

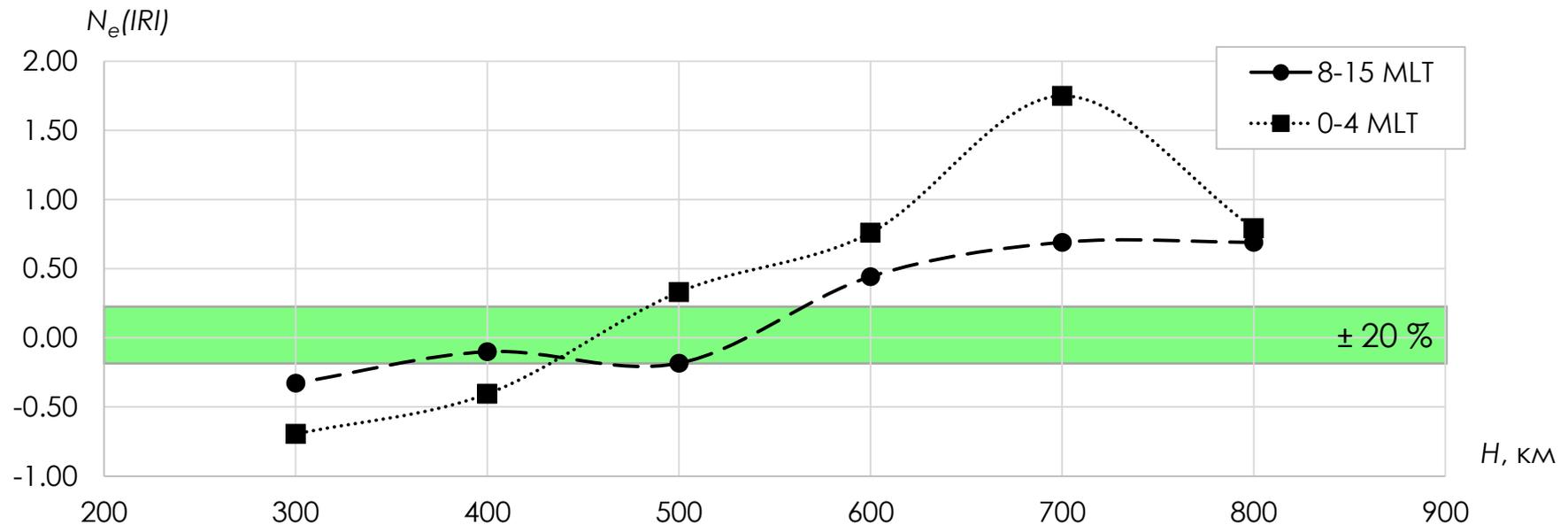
Уточнение варьируемых параметров детерминированно-вероятностной модели D-области ионосферы на основании экспериментальных данных

Беккер С.З., Ляхов А.Н.

Необходимость вероятностного моделирования

- Ионосфера – непрерывно изменяющаяся среда
- Необходимость решения прикладных задач (вероятность надежного установления связи, вероятность точного определения местоположения объекта)
- Низкая точность международной справочной модели IRI

