

Оценка воздействия различных моделей стратосферного аэрозоля вулканического происхождения на радиационно-термический режим Земли

Фролькис В. А.

Петербургский государственный университет путей сообщения;
Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

Кокорин А. М.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Санкт-Петербургский филиал;
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Assessment of the impact of different stratospheric aerosol models from volcanic origin on the Earth radiation-thermal regime

Frolkis V.A., Kokorin A.M.

**Cites-2013
Петрозаводск**

Стратосферный аэрозоль включает в себя:

- а) сернокислые аэрозоли (капли 75% H_2SO_4)
- б) вулканический пепел;
- в) метеорная пыль (мелкодисперсная и крупнодисперсная фракция);
- г) двухслойные частицы (ядра из вулканического пепла и мелкодисперсной метеорной пыли с оболочкой из 75% H_2SO_4)

«Базовые» аэрозольные частицы:

- 1) слой Юнге (15-23 км) образованный каплями 75% H_2SO_4 и твердыми гранулами сульфата аммония
(концентрация частиц с радиусом более 0,15 мкм находится на уровне $1 \dots 3 \text{ см}^{-3}$);
- 2) вулканический пепел, имеющий сухую поверхность, которая постепенно покрывается слоем серной кислоты

Цель исследования:

- 1. Моделирование влияния стратосферных аэрозольных частиц с сернокислой оболочкой на мгновенный радиационный форсинг и стационарный климатический температурный режим.**
- 2. Оценить возможность использование стратосферных аэрозольных частиц с сернокислой оболочкой для создания антипарникового стратосферного аэрозольного экрана**

Геометрия частицы описывается форм-фактором

$$ff = r / r_{nuc1},$$

r – внешний радиус частицы, r_{nuc1} – радиус ее ядра.

Различные значения ff соответствуют разным стадиям формирования сернокислой оболочки.

Предполагается, что размеры частиц r распределены по логарифмическому нормальному закону с параметрами:

a_g – параметр положения, σ_g – параметр формы.

Логарифмически-нормальное распределение

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_g)} \frac{1}{r} \exp \left\{ -\frac{\ln^2(r/a_g)}{2 \ln^2(\sigma_g)} \right\}$$

Рассматриваются три модели “двухслойных” частиц:

- 1) непосредственно **двухслойные частицы** – частицы с резкой границей между ядром и оболочкой;
- 2) **просветленные частицы** – двухслойные частицы с плавной границей между ядром и оболочкой;
- 3) **квазиоднородные частицы** – однородные частицы с интегральными оптическими характеристиками как у двухслойных частиц,

Рассматриваются однородные частицы 75% H_2SO_4 .

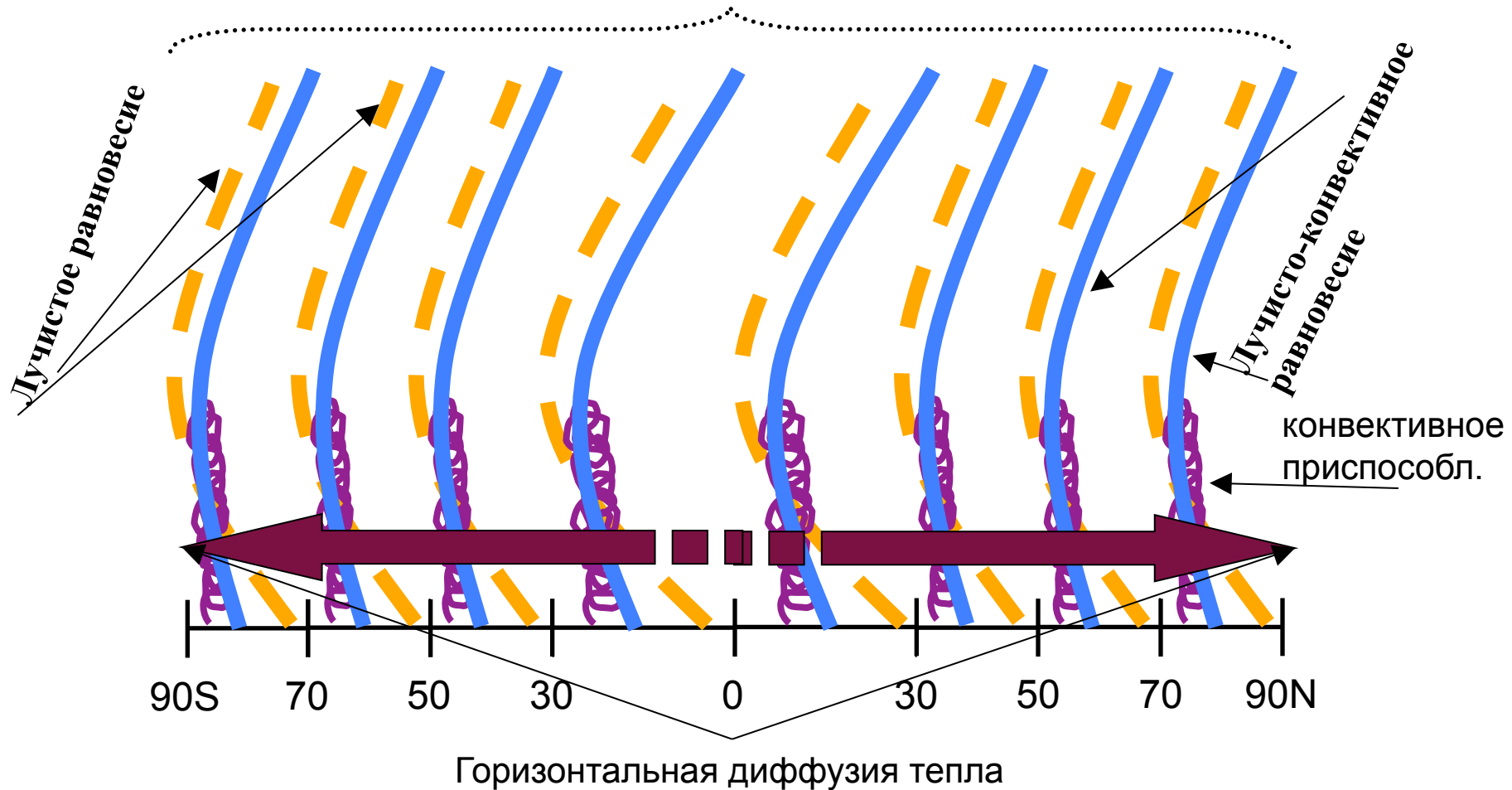
Оптические свойства частиц рассчитываются по теории Ми

Используется полуэмпирическая двухмерная среднезональная стационарная энергобалансовая радиационно-конвективная модель с детальным радиационным блоком, параметризованным описанием глобального переноса тепла, с сохранением относительной влажности, с альбедо - температурной обратной связью.

Применяемая модель содержит основные климатические связи и достаточно адекватно описывает изменения радиационных и температурных полей среднезональных тропосферы и стратосферы, обусловленных внешними воздействиями на радиационный баланс.

Стационарная зонально-осредненная среднегодовая энергобалансовая радиационно-конвективная модель (ЭБРКМ) земной климатической системы.

Радиационный баланс на ВГА: $\downarrow \overline{S_H} = \uparrow \overline{S_H} + \uparrow \overline{I_H}$



1. Влияние на радиационный форсинг и температуру поверхности

Проведены расчеты:

мгновенного РФ и изменения температуры поверхности ΔT_s , обусловленные рассматриваемым аэрозолем с оптической толщиной $\tau = 0.05$ на длине волны $\lambda = 0.55$ мкм.

