излучения во время сумерек из соотношения

$$I = 3 \cdot 10^{15} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} / D^2.$$

Для указанных выше условий яркость свечения будет составлять 4 мегарэлей, что в 40 раз превышает яркость неба на зенитном угле 40° при визировании в азимуте Солнца, угол погружения которого под горизонт составляет 10° .

3. Хемилюминесценция — вид свечения, который обусловлен запуском и полетом ракетно-космической техники. Он менее интенсивен, чем флуоресценция, и может быть зарегистрирован с поверхности Земли только в ночное время. Ночные условия наблюдения хемилюминесцентного свечения можно определить согласно [20].

Остановимся на свечении, связанном с молекулами окиси азота, кислорода и водорода. В верхней атмосфере континуальное с зеленым оттенком свечение образуется в результате реакции, предложенной для атмосферных условий в [21]:



В дальнейшем молекула NO_2 быстро разрушается с восстановлением молекулы O_2 по реакции: $\text{NO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$.

В [22] было получено распределение по спектру континуального излучения ночного неба для атмосферной и внеатмосферной составляющих. Континуум, обусловленный только NO , был рассмотрен в [23], где оценена его интенсивность в 5–10 рэлей/нм в видимой области спектра. В [24, 25] представлен результат лабораторных исследований непрерывного свечения, связанного с NO и получено распределение энергии по спектру излучения.

Для того чтобы континуум, связанный с продуктами сгорания азотсодержащего ракетного топлива, превышал естественный, необходимо выполнение условия неравенства

$$[\text{NO}]_{\text{искусств.}} \gg [\text{NO}]_{\text{естеств.}}$$

Квадратные скобки обозначают концентрацию. Наибольшую интенсивность естественное континуальное излучение имеет на высотах максимума концентрации атомарного кислорода, т.е. около 90–100 км.

Интенсивность I непрерывного свечения, обусловленного NO , может быть представлена как

$$I = [\text{NO}] [\text{O}] \cdot \alpha_{16} \cdot H,$$

где $[\text{NO}] \approx 10^8 \text{ см}^{-3}$, $[\text{O}] \approx 4,1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$; α_{16} — коэффициент скорости реакций, равный $6,4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [24, 26], H — высота однородной атмосферы, равная $6 \cdot 10^5 \text{ см}$. Представляя указанные значения, получим $I = 1,6 \cdot 10^9 \text{ фотон} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} = 1,6 \text{ килорэлей}$. Количество естественной окиси азота m_{NO} , обеспечивающее фоновую интенсивность свечения, может быть вычислено по соотношению

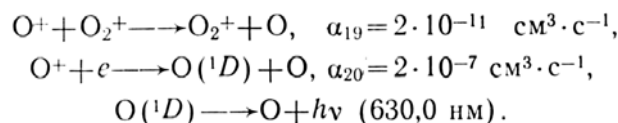
$$m_{\text{NO}} = M_{\text{NO}} \cdot m_{\text{H}} \cdot [\text{NO}] \cdot H \cdot S, \text{ г},$$

где $M_{\text{NO}} \cdot m_{\text{H}}$ — масса молекулы NO , равная $5 \cdot 10^{-23} \text{ г}$; M_{NO} — молекулярная масса молекулы NO ; S — площадь свечения с диаметром D . Если $D = 10^7 \text{ см}$, то $m_{\text{NO}} = 240 \text{ кг}$.

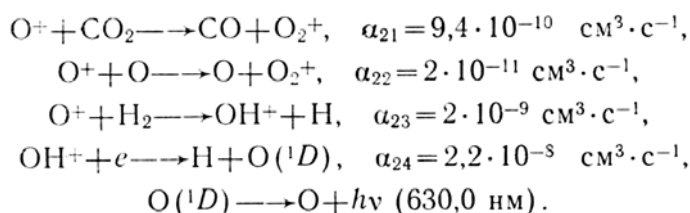
Выше уже отмечалось, что молекулы NO_2 быстро восстанавливаются в NO . Поэтому концентрация NO в ночное время практически сохраняется на исходном уровне. Постоянная времени восстановления τ определяется соотношением $\tau = 1/\alpha_{14} [\text{O}]$, с, где α_{14} — коэффициент скорости реакции разрушения NO_2 , равный $3,2 \cdot 10^{-11} \exp(-300/T) \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [10].

При $T = 200^\circ\text{K}$ (характерной для мезопазузы) и $\alpha_{14} = 7 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ значение $\tau = 0,34 \text{ с}$. Таким образом, чтобы искусственное хемилюминесцентное свечение превышало естественное, необходима инжекция окиси азота в количестве не менее 240 кг, что является вполне реальным.