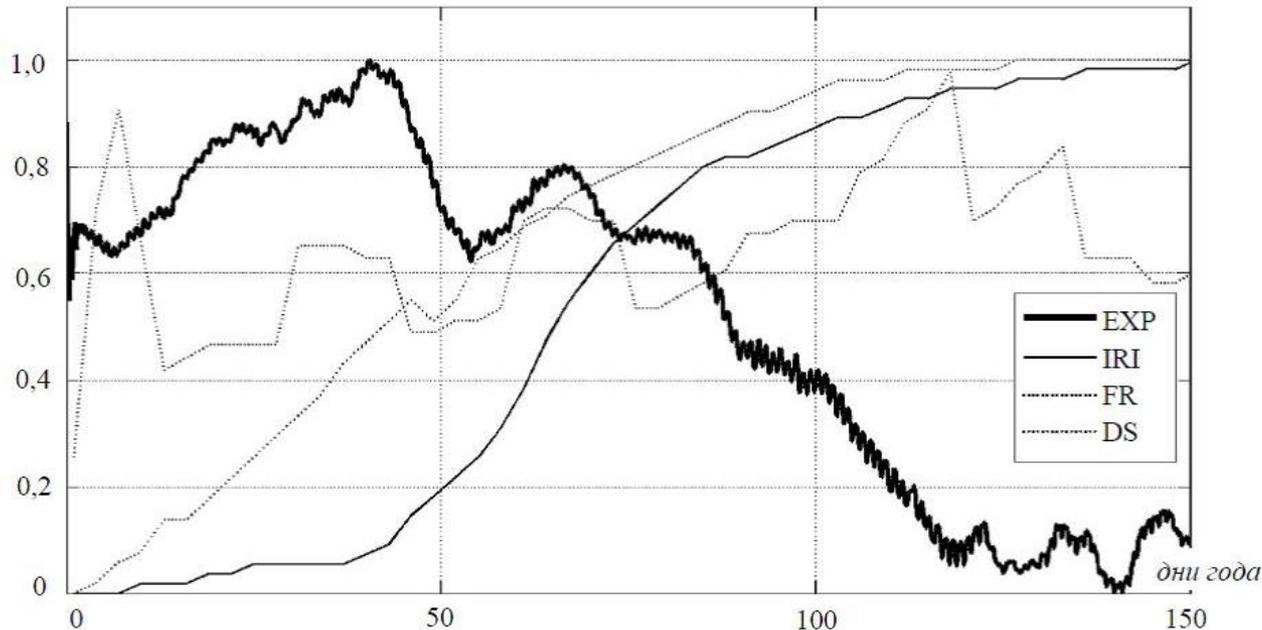
$$\frac{N_e(\text{эксп}) - N_e(\text{IRI})}{N_e(\text{IRI})}$$



Необходимость вероятностного моделирования

- Ионосфера – непрерывно изменяющаяся среда