Аэрозольный слой располагается над тропопаузой.

Рассматриваются ансамбли частиц:

с параметром положения $a_g = 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ мкм,
с параметром формы $\sigma_g = 1.1, 1.5, 2.0, 2.5$ мкм
и значениями форм-фактора $ff = 1.43, 2.057, 2.745, 3.439$.

Аэрозольный слой приводит к **увеличению** потока отраженной солнечной радиации на верхней границе атмосферы, но при этом создает **разнонаправленное** изменение интегрального эффективного потока R на тропопаузе, которое описывается как **положительными**, так и **отрицательными** значениями мгновенного радиационного форсинга.

Реакция на аэрозольное загрязнение

отрицательный мгновенный РФ ($\Delta R_{\text{тр}} < 0$)

получается в моделях с $a_g = 0.1, 0.2, 0.3$
для всех рассматриваемых параметров.

положительный мгновенный РФ ($\Delta R_{\text{тр}} > 0$)

получается при использовании моделей:

- а) *мелких частиц с узким распределением* ($a_g=0.05; \sigma_g=1.1$):
двухслойных ($ff = 2.057 \div 3.439$),
квазиоднородных ($ff = 1.43 \div 3.439$) и также
однородных частиц 75% H_2SO_4 ;
- б) *больших частиц с широким распределением* ($\sigma_g = 2.5$):
просветленных ($a_g = 0.4, ff=1.43; a_g = 0.5, ff=1.43 \div 2.057$)
двухслойный ($a_g = 0.5, ff = 2.057 \div 3.439$)
квазиоднородных ($a_g = 0.5, ff = 2.057 \div 3.439$) и также
однородных частиц 75% H_2SO_4 ($a_g=0.2, 0.4$ и 0.5)

Положительный МРФ +
положительные изменениям температуры поверхности :
курсив и полужирный шрифт.

Отрицательный МРФ +
положительные изменениям температуры поверхности :
подчеркнутый полужирный шрифт.

Отрицательный МРФ +
отрицательные изменениям ΔT_S :
обычный шрифт.

Радиационный форсинг ($\tau = 0,05$), Вт/м²

	двухслойная				просветленная				квазиоднородная				75% H ₂ SO ₄
σ_g	Форм-фактор ff												
	1,43	2.057	2.745	3.439	1.43	2.057	2.745	3.439	1.43	2.057	2.745	3.439	
	$a_g=0.05$												
1.1	<u>-0.2</u>	4.6	6.9	7.8	-6.9	<u>-3.7</u>	<u>-3.6</u>	<u>-3.6</u>	2.4	6.2	7.7	8.2	4.4
1.5	-2.9	-2.0	-1.6	-1.5	-4.2	-3.6	-3.6	-3.6	-2.4	-1.7	-1.5	-1.4	-11.9
2.0	-4.1	-3.7	-3.5	-3.4	-4.7	-4.4	-4.4	-4.4	-3.8	-3.5	-3.4	-3.4	-12.3
2.5	-5.3	-4.7	-4.5	-4.4	-5.9	-5.7	-5.7	-5.7	-4.9	-4.6	-4.4	-4.4	-12.2
	$a_g=0.3$												
1.1	-3.4	-3.1	-3.0	-2.9	-3.8	-3.7	-3.6	-3.6	-3.2	-3.0	-2.8	-2.9	-12.2
1.5	-5.5	-4.9	-4.7	-4.6	-6.1	-5.8	-5.7	-5.7	-5.1	-4.7	-4.6	-4.5	-12.4
2.0	-6.3	-5.6	-5.1	-5.0	-7.4	-7.2	-7.1	-7.2	-5.8	-5.2	-4.5	-5.0	-11.8
2.5	-4.6	-3.4	-2.9	-2.7	<u>-4.1</u>	-5.3	-6.0	-6.0	-3.7	-3.0	-2.7	-2.6	<u>-1.1</u>
	$a_g=0.5$												
1.1	-4.4	-3.6	-3.3	-3.2	-5.1	-4.6	-4.5	-4.4	-3.9	-3.3	-3.2	-3.1	-12.6
1.5	-6.7	-5.8	-5.5	-5.4	-7.7	-7.3	-7.3	-7.3	-6.2	-5.6	-5.4	-5.3	-12.4
2.0	-5.6	-4.3	-3.8	-3.6	-6.6	-7.0	-7.1	-7.1	-4.7	-3.9	-3.6	-3.5	1.0
2.5	<u>-0.1</u>	1.6	2.2	2.5	7.1	2.9	<u>-1.9</u>	<u>-2.0</u>	<u>-5.1</u>	2.0	4.2	5.2	2.1

Изменение стационарной температуры поверхности ($\tau = 0,05$), °C

σ_g	двухслойная				просветленная				Квизиоднородная				75%
	форм-фактор ff												H ₂ SO ₄
	1.43	2.057	2.745	3.439	1.43	2.057	2.745	3.439	1.43	2.057	2.745	3.439	

$a_g=0.05$

1.1	<u>3.0</u>	5.5	6.1	6.6	-0.7	<u>1.8</u>	<u>2.0</u>	<u>1.9</u>	4.3	6.0	6.4	6.5	4.0
1.5	-1.1	-0.86	-0.6	-0.7	-1.4	-0.81	-0.91	-0.68	-0.83	-0.63	-0.63	-0.68	-0.38
2.0	-2.1	-1.94	-2.1	-2.1	-2.2	-1.95	-1.96	-1.99	-2.31	-2.15	-2.11	-2.16	-0.61
2.5	-2.4	-2.69	-2.5	-2.6	-2.7	-2.23	-2.43	-2.48	-2.64	-2.59	-2.72	-2.47	-0.44

