



# Модель формирования и эволюции полярных мезосферных облаков

*Попель С.И., Дубинский А.Ю.*

Институт динамики геосфер РАН



# Нано- и микромасштабные частицы в ионосфере

- Метеорные потоки



- Летняя полярная мезосфера (NLC и PMSE)
- Вулканы, лесные пожары и т.д.

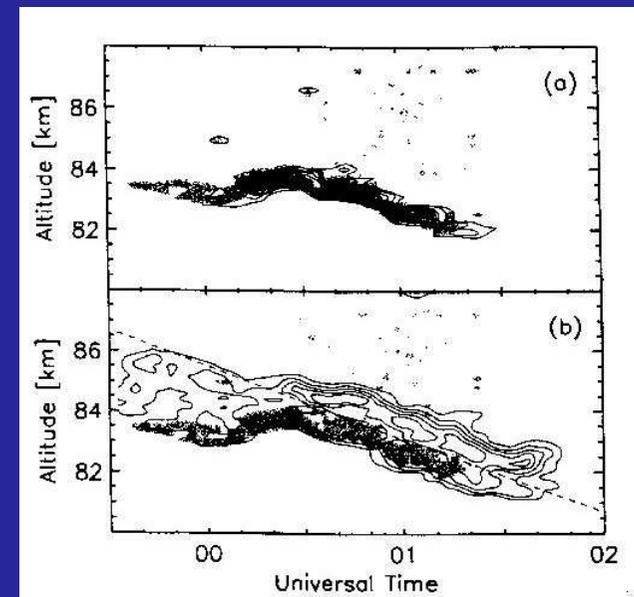
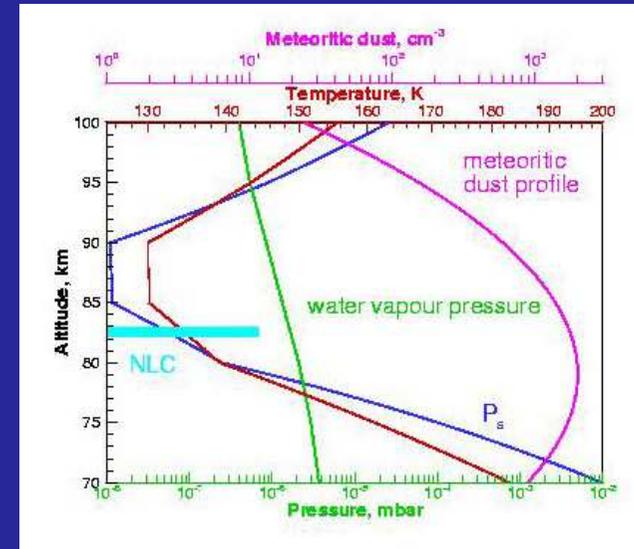


NLC над Москвой, июль 2004 г.



# NLC и PMSE

На высоких и средних широтах в период, начиная от середины мая и до середины августа, в мезосфере образуются слоистые структуры, известные как серебристые облака (NLC) и полярные мезосферные радиотражения (PMSE). Обобщающее название для них – полярные мезосферные облака. Их формирование связано с процессом конденсации и образования наномасштабных частиц в мезосфере.





# Модель

**Самосогласованная модель учитывает конденсацию, ионизацию, рекомбинацию, солнечное излучение, конверсию первичных ионов в протон-гидратные и описывает рост пылевых частиц, их зарядку, фотоэффект, седиментацию, самосогласованные электрические поля, эволюцию концентрации как простых, так и сложных ионов, электронов, заряда пылевых частиц.**

$$\frac{\partial f_d}{\partial t} + \frac{\alpha_w m_w v_w^{th} (n_w - n_w^s)}{4\rho_d} \frac{\partial f_d}{\partial a} + v \frac{\partial f_d}{\partial h} + \left( g - \frac{\pi \rho_c s a^2 F_d (v + v_{wind})}{m_d} \right) \frac{\partial f_d}{\partial v} = 0.$$

$$\frac{\partial n_w}{\partial t} + \frac{\partial \Gamma_w}{\partial h} = -P_w - n_w L_w - \pi \alpha_w v_w^{th} n_w \langle a^2 n_d \rangle$$