- Необходимость решения прикладных задач (вероятность надежного установления связи, вероятность точного определения местоположения объекта)
- Низкая точность международной справочной модели IRI

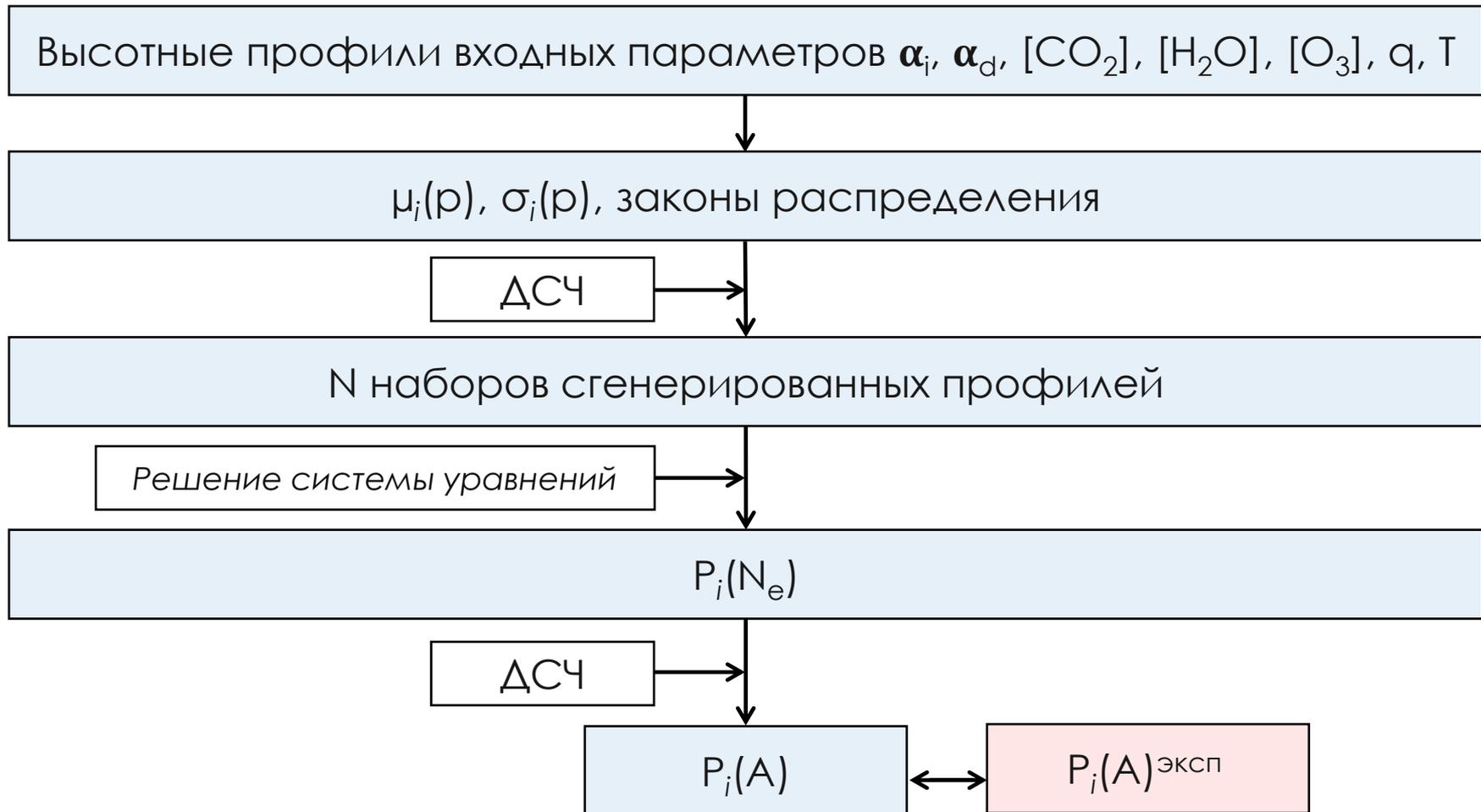
A, отн. ед.