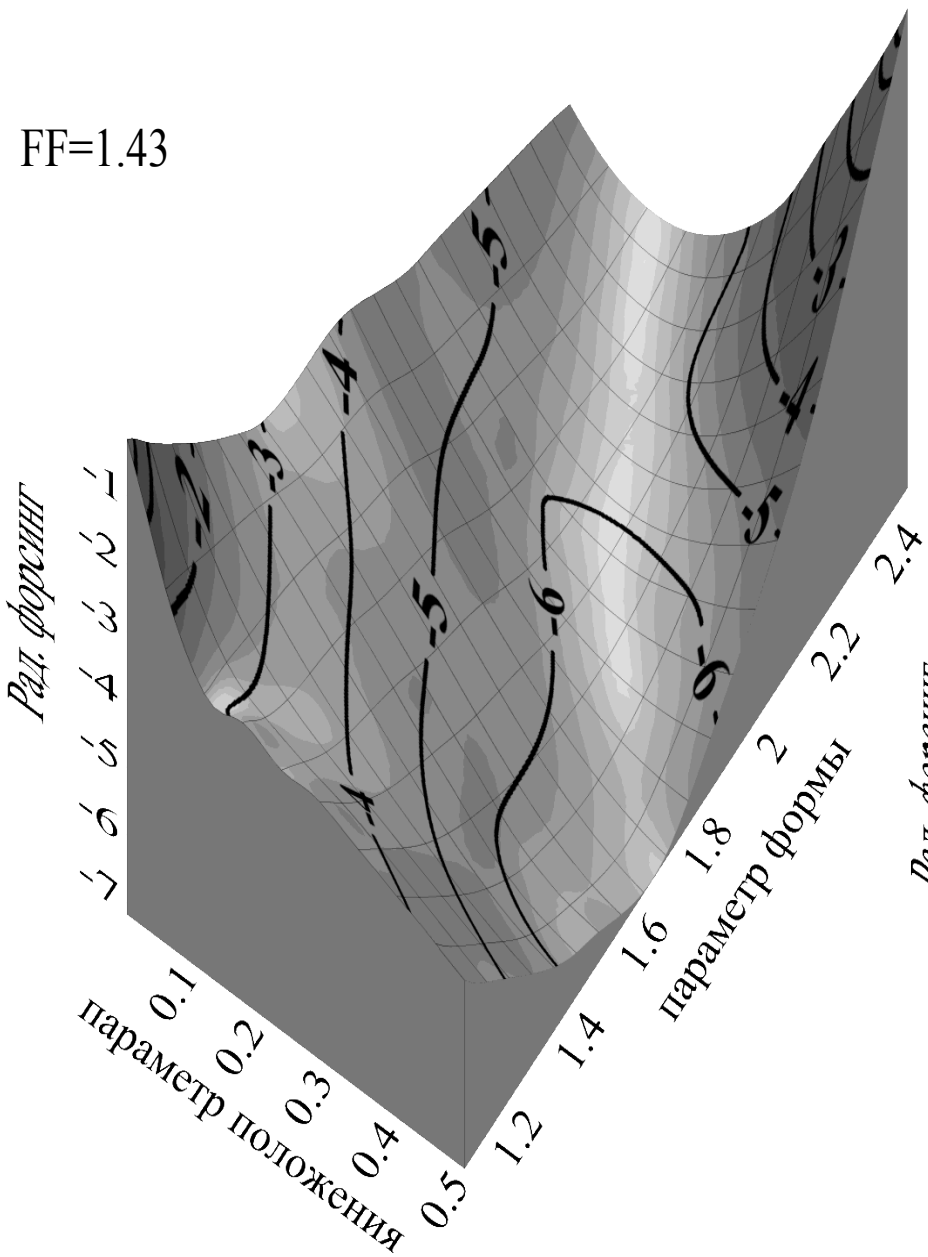
$a_g=0.3$

1.1	-1.7	-1.9	-1.8	-1.8	-1.8	-1.7	-1.7	-1.7	-1.8	-1.9	-1.5	-1.8	-0.6
1.5	-2.7	-2.8	-2.6	-2.9	-3.1	-2.6	-2.6	-2.5	-2.8	-2.8	-2.7	-2.9	-0.7
2.0	-2.4	-2.5	-2.6	-2.6	-2.9	-2.9	-2.6	-2.4	-2.5	-2.8	-2.8	-2.8	-0.1
2.5	-0.8	-0.9	-0.6	-0.5	<u>0.8</u>	-0.3	-0.7	-0.9	-0.4	-0.6	-0.7	-0.7	<u>0.9</u>

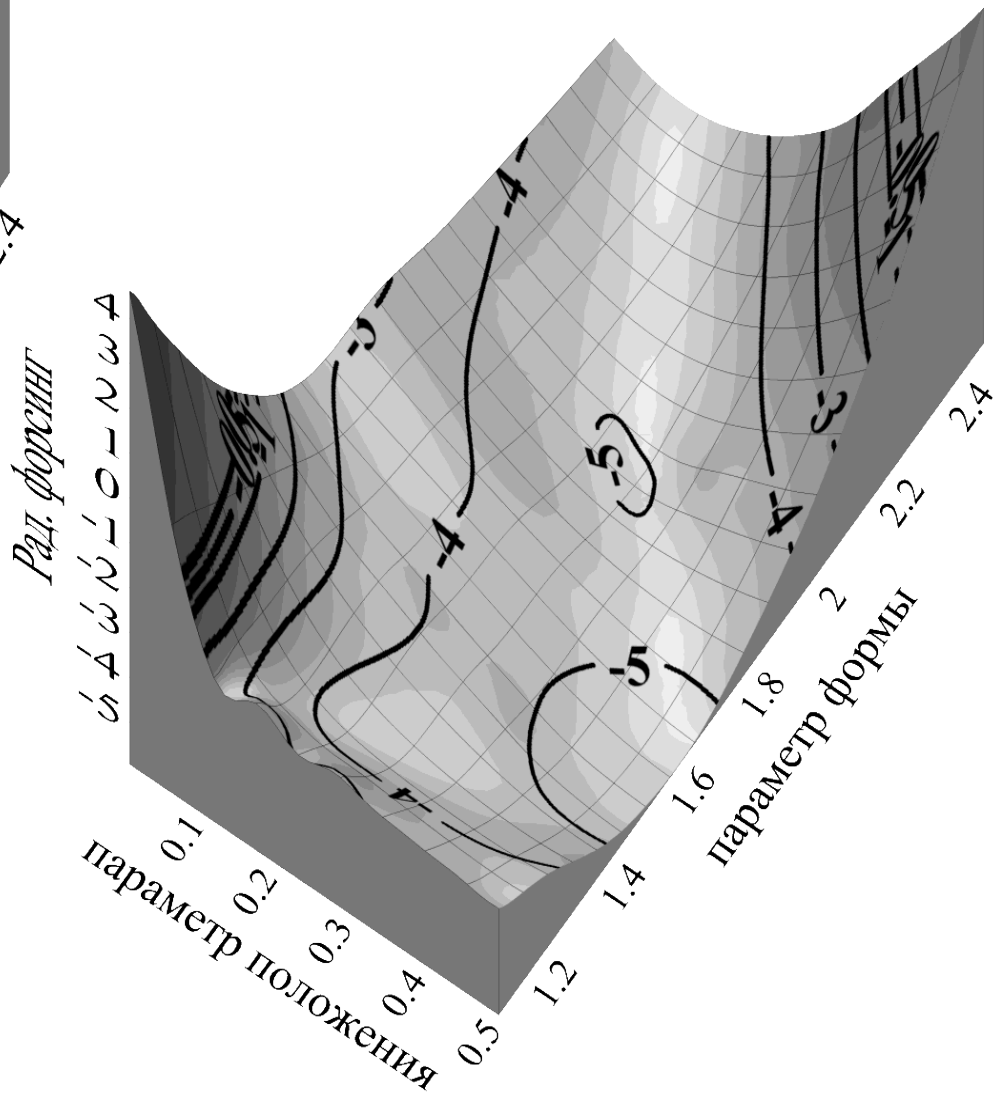
$a_g=0.5$

1.1	-2.1	-1.9	-2.0	-2.0	-2.2	-1.8	-1.7	-1.9	-1.8	-2.0	-2.0	-2.0	-0.6
1.5	-2.7	-2.8	-2.8	-2.6	-3.3	-3.0	-3.1	-3.3	-3.0	-2.9	-2.9	-2.9	-0.7
2.0	-1.3	-1.3	-1.6	-1.6	-1.2	-1.3	-1.6	-1.7	-1.4	-1.5	-1.6	-1.4	0.6
2.5	<u>3.8</u>	3.7	3.5	3.6	9.5	6.7	<u>3.3</u>	<u>3.2</u>	<u>3.9</u>	3.5	3.5	3.6	1.7

