



# Модель для глобального мониторинга биоактивной УФ радиации

Фомин Борис Алексеевич, ЦАО, b.fomin@mail.ru

## 1. Введение

**Приложение I к Венской конвенции об охране озонового слоя. Исследования и систематические наблюдения**

1. Стороны Конвенции признают, что главными научными проблемами являются:

- а) изменение озонового слоя, которое может иметь результатом **изменение интенсивности солнечного ультрафиолетового излучения, влияющего на живые организмы (УФ-Б) и достигающего поверхности Земли, и возможные последствия для здоровья человека, ..., экосистем.**

В «ПОЛОЖЕНИИ о федеральной государственной информационной системе состояния окружающей среды» (ФГИС, от 19.03.2024 г.) прописано, что ЦАО должно поставлять в ФГИС «Суточные значения общего содержания озона в виде ГЛОБАЛЬНЫХ карт полей».

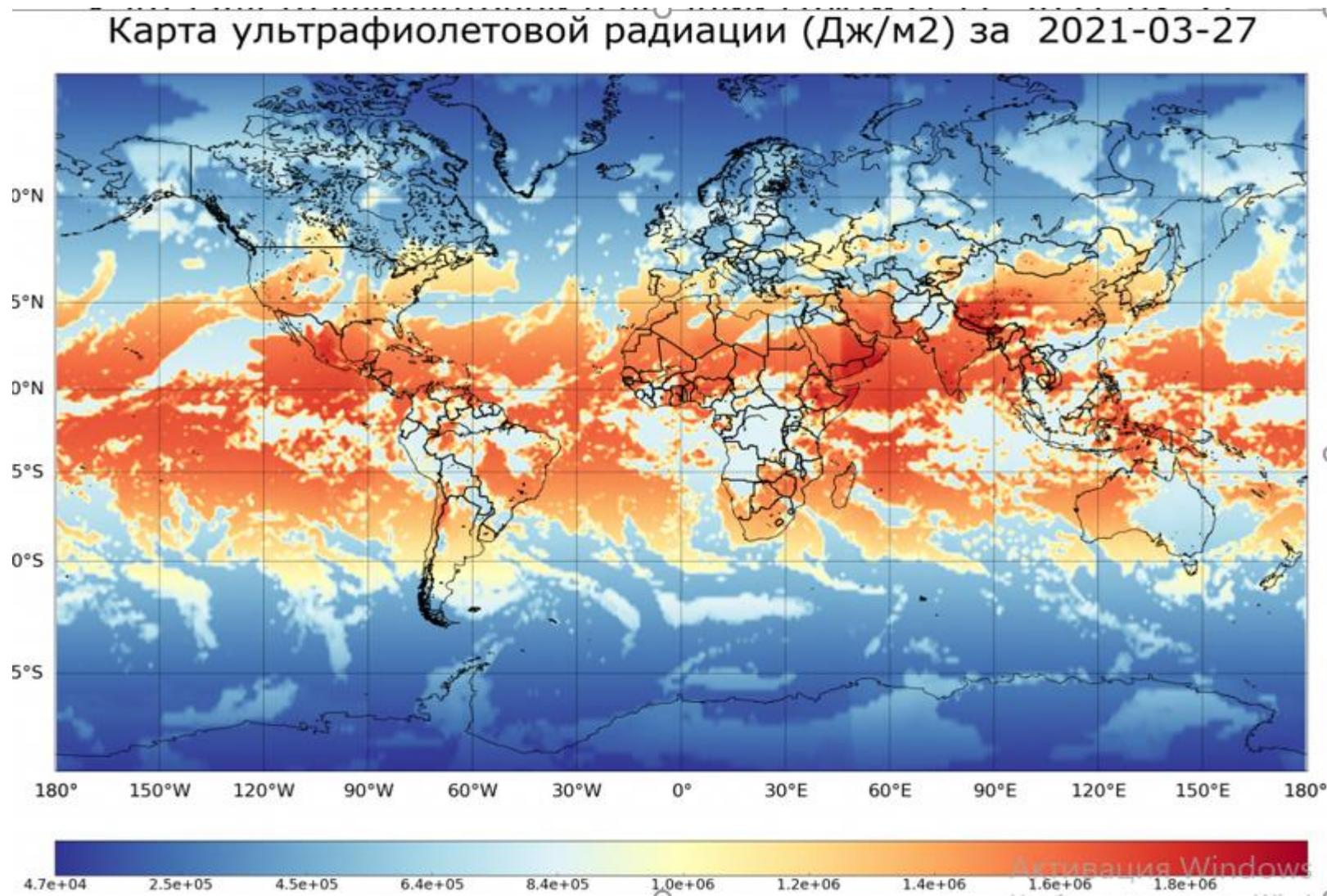
⇒ ЦАО более 10 лет поставляет в Росгидромет ежедневные глобальные карты ОСО (используются спутниковые данные прибора ОМІ и др.) Т.В. Банкова.