В верхней атмосфере (область высот 250–300) км, где преобладают положительные ионы атмосферного кислорода, возникает красная эмиссия (630,0 нм) атомарного кислорода из метастабильного состояния 1D . Возбуждение кислорода и его излучение происходит по следующей цепи реакций [10, 24]



Естественная интенсивность этой эмиссии I_{6300} при отсутствии полярных сияний составляет 100 рэлей (10^8 фотон \cdot см $^{-2}$ \cdot с $^{-1}$). Однако она может усиливаться за счет инъекций в верхнюю атмосферу углекислого газа, образующегося при работе ракетных двигателей, а также за счет выброса избыточного кислорода и водорода. В этих случаях дополнительная интенсивность красной эмиссии возникает за счет реакции [27, 28]:



Обозначим естественную концентрацию молекулярного кислорода через $[O_2]$, а концентрации компонент (CO_2 , O_2 , H_2), способствующих образованию дополнительного кислорода через $[X]$. В этом случае заметное усиление интенсивности красной эмиссии произойдет при условии $[X] \cdot \alpha_X \gg [O_2] \cdot \alpha$.

Таким образом, если потребуется зарегистрировать значительное усиление интенсивности (630,0 нм), то необходимо, чтобы интенсивность дополнительного свечения I_X в несколько раз (n) превосходила фоновую I_{6300} (~ 100 рэлей), то есть

$$I_X / I_{6300} \cdot [X] \cdot \alpha_X / [O_2] \cdot \alpha = n. \quad (3)$$

Оценим теперь значение полной массы естественного молекулярного кислорода m_{O_2} , содержащегося в некотором светящемся объеме атмосферы с основанием, имеющим диаметр D , и массы газов (CO_2 , O_2 , H_2), искусственно поступающих в светящийся объем и способствующих образованию дополнительного кислорода.

Среднее значение высоты однородной атмосферы для рассматриваемых компонент и для данной области высот (~ 250 – 300 км) равно $5 \cdot 10^6$ см. Таким образом, с учетом формулы (2) для масс соответствующих молекул (CO_2 , O_2 , H_2) получим: $M_{O_2} \cdot m_H = 5,3 \cdot 10^{-23}$ г. $M_{CO_2} \cdot m_H = 7,3 \cdot 10^{-23}$ г; $M_{H_2} \cdot m_H = 3,3 \cdot 10^{-24}$ г.

Отношения их полных масс должны удовлетворять условию $m_X / m_{O_2} = [X] \cdot M_X / [O_2] M_{O_2}$, или, используя выражение (3), получим $m_X / m_{O_2} = n \cdot M_X / M_{O_2} - \alpha / \alpha_X$.

Подставляя значения масс молекул и соответствующих скоростей реакций, имеем:

$$m_{CO_2} / m_{O_2} = 1,02; \quad m_{O_2} / m_{O_2} = n; \quad m_H / m_{O_2} = 6,2 \cdot 10^{-4}. \quad (4)$$

Для оценки полученных результатов целесообразно рассмотреть следующий пример. Свечение 630,0 нм ночного неба имеет пятнообразную структуру с диаметром $\sim 5 \cdot 10^7$ см. Типичное значение концентрации молекулярного кислорода для высот 250–300 км около $2 \cdot 10^7$ см $^{-3}$. Тогда согласно ранее полученной оценке $m_{O_2} = 10$ т. Для того чтобы интенсивность красной эмиссии увеличилась, предположим, в 10 раз, необходима дополнительная инъекция в соответствии с рассмотренными соотношениями (4): $CO_2 - 100$; $O_2 - 100$; $H_2 - 0,063$ т.

По-видимому, в пределах указанной вариации интенсивности излучения 630,0 нм наиболее существенное влияние оказывает выброс водорода. Точные выводы можно сделать, используя конкретные сведения о наблюдаемых размерах светящихся пятен эмиссии 630,0 нм, сопровождающих запуски ракет.

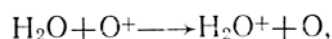
4. Охарактеризованные три вида свечения в верхней атмосфере в своем естественном режиме возникновения и исчезновения представляют собой прямую информацию о физико-химическом характере процессов на указанной высоте. Эти свечения могут стимулироваться либо космогенными причинами (геомагнитные возмущения, метеорный приток вещества), либо планетарными (вулканическая деятельность, сейсмо-ионосферные возмущения и др.). Но по мере наращивания технического

воздействия на околоземное космическое пространство нарастает частота и интенсивность свечений. Это свидетельствует о глобальном видоизменении физико-химических условий в регионах локализации максимальных воздействий техники на ближний космос.

Имеются два основных вида воздействия постороннего вещества на геокосмос: специальная инжекция химических элементов, выделение продуктов сгорания ракетного топлива и работа двигателей на орбитах (челночные системы).