Эксперимент :

- DCF 77 ($50^\circ, 9^\circ$) → Михнево ($55^\circ, 38^\circ$)
- $L = 2023$ км
- $f = 77,5$ кГц
- 2013 год

Суть детерминированно-вероятностного направления моделирования



i – гелиогеофизические условия

Детерминированно-вероятностная модель

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d[NO^+]}{dt} = q - 4 \cdot 10^{-7} \left(\frac{300}{T} \right)^{1/5} [NO^+] N_e - B[NO^+] - \alpha_i [NO^+] ([O_2^-] + [C\beta^-]); \\ \frac{d[O_2^-]}{dt} = 1.4 \cdot 10^{-29} \left(\frac{300}{T} \right) \exp\left(-\frac{600}{T}\right) [O_2]^2 N_e - 0.33[O_2^-] - 6 \cdot 10^{-10} [O_3][O_2^-] - \alpha_i [O_2^-] ([NO^+] + [C\beta^+]) - 4 \cdot 10^{-31} [O_2]^2 [O_2^-]; \\ \frac{d[C\beta^+]}{dt} = B[NO^+] - \alpha_d [C\beta^+] N_e - \alpha_i [C\beta^+] ([O_2^-] + [C\beta^-]); \\ \frac{d[C\beta^-]}{dt} = 6 \cdot 10^{-10} [O_3][O_2^-] + 4 \cdot 10^{-31} [O_2]^2 [O_2^-] - \alpha_i [C\beta^-] ([NO^+] + [C\beta^+]); \\ \frac{dN_e}{dt} = \frac{d[NO^+]}{dt} + \frac{d[C\beta^+]}{dt} - \frac{d[O_2^-]}{dt} - \frac{d[C\beta^-]}{dt}; \end{array} \right.$$

$B = B(T, [H_2O], [N_2], [CO_2])$ – скорость перехода обычных ионов в сложные кластеры

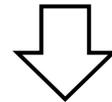
Варьируемые параметры

Вариант 2014 года

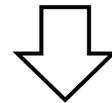
Параметр	Среднее значение	Пределы изменения	Закон распределения
α_i	10^{-7}	$10^{-8} - 10^{-6}$	равномерный
α_d	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}$	равномерный
CO ₂	$10^{-4} \cdot ([O_2] + [N_2])$	$(10^{-5} - 10^{-3}) \cdot ([O_2] + [N_2])$	нормальный
H ₂ O	$10^{-6} \cdot ([O_2] + [N_2])$	$(10^{-7} - 10^{-5}) \cdot ([O_2] + [N_2])$	нормальный
O ₃	[O ₃]	$(0,2 - 3) \cdot [O_3]$	равномерный
q	q _{ср}	$(0,1 - 10) \cdot q_{ср}$	нормальный