Day: 269 Sep 26, 2025 OMI TO3 STD OZONE GEN:25:271 Asc LECT: 02:23 pm Longitudes: 360 bins centered on 179.5 W to 179.5 E (1.00 degree steps) Latitudes : 180 bins centered on 89.5 S to 89.5 N (1.00 degree steps) ...  
... 3453443423433383333330333333327323319324333334335335339339337334333333329325 322316304302301297295294294292290290  
0311310309308307306305304299297295295 291288284285284282281282284281280280286287287287285283285290293297298299302  
307311323322326322321316315318316306291287286283272270268267266266264265265 264270273276280282283283282285284  
0309310310310309311321324327326325326329 327331332334335337335337337337331309309307307299296294291289286287289292294  
302300298299298296299297297300299299297295295295297300301301304307310312311 311310311313316315317316 lat = 56.5....

Но для людей требуется не ОСО, а мониторинг изменений в потоках биоактивной УФ радиации на земной поверхности. **В 2015 г., под руководством Антона Сергеевича Вязанкина, была разработана модель получающая из поля ОСО поле УФ радиации.**

## 2. Модель 2015 г.

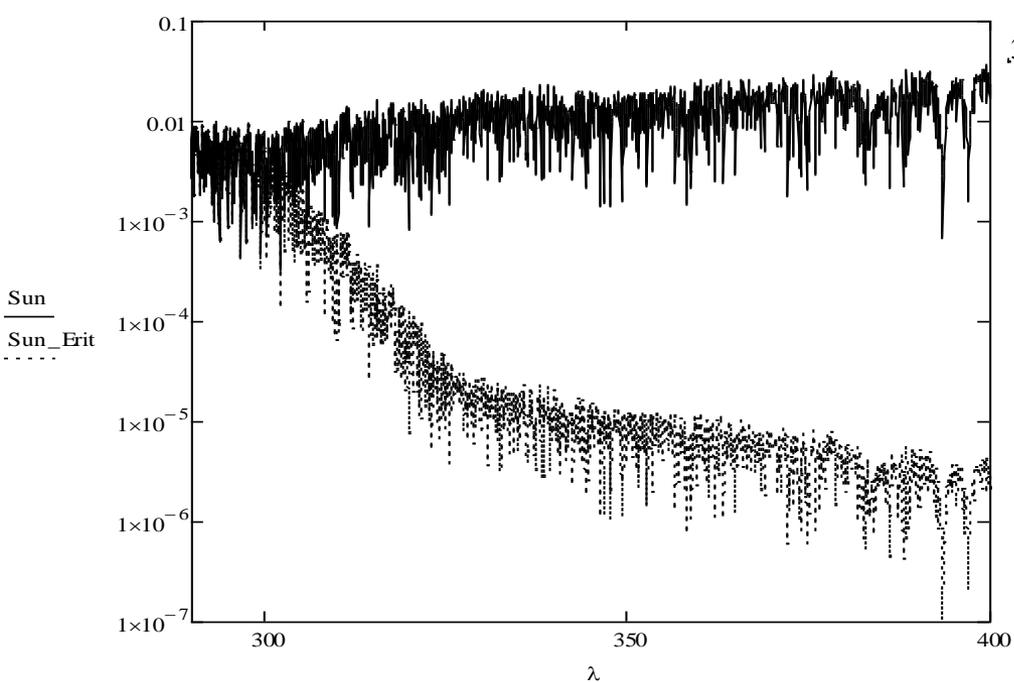
*Пример работы модели: расчёт глобального поля доз УФ радиации (280-400нм)*