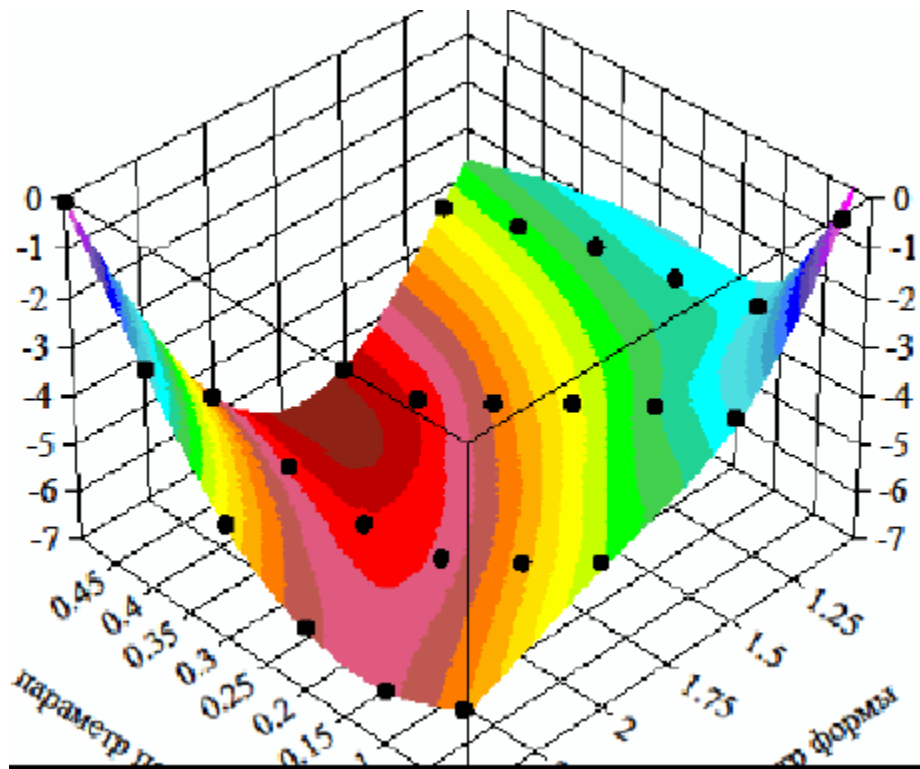
FF=1.43



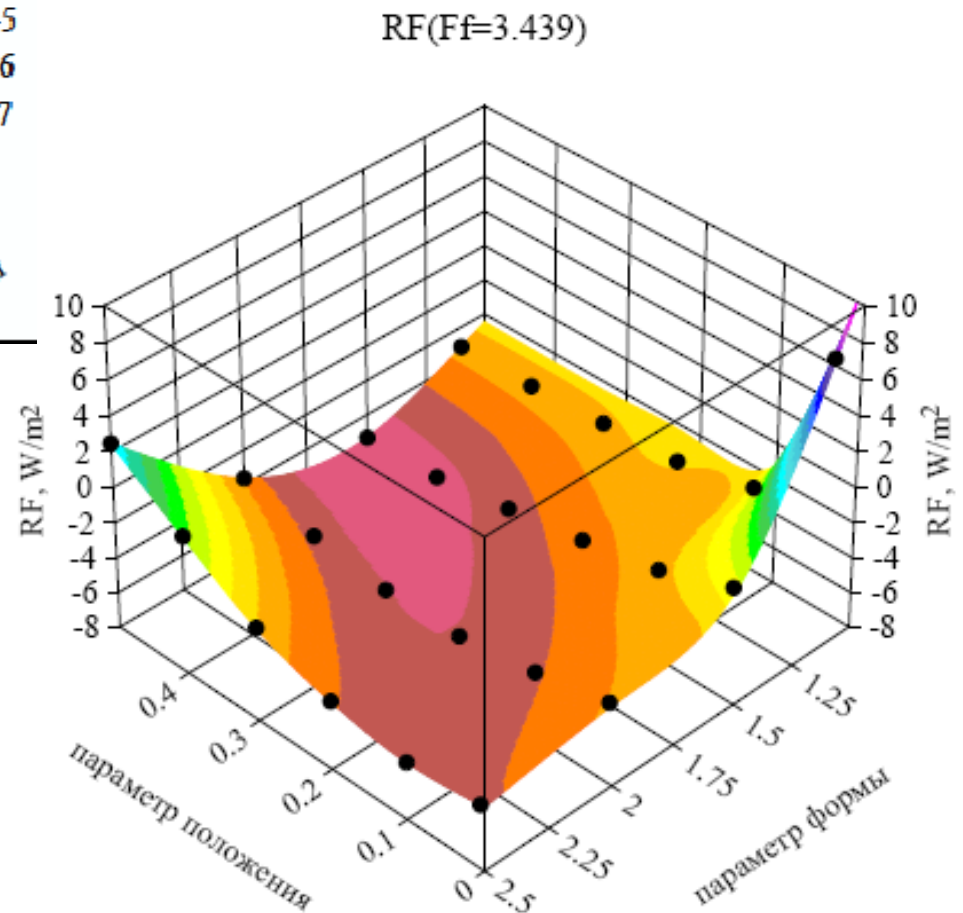
FF=3.439



РФ двухслойных частиц



RF(ff=1,43)



Стратосферный аэрозоль приводит к увеличению на тропопаузе ИК противоизлучения

$$\Delta I_{\text{ТР}}^{\downarrow} > 0, \Delta I_{\text{ТР}}^{\uparrow} = 0, \Delta I_{\text{ТР}} < 0$$

и к уменьшению нисходящего и восходящего КВ потоков

$$\Delta S_{\text{ТР}}^{\downarrow} < 0, \Delta S_{\text{ТР}}^{\uparrow} < 0, \text{ но такому, что } \Delta S_{\text{ТР}} < 0.$$

Положительный РФ получается, когда
модуль изменения эффективного ИК потока
превышает модуль изменения эффективного КВ потока

$$|\Delta S_{\text{ТР}}| < |\Delta L_{\text{ТР}}|.$$

Отрицательный РФ получается, когда
модуль изменения эффективного КВ потока
больше, чем модуль изменения эффективного ИК потока

$$|\Delta S_{\text{ТР}}| > |\Delta L_{\text{ТР}}|.$$

Положительный РФ сопровождается увеличением
эффективного интегрального потока на ВГА

$$\Delta R_{\text{ВГА}} > 0:$$

$$|\Delta S_{\text{ВГА}}| < |\Delta L_{\text{ВГА}}|,$$

$$\Delta S_{\text{ВГА}}^{\uparrow} > 0, \Delta S_{\text{ВГА}}^{\downarrow} = 0, \Delta S_{\text{ВГА}} < 0,$$

$$\Delta I_{\text{ВГА}}^{\uparrow} < 0, \Delta I_{\text{ВГА}}^{\downarrow} = 0, \Delta I_{\text{ВГА}} < 0$$

Отрицательный РФ может сопровождаться как
уменьшением эффективного интегрального потока на ВГА

$$\Delta R_{\text{ВГА}} < 0 \quad (|\Delta S_{\text{ВГА}}| > |\Delta I_{\text{ВГА}}|),$$