Цель работы

Цель работы – уточнение исходных параметров уравнений ионизационно-рекомбинационного цикла D-области ионосферы по экспериментальным банкам данных



лучшее согласие с экспериментом



повышение точности прогнозирования распространения радиоволн

Генерация значений с помощью ДСЧ

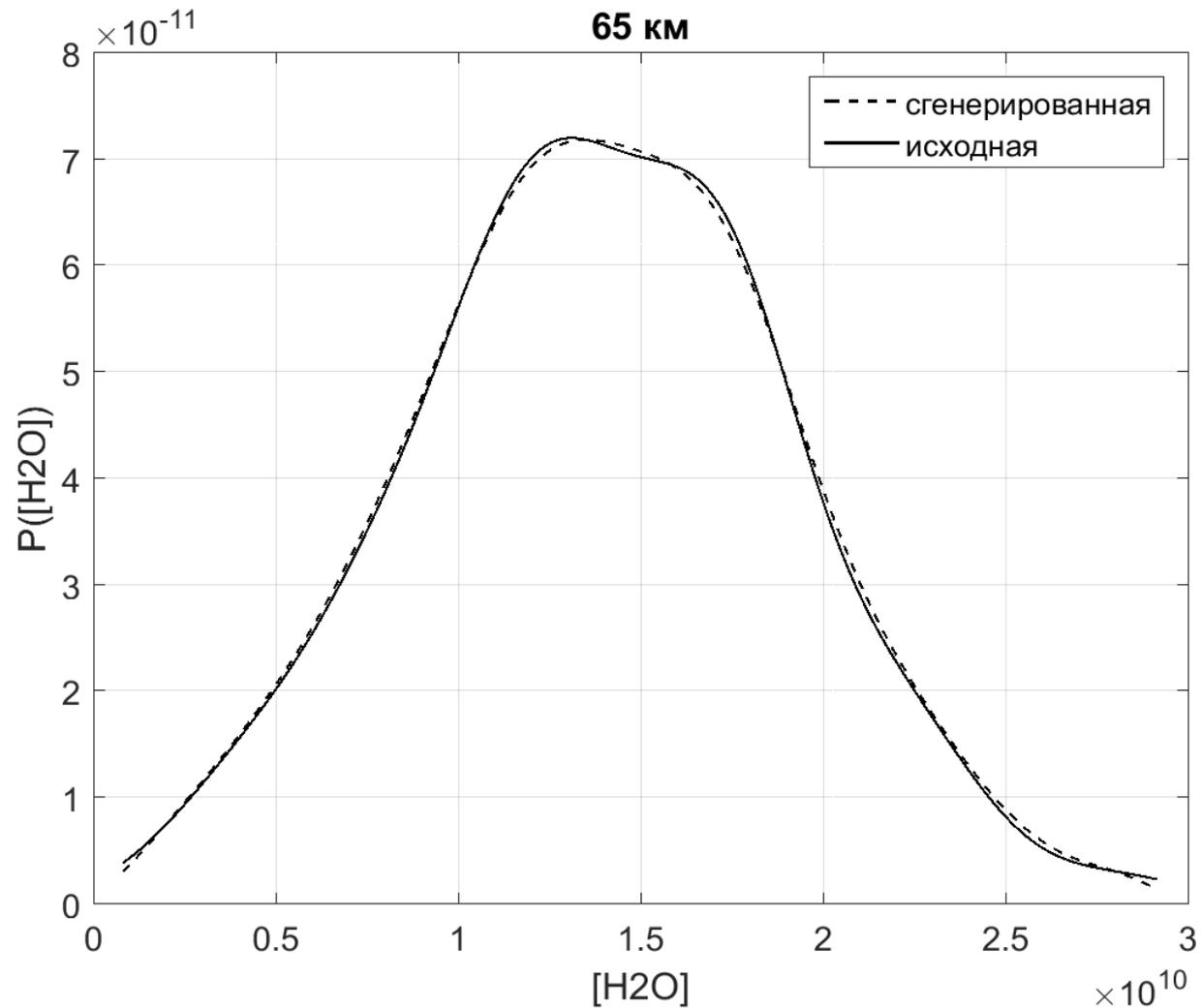
AURA и TIMED

[CO₂]