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = q_e - \alpha_{rec}^s n_e n_i^s - \alpha_{rec}^c n_e n_i^c + L_{photo}^e - L_{dust}^e$$

$$\frac{\partial n_i^s}{\partial t} = q_e - \alpha_{rec}^s n_e n_i^s - \beta_c n_i^s - L_{dust}^s$$

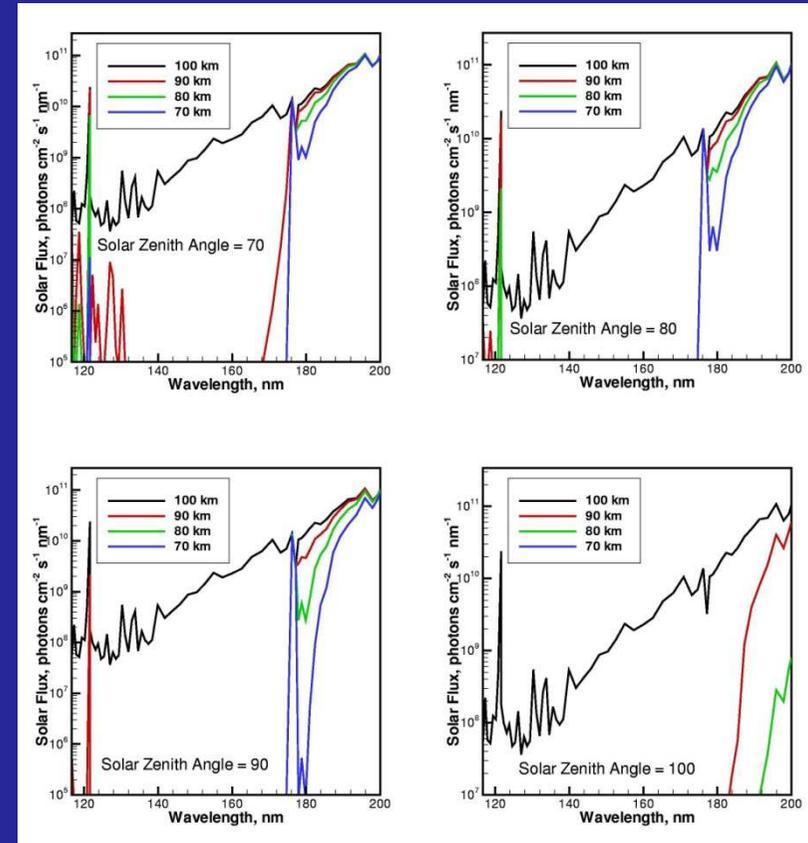
$$\frac{\partial n_i^c}{\partial t} = \beta_c n_i^s - \alpha_{rec}^c n_e n_i^c - L_{dust}^c$$

$$\frac{\partial Z_d^a}{\partial t} = q_{photo} + \nu_s + \nu_c - \nu_e$$



# Зарядка частиц и ионизационные свойства (I)

- Заметные провалы в концентрации электронов и ионов;
- Провалы в концентрации электронов, тогда как концентрация ионов практически не менялась;
- Заметное увеличение концентрации электронов, ионный состав неизвестен;
- Заметное (в 2 раза) увеличение концентрации ионов сопровождалось значительным провалом концентрации электронов.