так и

увеличением эффективного интегрального потока на ВГА

$$\Delta R_{\text{ВГА}} > 0:$$

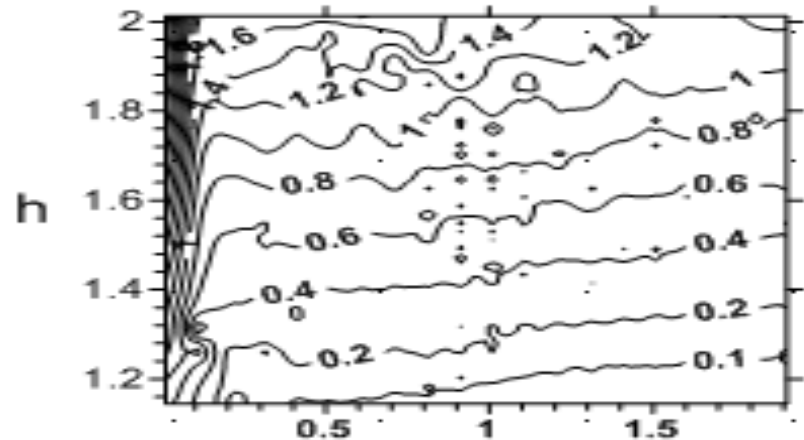
$$\Delta I_{\text{ВГА}}^{\uparrow} < 0 \quad (\Delta I_{\text{ВГА}}^{\downarrow} = 0, \Delta I_{\text{ВГА}} < 0)$$

в моделях малых частиц с узким распределением
уменьшается восходящий КВ поток

$$\Delta S_{\text{ВГА}}^{\uparrow} < 0 \quad (\Delta S_{\text{ВГА}}^{\downarrow} = 0, \Delta S_{\text{ВГА}} > 0) \quad \text{и} \quad \Delta S_{\text{ВГА}} > \Delta I_{\text{ВГА}},$$

в моделях больших частиц с широким распределением
увеличивается восходящий КВ поток

$$\Delta S_{\text{ВГА}}^{\uparrow} > 0 \quad (\Delta S_{\text{ВГА}}^{\downarrow} = 0, \Delta S_{\text{ВГА}} < 0) \quad \text{и} \quad |\Delta S_{\text{ВГА}}| < |\Delta I_{\text{ВГА}}|.$$

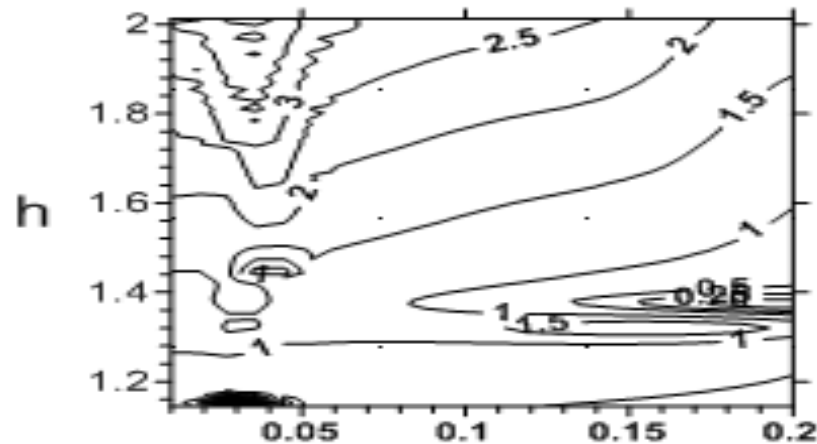


$\lambda = 0.55 \mu\text{м}$

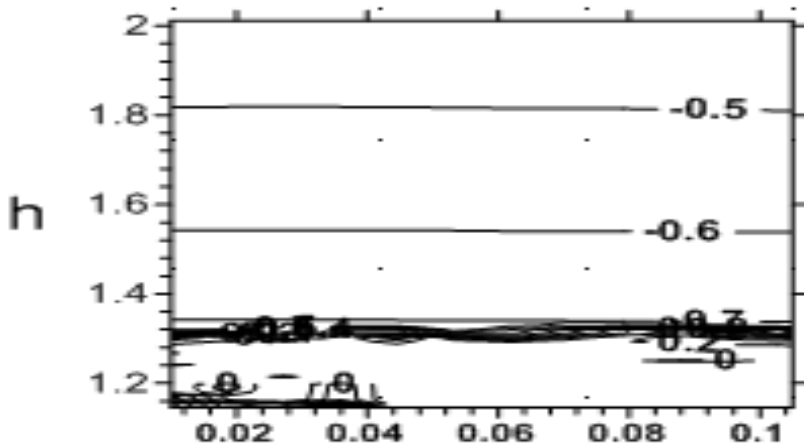
Изолинии разности

$$\Delta_1 = \frac{K_{\text{пр}} - K_{\text{дв}}}{K_{\text{дв}}}$$

коэффициентов
поглощения света
монодисперсных
систем двухслойных
и просветленных
частиц
стратосферного
аэрозоля для
микроструктурных
параметров $ff(h)$ –
форм фактор, $r_{\text{nucl}}(r_1)$
– радиус
нерастворимого ядра
частиц.