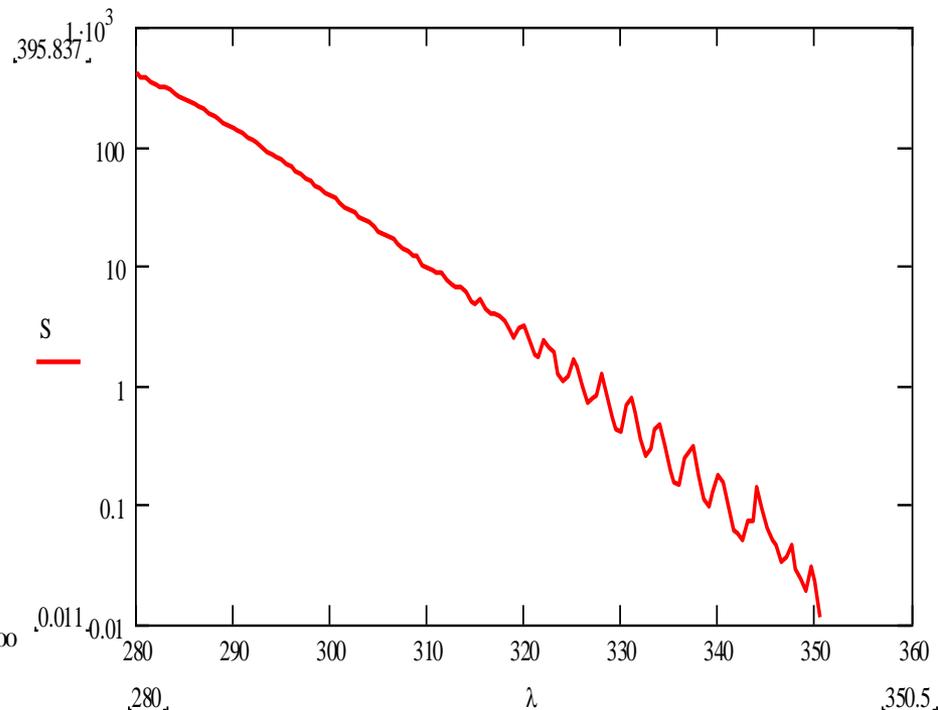
**Недостаток: ~ 10 часов вр. расч. на сетке  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  (~100x100км) по шир. и долготе.  
(Проблемы с орографией. Расстояние от Кисловодска до Эльбруса ~100 км.)**

### 3а. Моделирование УФ радиации (идеи и ссылки)- «эталонная» модель.

*Спектры солнечного излучения и сечения поглощения УФР озоном (Molina)*



**Солнечный спектр- без и с учётом эритемного фактора**



**Спектр поглощение озоном**

**MODEL FOR AN INVESTIGATION OF RADIATIVE TRANSFER IN CLOUDY ATMOSPHERE. Fomin B.A., Mazin I.P. Atmospheric Research. 1998. T. 47-48. № 1. C. 127-153. (МНТЦ-поддержка США) (метод Монте-Карло)**

**Применение эталонной модели. INTERCOMPARISON OF SHORTWAVE RADIATIVE TRANSFER CODES AND MEASUREMENTS. Halthore R.N., ..., Fomin B., +20. Journal of Geophysical Research. 2005. T. 110. № 11. C. 1-18.**

## 3б. Моделирование УФ радиации (идеи и ссылки)- «быстрая» модель.

**Метод «K-distributions» – Виктор Амазаспович Амбарцумян (Ленинград, ~ 1936 г.)**

[Ambartzumian V. The effect of the absorption lines on the radiative equilibrium of the outer layers of the stars. Publ. Obs. Astron. Univ. Leningrad 1936; 6: 7-18.

**Идея:** заменить сложные непрерывные спектры «искусственными», из **нескольких спектр. «точек»**. Сколько точек – столько надо решать уравнения переноса радиации.  
**=> Выигрыш во времени расчёта интегральных потоков несколько порядков.**

**Проблема-** как получить эти искусственные спектры!!!

**А. “correlated-K” (Lacis@Oinas (~1990) и т.п.)**

Две стадии получения искусственных спектров:

- упрощение спектров (например сглаживание);
- вставление их в РТ модель и проверка. Если точность плохая то опять упрощение и т.д. *В любом случае получение спектров из спектров.*

**Б. FKDM (Фомин, 2005 г.) Оказался более эффективным.**

*Получение искусственных спектров из «эталонных» решений уравнений переноса.*

A k-distribution technique for radiative transfer simulation in inhomogeneous atmosphere: 2, FKDM, fast k-distribution model for the shortwave. Fomin B.A., M.De.P. Correa. Journal of Geophysical Research. 2005. T. 110. № 2. p.1-10

**УФ-** Effective parameterizaion of absorption by gaseous species and unknown UV absorber in 125-400 nm region of Venus atmosphere. M. Razumovskiy, B.Fomin. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2022. T.286. p. 108201.