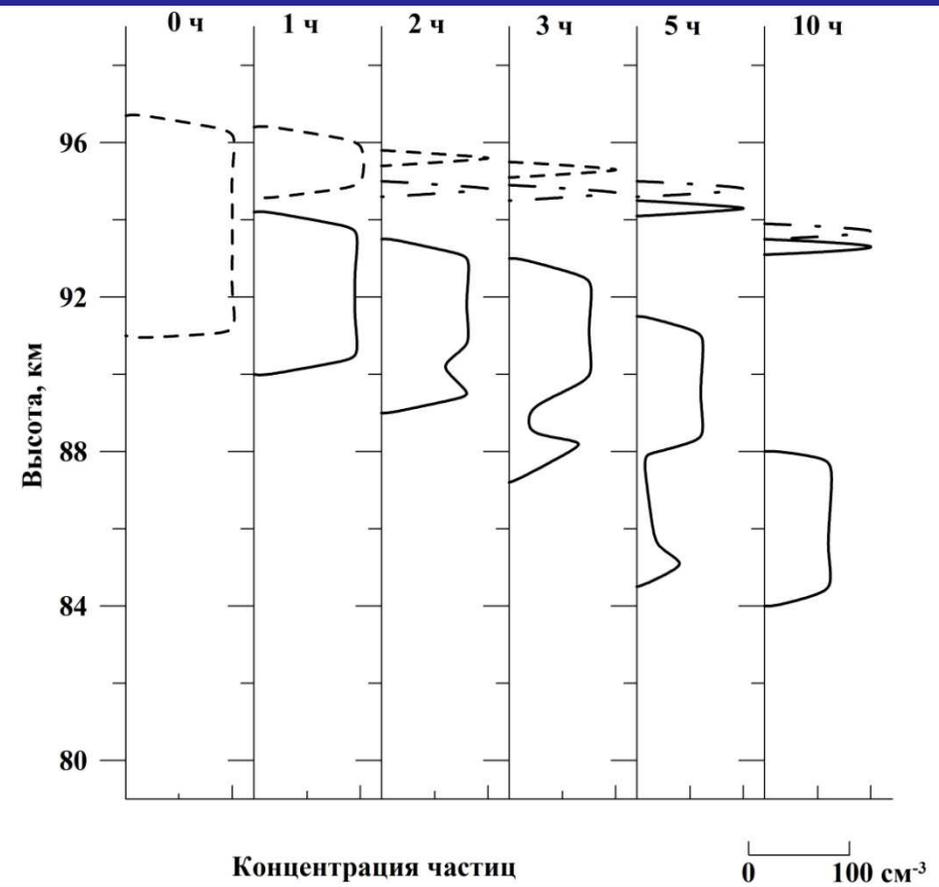
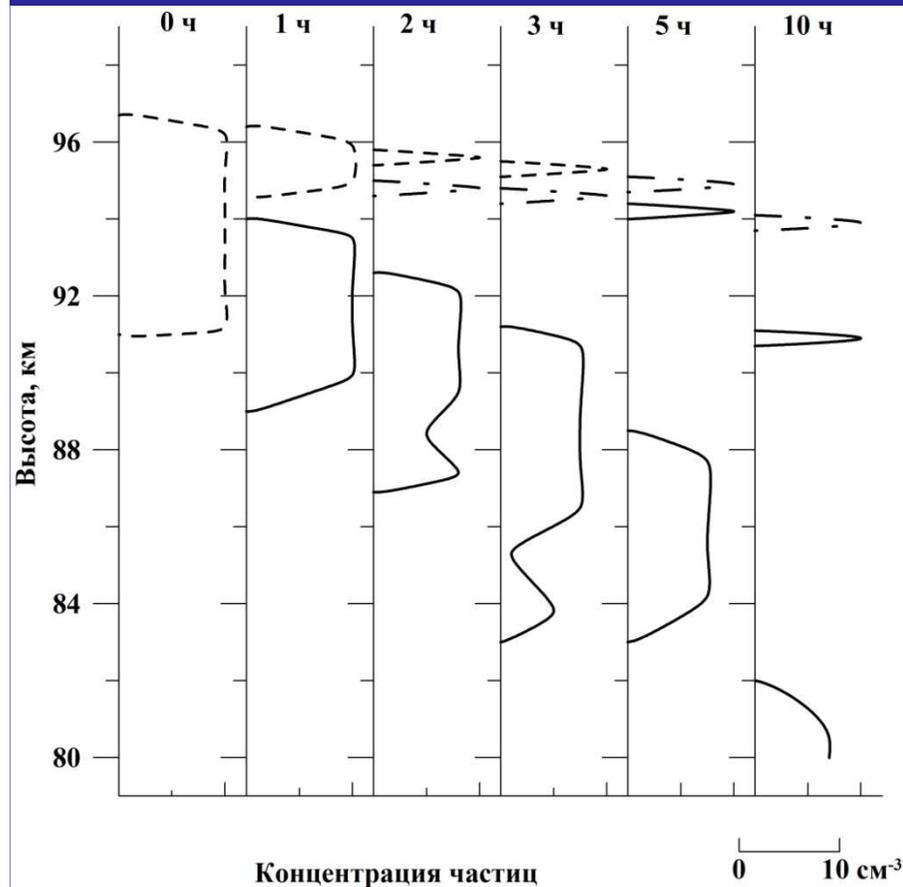