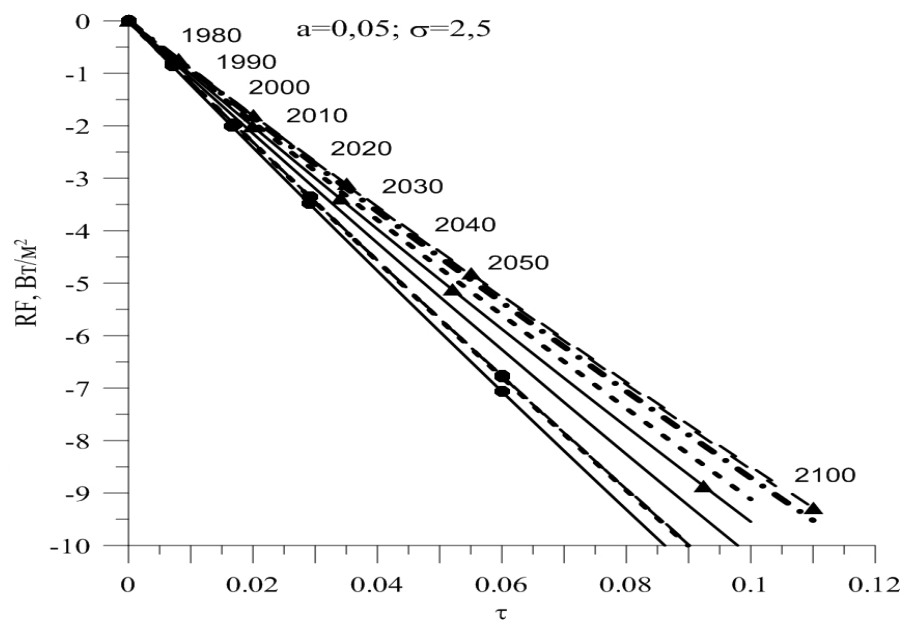
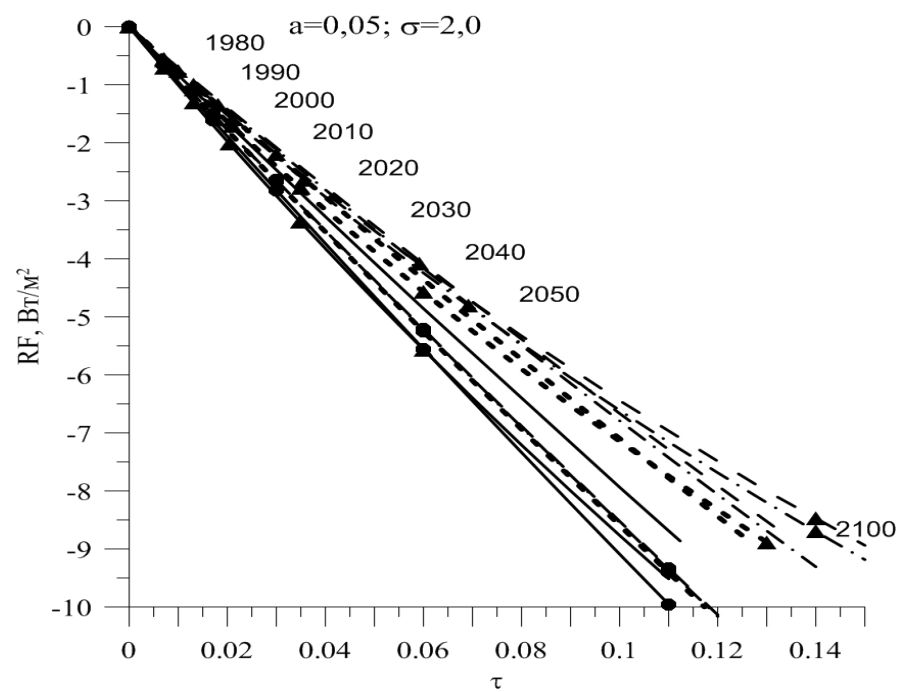
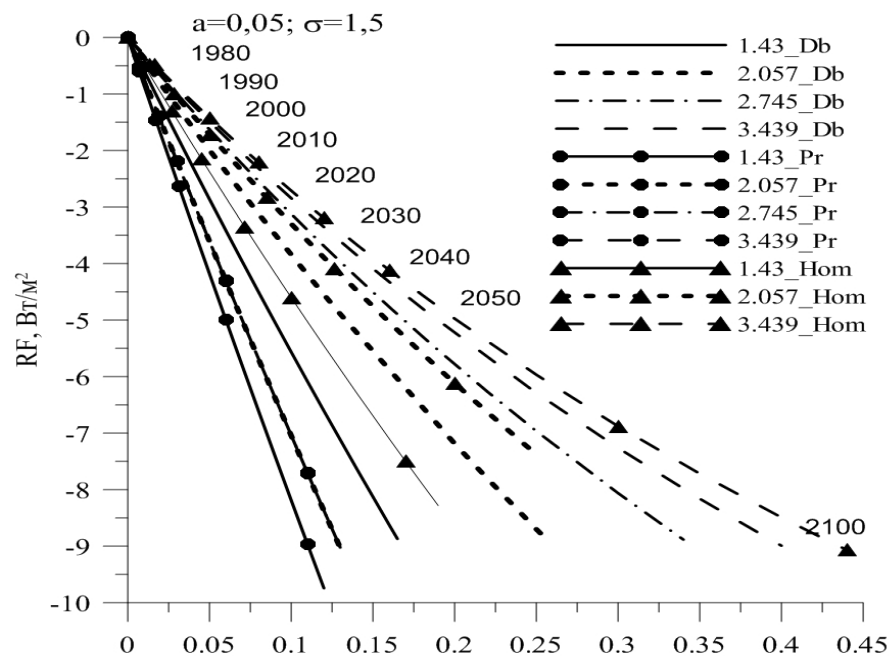
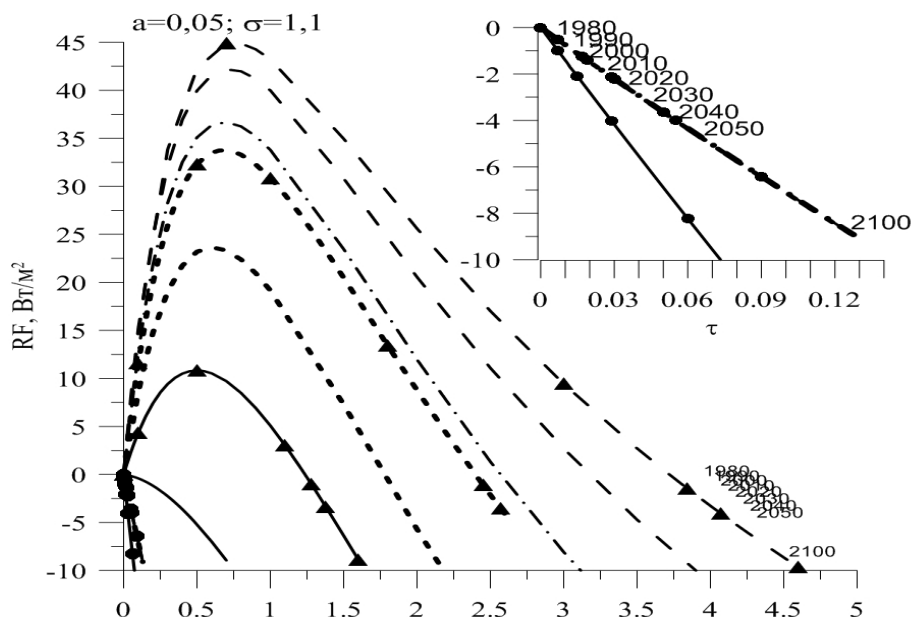
$\lambda = 1.06 \mu\text{м}$