Химически активные реагенты, инжектируемые из ракет, включают в себя натрий, триметилалюминий, окись алюминия, окись азота, двуокись углерода, воду, стронций, цезий, барий и др. Такой набор веществ обеспечивает процесс искусственной стимуляции свечений и генерации электрического поля при дрейфе ионов поперек магнитного поля от места выброса. Ночные эксперименты прямо связаны с инжекцией хемилуминесцентных облаков (триметилалюминий). Например, в эксперименте *Lagopedo* в ионосферу низких широт было выброшено $1,5 \cdot 10^{27}$ молекул H_2O ; $1,5 \cdot 10^{26}$ CO_2 ; $6,6 \cdot 10^{26}$ H_2 [4]. Изменения ионного состава имели вид пятна с диаметром до 80 км на высоте 261 км.

На высоте около 250 км могут флуоресцировать ионы H_2O^+ , время свечения составляет $5 \cdot 10^2 \div 5 \cdot 10^3$ с. Причиной возникновения свечения на больших высотах за счет излучения ионов воды является флуоресценция (см. табл. 1). Эти ионы H_2O^+ образуются путем ионообменной реакции:



коэффициент скорости которой составляет $\alpha_{32} = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [10, 24]. Оценка содержания H_2O в табл. 1 сделана на основе данных [11] при условии, что $[H_2O] \approx 74 [H_2O^+]$.

Масштаб разового выброса воды в верхнюю атмосферу можно проиллюстрировать запуском ИСЗ *HEAO-C* от 20.09.1979 г. с помощью ракеты-носителя *Atlas/Centaur*, когда в атмосферу было выброшено $7 \cdot 10^{29}$ молекул H_2O и H_2 . При этом интенсивность эмиссии 630,0 нм в «дыре» (площадь с размерами запад-восток около 3 тыс. км и юг-север около 800 км) составила 8300 рэлей (фоновое 100), а эмиссии 557,7 нм с 300 возросла до 900 рэлей [4].

Основным механизмом технического воздействия на геокосмос является ракетная доставка веществ в весьма чувствительную область верхней атмосферы. Локальное загрязнение избыточным веществом осуществляется на низких, средних и больших высотах применением мощных грузоподъемных носителей челночного типа («Шаттл», «Энергия»). При этом происходят крупномасштабные возмущения в ионосфере путем прожигания канала пролета выхлопной струей двигателя и тепловым сигналом уплотнения при взаимодействии набегающего потока с факельной струей.

С появлением систем челночного типа начался новый этап техногенного преобразования геокосмоса, которое усиливает искусственные процессы в верхней атмосфере. Следует учитывать и частичные циклы работы двигателей для корректировки орбит, стыковок, расстыковок, слив топливных ингредиентов. При этом надо отметить и общее число пусков, превышающее десятки тысяч. Анализируя выбросы одного пуска «Шаттл» и «Энергия», обратимся к табл. 3, приведенной в [6]. В контексте данной работы необходимо напомнить, что заметные усиления хемилуминесценции локальных участков верхней атмосферы происходят при попадании в эти участки оксидов азота — 240 кг, CO_2 — 100 т, O_2 — 100 т и H_2 — 63 кг. Легко видеть, что один «залп» большегрузных носителей на порядок превышает количественные оценки стимуляторов хемилуминесценции.

Таблица 3

Выбросы ракетных двигателей [6]

Носитель	Химические соединения					Общий вес в т
	Хлор, хлористый водород (в т)	Оксиды азота (в т)	Оксиды углерода (в т)	Вода, водород (в т)	Оксиды алюминия (в т)	
«Энергия»	0	0	740	750	0	1490
«Шаттл»	187	7	378	346+166	177	1261
Сумма реагентов	187	7	1118	1262	177	2751

На высоте около 100 км флуоресцируют главным образом Li, Na и AlO, причем длительность существования свечения составляет $10^4 \div 10^5$ с. Наряду с техногенной доставкой этих ингредиентов на данную высоту следует учитывать и космогенный приток, особенно в отношении Na и Li. Возрастание содержания Li и Na в ряде случаев прямо коррелирует с вулканической активностью и высотными ядерными взрывами [5, 9]. Отмечалось воздействие вулкана Эль-Чичон на содержание водорода в верхней атмосфере после его извержения 3 марта 1982 г. [29].

Таким образом, по мере нарастания техногенного воздействия на ближний геокосмос растет вероятность возникновения крупномасштабных новообразованных процессов, представляющих собой отклик на преобразование высокочувствительной природной среды верхней атмосферы, как это можно проследить из данных [30]. Эти процессы могут проявляться посредством учащающихся светящихся образований [8] и изучение их функциональной роли является важной задачей, в особенности, в связи с непредсказуемостью их образования и последствий.