[O₃]

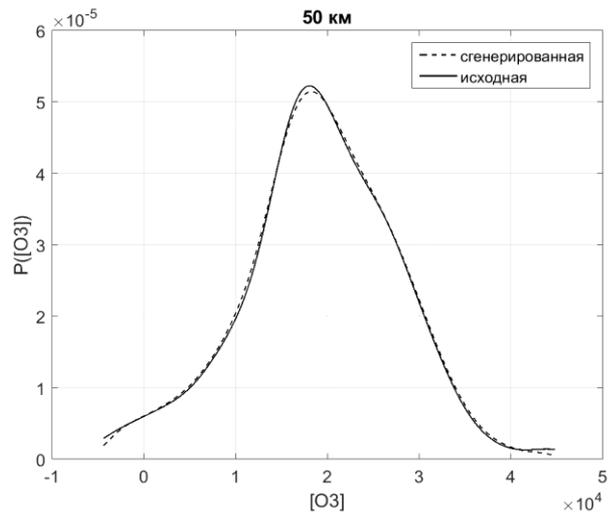
[H₂O]

T

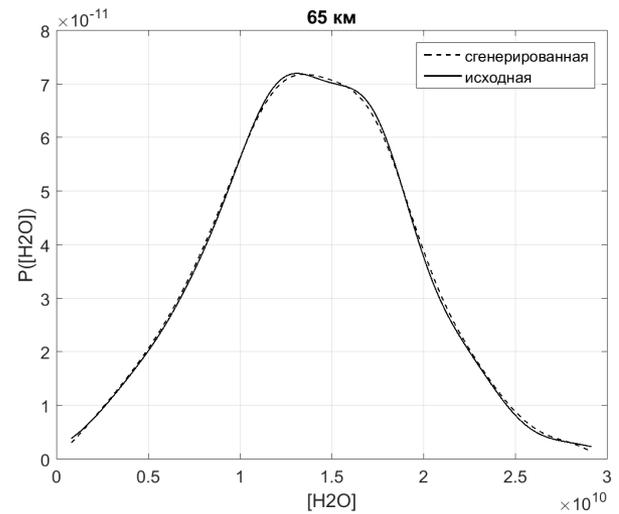


Генерация значений с помощью ДСЧ

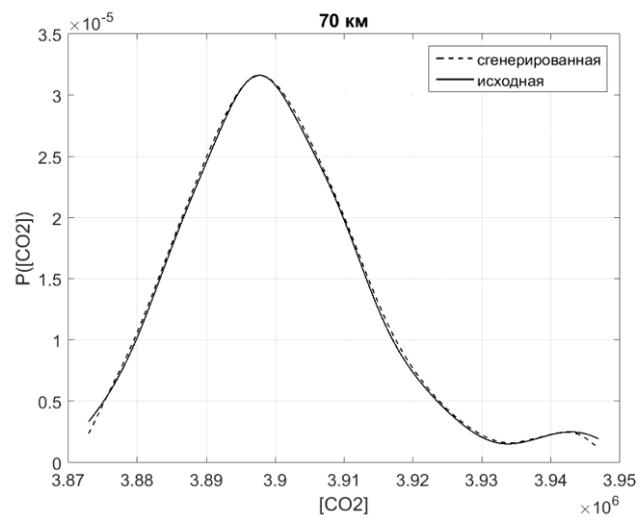
O₃