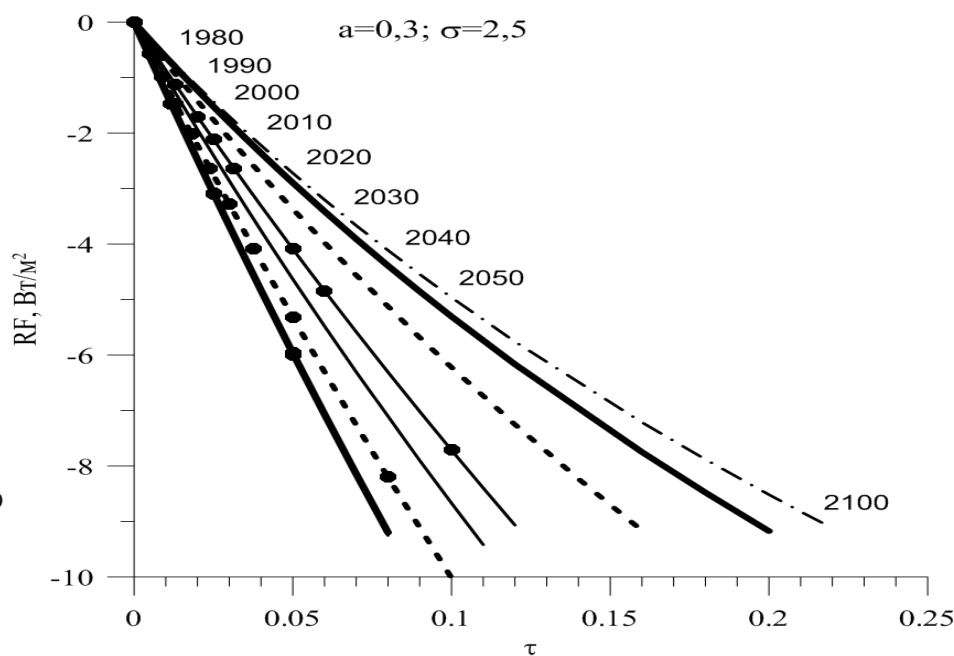
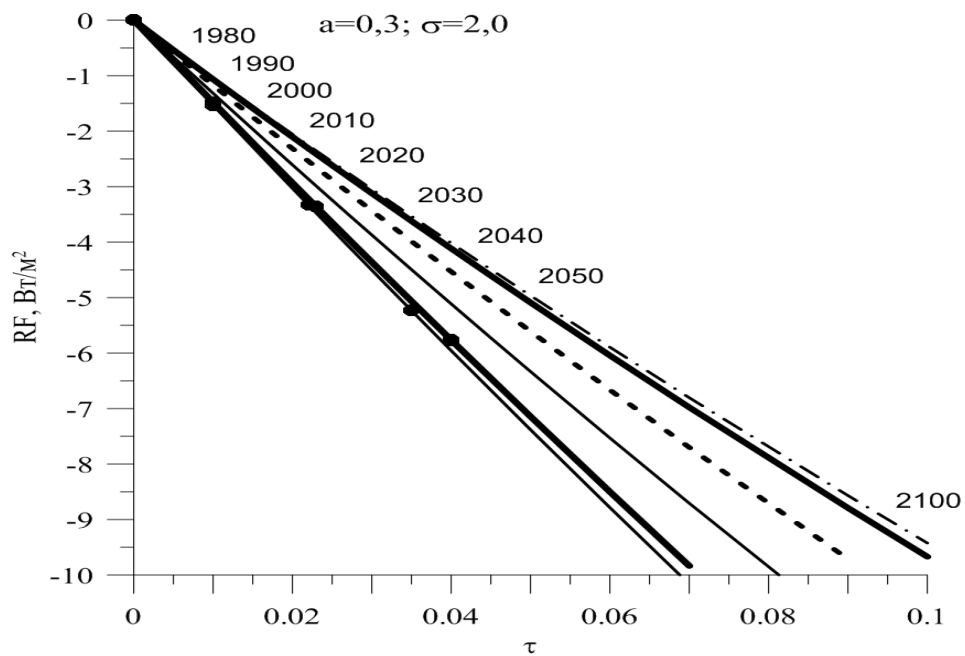
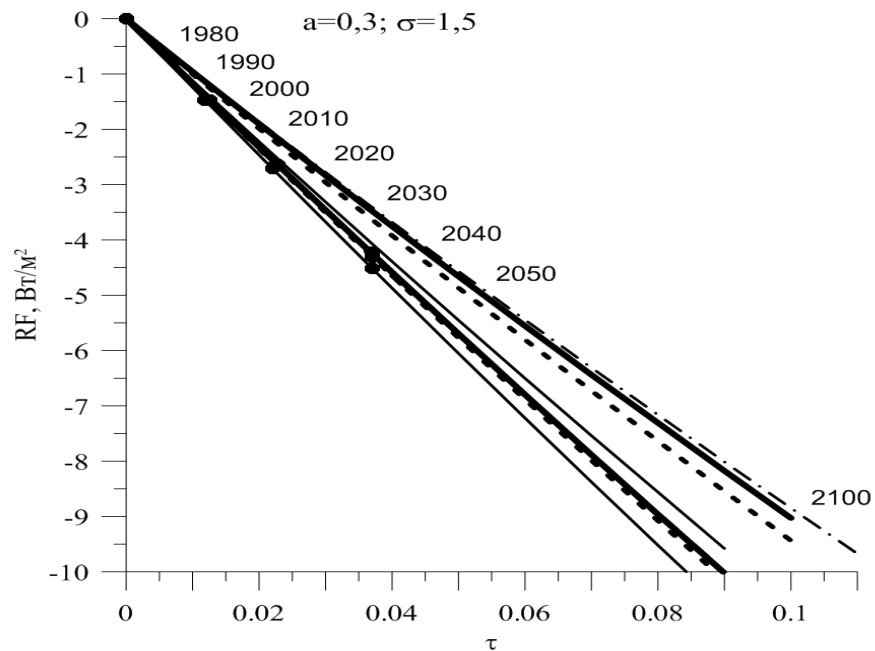
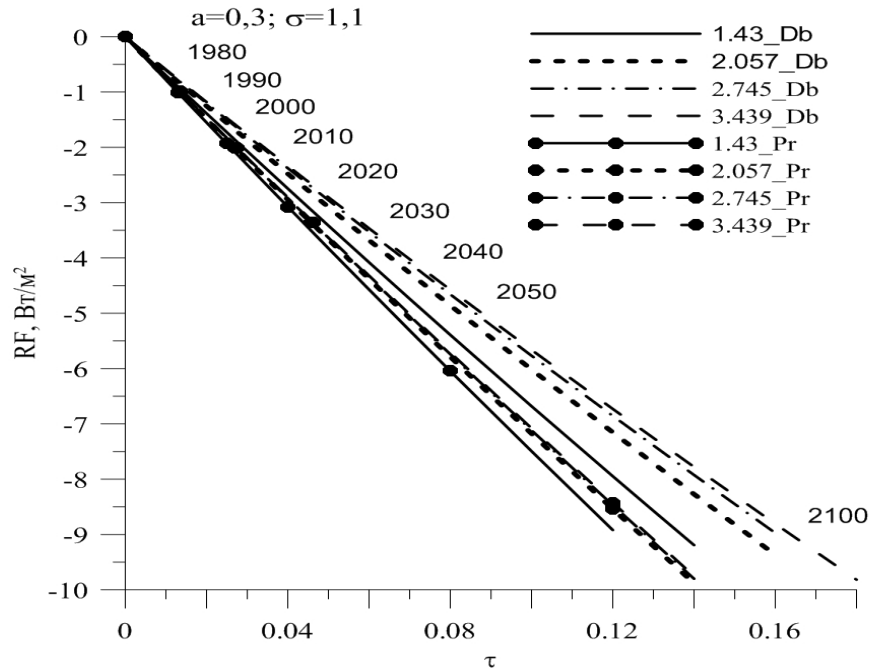