1. Кондратьев К. Я. // Исследование Земли из космоса. 1988. № 2. С. 104–118.
2. Дмитриев А. Н. // Вестник высш. школы. 1989. № 7. С. 38–44.
3. Цирс Г. П., Логинов Г. А. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1985. Т. 25. № 2. С. 153–154.
4. Фаткуллин М. И. Физика ионосферы. Итоги науки и техники. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. М.: ВИНТИ, 1982. Т. 6. 224 с.
5. Ядерный взрыв в космосе, на Земле и под Землей. М.: Воениздат, 1974. 234 с.
6. Бурдаков В. П., Филин В. М. // Химия и жизнь. 1990. № 3. С. 15–19.
7. Space Shuttle – «an ozone Killer» // Fligt Jut. 1989. № 4177. 136 p.
8. Дмитриев А. Н. // Непериодические быстропротекающие явления в окружающей среде. Томск: ТПИ, 1990. С. 24–29.
9. Хесс В. Радиационный пояс и магнитосфера. М.: Атомиздат, 1972. 428 с.
10. Мак-Ивен М., Филлипс Л. Химия атмосферы. М.: Мир, 1978. 376 с.
11. Красовский В. И., Рапопорт З. Ц., Семенов А. И. // Космические исследования. 1982. Т. 20. № 2. С. 237–243.
12. Rangratz M. // Adv. Space Res. 1981. V. 1. № 2. P. 253–273.
13. Филипп Н. Д., Ораевский В. Н., Блаунштейн Н. Ш., Ружин Ю. Я. Эволюция искусственных плазменных неоднородностей в ионосфере Земли. Кишинев: Штиинца, 1986. С. 248.
14. Шефов Н. Н. // Астрон. ж. 1984. Т. 61. № 1. С. 118–120.
15. Ключарев А. Н., Янсон М. Л. Элементарные процессы в плазме щелочных металлов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
16. Nicolet M. // Planet. Space Sci. 1989. V. 37. № 10. P. 1249–1289.
17. Бронштэн В. А., Гришин Н. И. Серебристые облака. М.: Наука, 1970. 360 с.
18. Бронштэн В. А. Серебристые облака и их наблюдение. М.: Наука, 1984. 128 с.
19. CIRA-72, COSPAR International Reference Atmosphere. Berlin: Academie-Verlag. 1972. 450 p.
20. Марцваладзе Н. М., Абуладзе Н. П. // Бюл. Абастум. Астрофиз. обсерв. Тбилиси: Мецниереба, 1981. № 54. С. 149.
21. Красовский В. И. // Докл. АН СССР, 1951. Т. 78. № 4. С. 669–672.
22. Шефов Н. Н. // Спектральные, электрофотометрические и радиолокационные исследования полярных сияний и свечения ночного неба. М.: Изд-во АН СССР, 1959. № 1. С. 25–29.
23. Соболев В. Г. // Полярные сияния и свечение ночного неба. М.: Радио и связь, 1981. № 29. С. 84–92.
24. Banks P. M., Cockart G. Aeronomy. New York: Academic Press, 1973. Part A. 430 p.
25. Torr M. R. // Geophys. Res. Lett. 1983. V. 10. № 2. P. 114–117.
26. Schiff H. J. // Ann. Geophys. 1969. V. 25. № 4. P. 115–127.
27. Zinn J., Sutherland C. D., Stone S. N. et all // J. Atmos. Terr. Phys. 1982. V. 44. № 12. P. 1143–1171.
28. Murad E. // Planet. Space Sci. 1985. V. 33. № 4. P. 421–423.
29. Красовский В. И., Семенов А. И., Соболев В. Г., Шефов Н. Н. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1989. Т. 29. № 4. С. 689–691.
30. Балеев И. Б., Гольдин А. А., Гринвальд Е. Г. и др. // Докл. АН СССР, 1976. Т. 230. № 5. С. 1062–1065.

Институт геологии и геофизики СО АН СССР, Новосибирск
Институт физики атмосферы АН СССР, Москва

Поступила в редакцию
15 августа 1990 г.

A. N. Dmitriev, A. A. Plaksin, A. I. Semyonov, N. N. Shefov. **Manmade Stimulation of the Upper Atmospheric Glow.**

The paper deals with the analysis of the processes resulting in upper atmospheric glow, occurring due to seeding the atmosphere with the substances of present properties or due to pollution by the rockets exhausts. Estimations of the foreign substances number densities which can provide the detectable intensity of emissions, are given. The ecological aspect of such studies is emphasized in the paper and the necessity of monitoring the processes discussed is underlined.