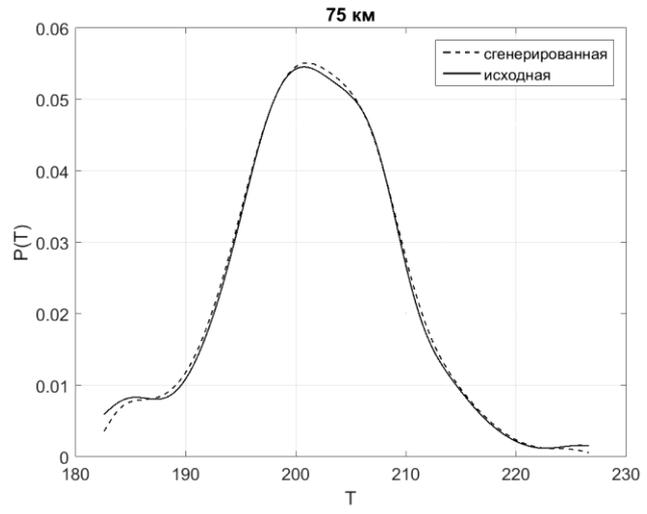
H₂O



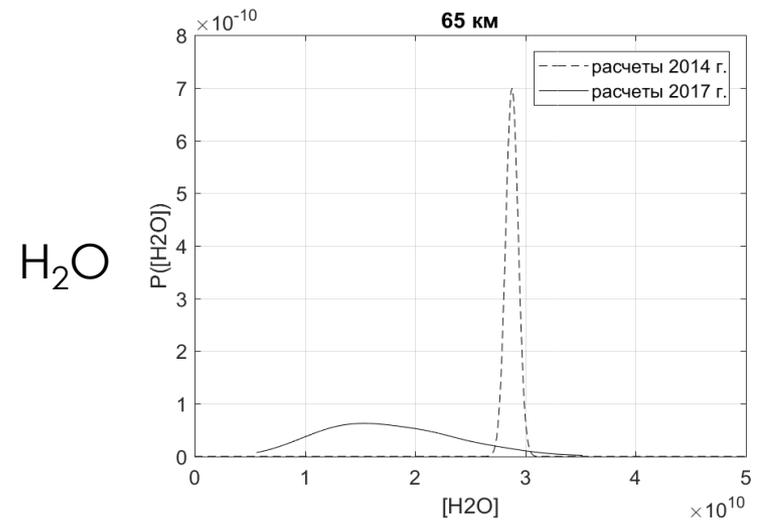
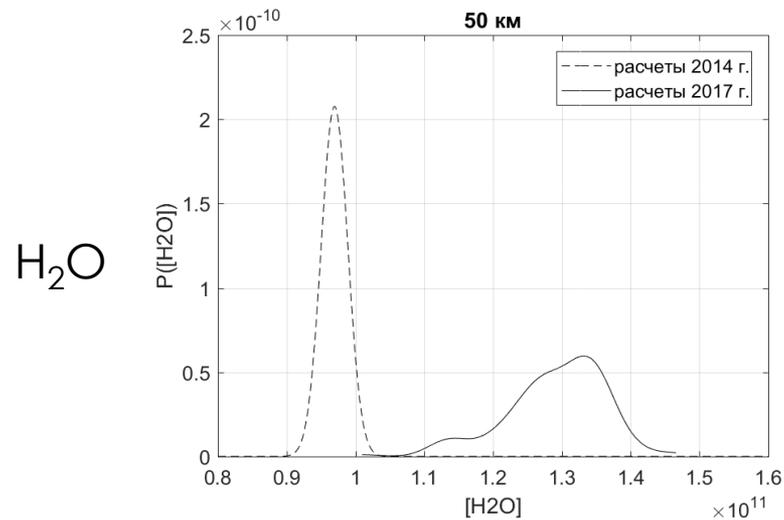
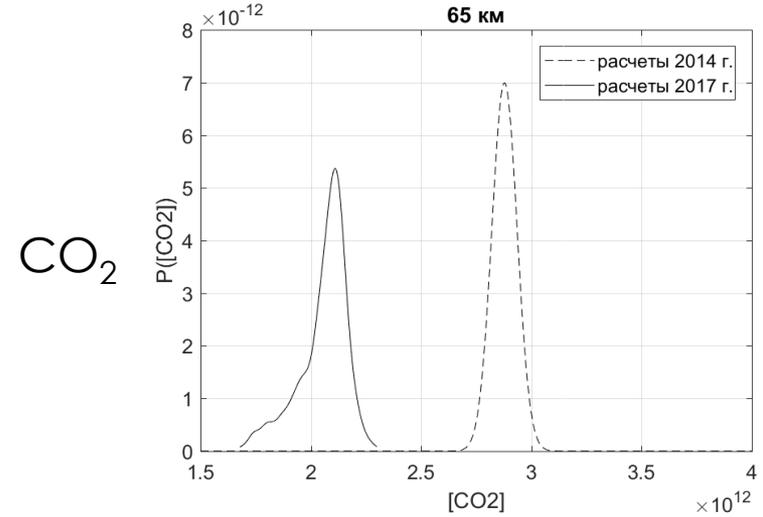
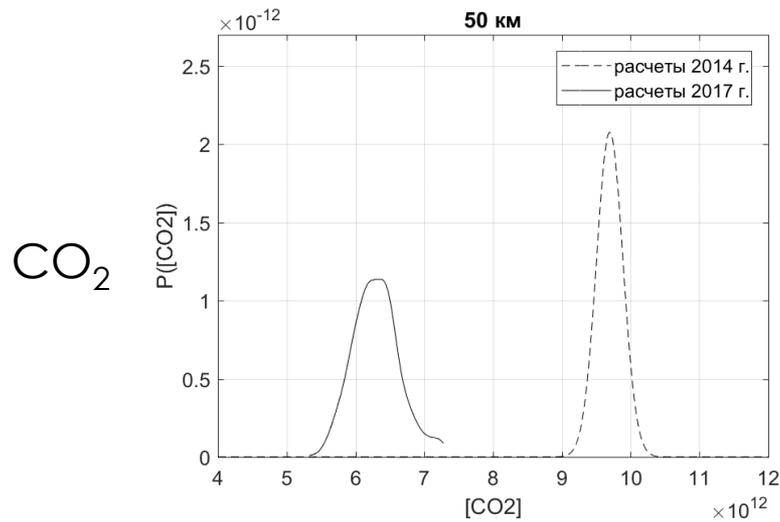
CO₂