$$q_{\text{photo}} \approx \pi r^2 \int_0^{\lambda^*} Q_{\text{abs}}(a, m(\lambda)) F(\lambda) Y(\lambda) d\lambda$$





# Формирование и эволюция возмущений (I)

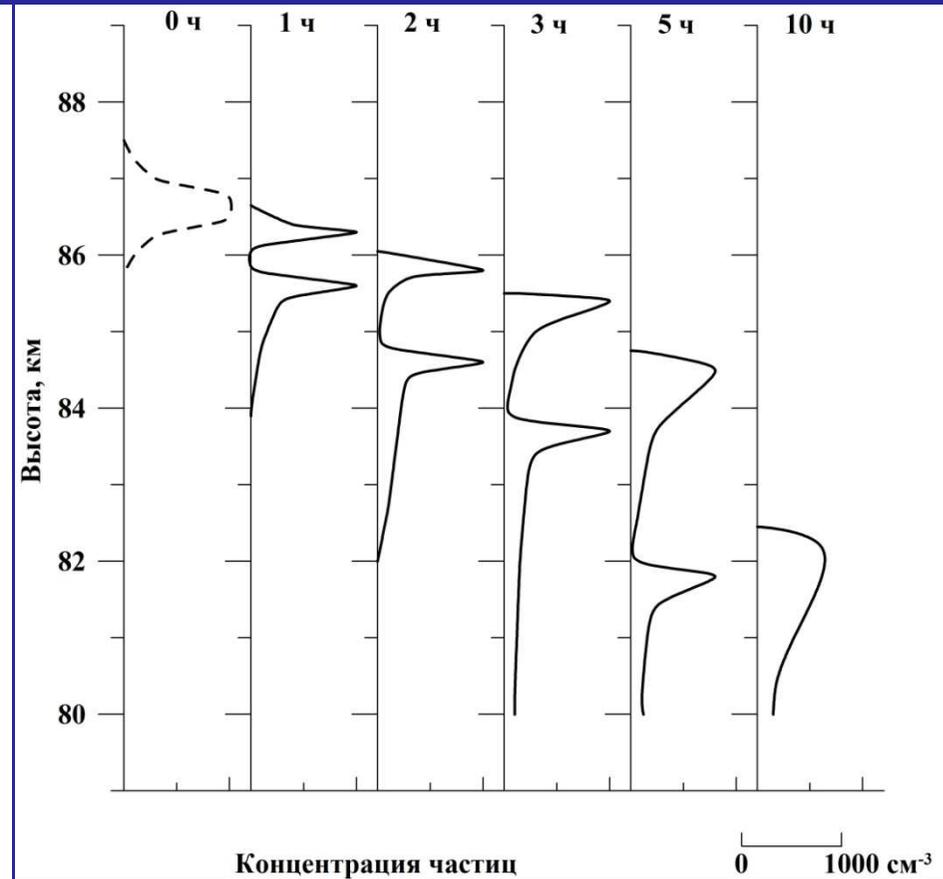
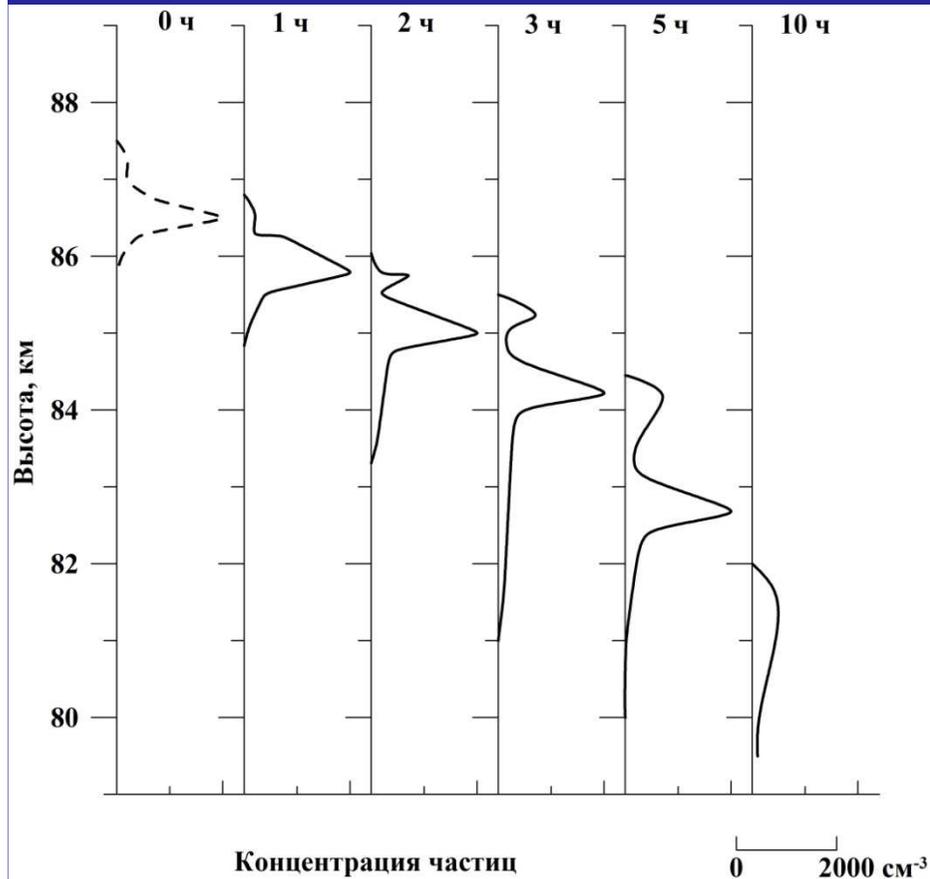