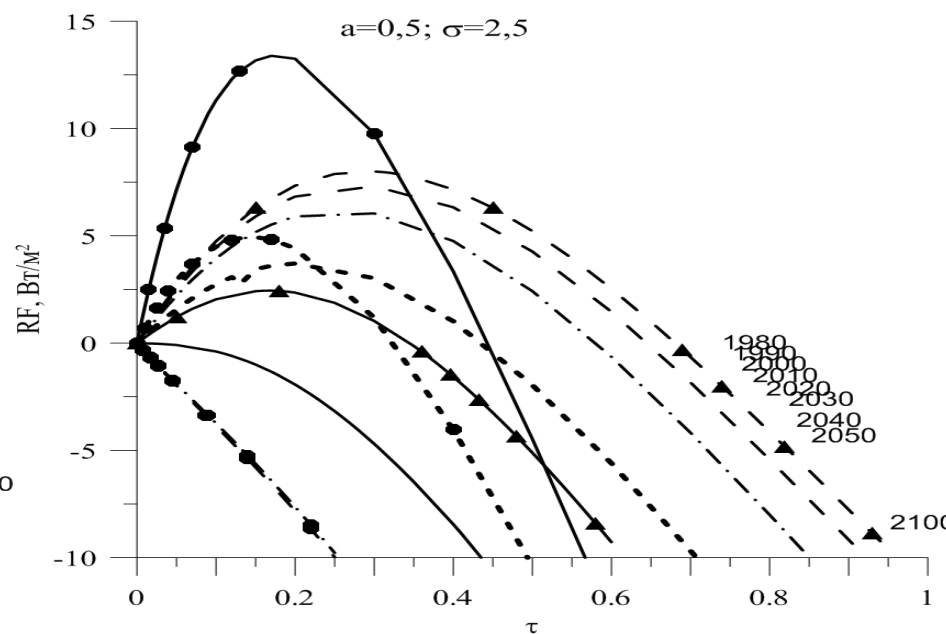
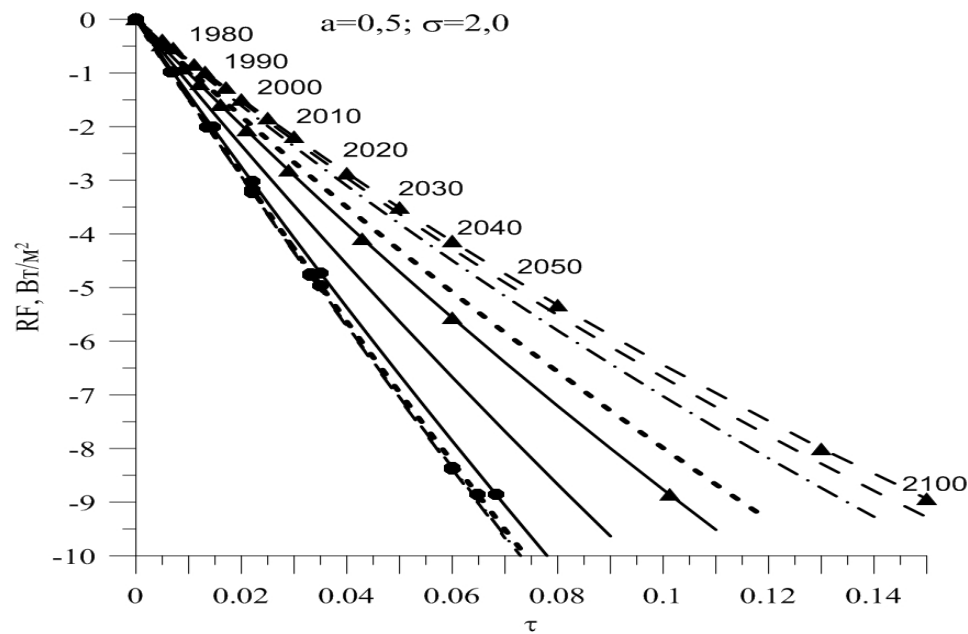
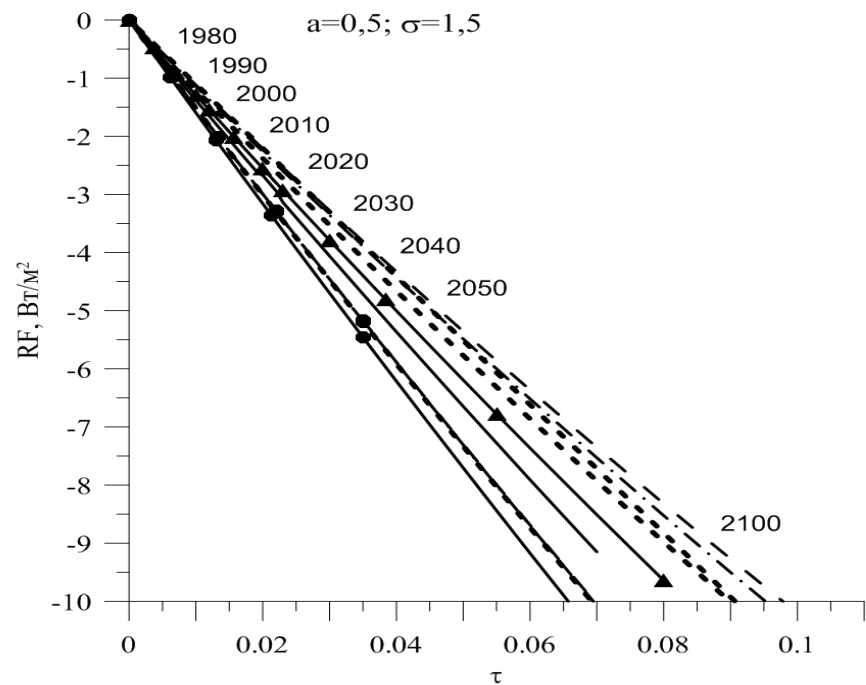
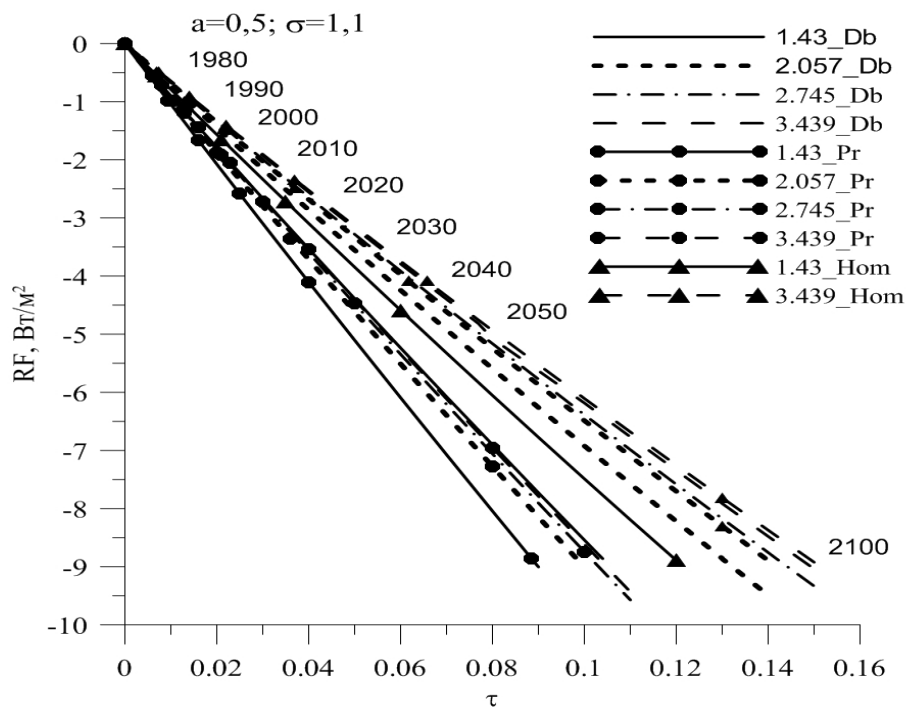
$\lambda = 10 \mu\text{м}$

r_1

2. Антипарниковые свойства аэрозолей с сернокислой оболочкой







ВЫВОДЫ:

I) Распределение по размерам частиц вулканического аэрозоля и его внутренняя структура могут оказывать существенное влияние на изменения радиационного поля;

**II) Положительный РФ обусловлен
большими оптическими толщинами в ИК диапазоне,
а отрицательный РФ –
большими оптическими толщинами в КВ диапазоне**

Увеличение эффективного потока на ВГА $\Delta R_{\text{ВГА}} > 0$
обусловлено либо:

1) при положительном РФ:

большими оптическими ИК толщинами;

2) при отрицательном РФ:

а) большой отражательной способностью в КВ
диапазоне для мелких частиц с узким распределением

б) большими оптическими ИК толщинами для
больших частиц с широким распределением

Разные ансамбли частиц приводят к одинаковым эффектам

III) В ряде случаев мгновенный радиационный форсинг, обусловленный вариациями стратосферного аэрозоля, **не является индикатором**, позволяющим сделать однозначный вывод о соответствующем изменении температуры поверхности;

IV) Рассматриваемые двухслойные и просветленные частицы обладают более эффективными антипарниковыми свойствами (геоинжиниринг), чем частицы 75% H_2SO_4 .

Благодарю за внимание