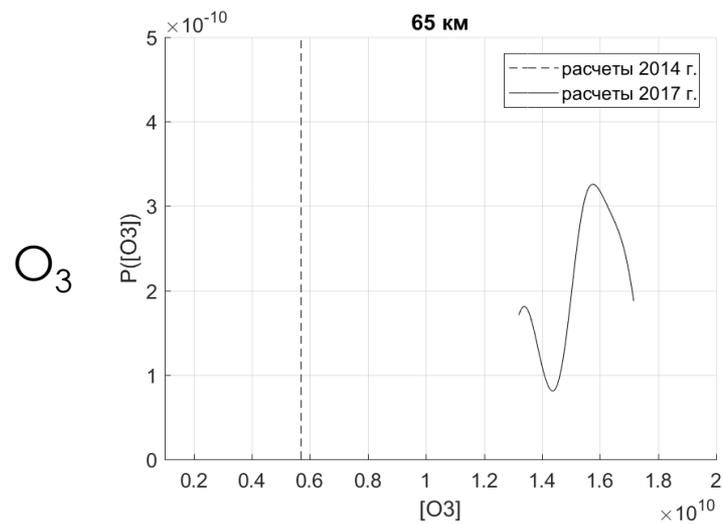
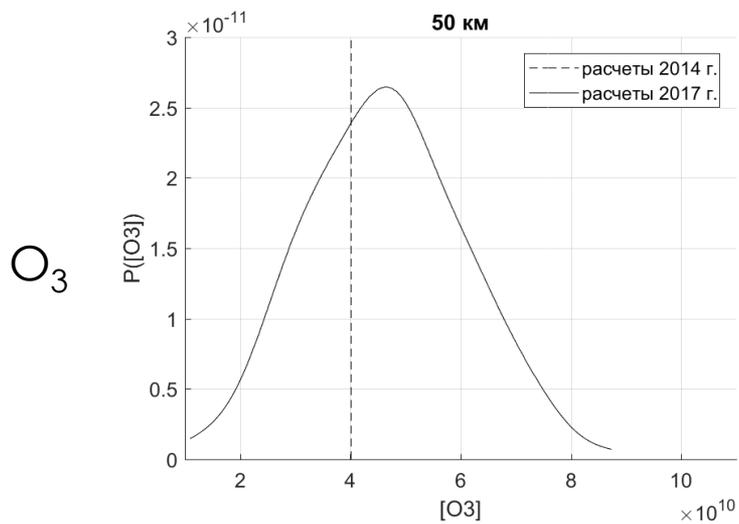
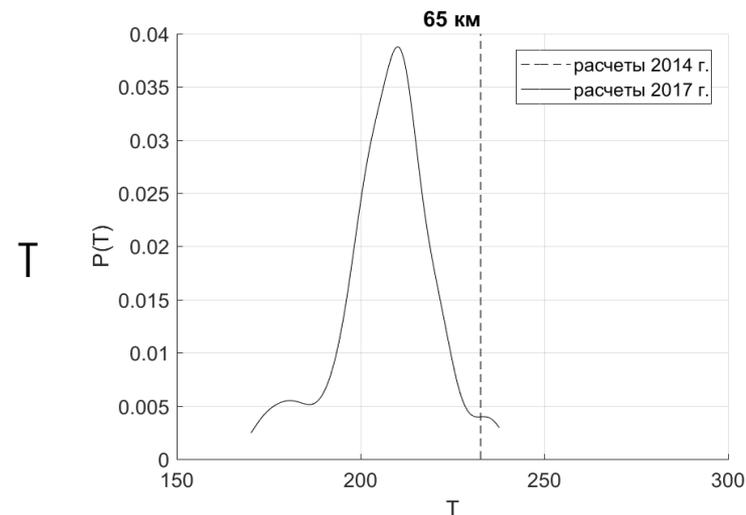
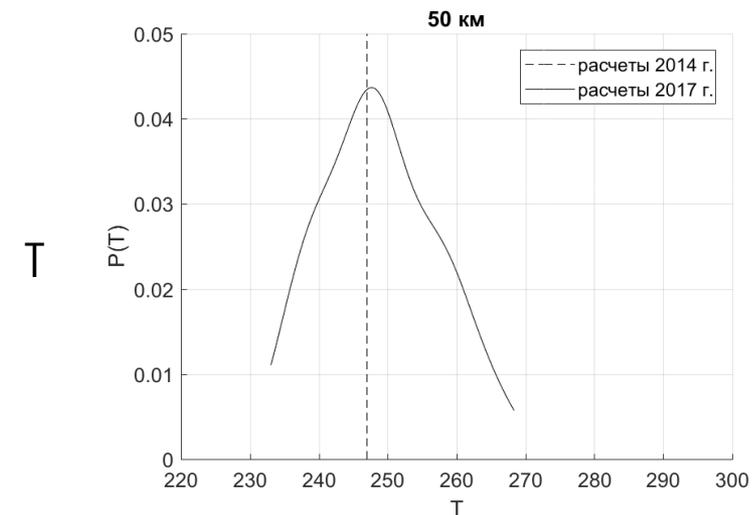
T



Плотность вероятности распределения [CO₂] и [H₂O]



Плотность вероятности распределения температуры и $[O_3]$



Выводы

2014 год

- произвольно выбранные законы распределения и пределы варьирования
- грубое разбиение на дневные и ночные часы
- ограничение средними широтами
- спокойные геомагнитные условия

2017 год

- обработка массивных БД входных параметров
- генерирование профилей согласно реальному распределению величин
- среднеширотная, полярная и меридианная трассы
- различные условия солнечной и магнитной активности

Уточнение входных параметров модели с помощью БД необходимо для лучшего согласия с экспериментом

Заключение

- Вероятностное моделирование помимо ярко выраженного прикладного использования имеет фундаментальное значение, связанное с отказом от детерминированного описания среды
- Модели ионосферы всегда целесообразно верифицировать по радиофизическим моделям
- Электронная концентрация наиболее чувствительна к скорости ионизации
- Принципиальный шаг повышения точности модели – обработка экспериментальных БД концентрации $[N^o]$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