Начальное возмущение из

K. Amyx, Z. Sternovsky, S. Knappmiller et al., J. Atmos. Solar-Terr. Phys. **70**, 61 (2008).



# Формирование и эволюция возмущений (II)



Начальное возмущение из

K. Amyx, Z. Sternovsky, S. Knappmiller et al., J. Atmos. Solar-Terr. Phys. **70**, 61 (2008).



# Особенности наблюдений NLC и PMSE на Ямале



**Из-за газовых месторождений на Ямале возможен повышенный уровень поступления метана в атмосферу, что может приводить, в конечном итоге, к повышенному содержанию паров воды, и более частому появлению серебристых облаков и полярных мезосферных радиоотражений.**



# Публикации

- **В.А. Клумов, S.I. Popel, and R. Bingham, Dust Particle Charging and Formation of Dust Structures in the Upper Atmosphere, JETP Letters 72, No. 7 (2000) 364-368.**
- **В.А. Клумов, G.E. Morfill, and S.I. Popel, Formation of Structures in a Dusty Ionosphere, Journal of Experimental and Theoretical Physics 100, No. 1 (2005), 152-164.**
- **A.Yu. Dubinsky and S.I. Popel, Formation and Evolution of Plasma-Dust Structures in the Ionosphere, JETP Letters 96, No. 1 (2012).**



# Выводы

- Разработана модель плазменно-пылевых структур в ионосфере, которая может, в частности, применяться как для самосогласованного описания NLC и PMSE, так и для объяснения ионизационных свойств запыленной ионосферы.
- Примеры расчетов, основанные на представленной модели, иллюстрируют влияние начальных распределений пылевых частиц, а также процессов конденсации и поглощения молекул воды пылевыми частицами на образование NLC и PMSE, показывают возможность появления именно NLC и/или PMSE в тех или иных ситуациях, иллюстрируют возможность образования слоистой структуры NLC.