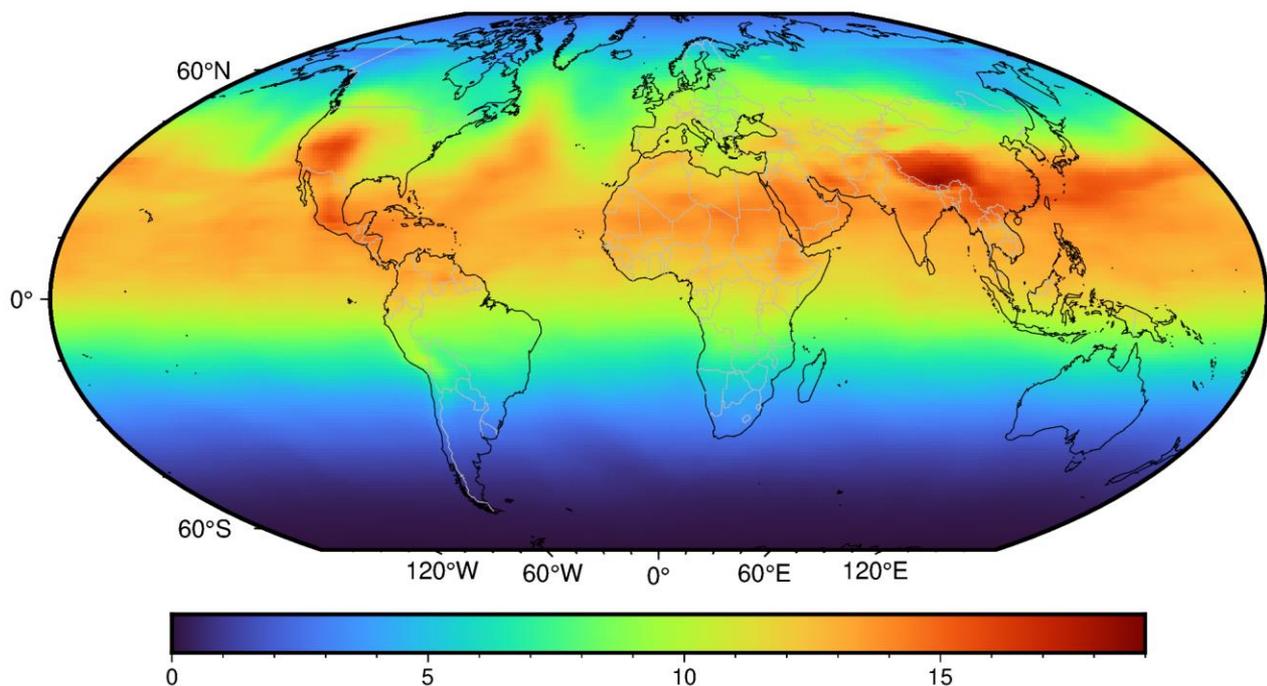
**=> 8 решений уравнений переноса радиации-** но это для интервала 125-400 нм.

**Биоактивная радиация 280-400 нм.**

### Зв. Моделирование биоактивной УФ радиации (280 -400 нм) - «быстрая» модель.

Теперь в модели уравнения переноса решаются **только 1 раз!!!**

И из глобальной карты ОСО рассчитывается глобальная карта величин характеризующих УФ радиацию (дозы, УФИ и т.п.) **вместо 10 часов за ~ 1 секунду.**



**УФИ на Земле 14 июля 2025 г.(солнечный полдень, безоблачные условия)**

Effective parametrizations of biologically active UV-radiation absorption by atmospheric ozone. Fomin V.A., Kolokutin G.E. Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. Т. 30. № 6, p. 495-501.

(УФ-А, УФ-Б, эритема, онкология, офтальмология, витамин-Д, растения и т.п.)

Выч. точность ~ 5%. Точность ультрафиолетометра фирмы Kipp&Zonen - 5%.

## 4. Проблема исходных данных. Пример: модель МГУ (Н.Е.Чубарова, moms.ru)

Широта, градусы: 56 Широту нужно вводить в десятичном формате

Долгота, градусы: 38 Долготу нужно вводить в десятичном формате. Отрицательные значения для Западного полушария.

Высота места над уровнем моря, км: 0.143

Введите альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра

Трава - 2%; деревья и снег - 40%; свежий снег в радиусе 1 км - 70% Использовать климатическое значение альbedo

Введите общее содержание озона, единицы Добсона

Использовать климатическое значение общего содержания озона, единицы Добсона

Общее содержание озона, единицы Добсона: В диапазоне 150...490 ед.Добсона

Введите аэрозольную оптическую толщину на длине волны 380 нм. Использовать климатическое значение

Облачность: Ясное небо, Средние облачные условия. Введите облачное пропускание в УФ-диапазоне спектра

Облачное УФ-пропускание:

**УФ-оптимум**

В диапазоне 0...1

**полуденная доза эритемной УФР = 134.94**

Месяц:

**Дж/м<sup>2</sup>**

Сентябрь

День:

**суточная доза эритемной УФР = 760.22**

25

**Дж/м<sup>2</sup>**

Тип кожи:

**AOT380 = 0.29,**

1

Какой у вас тип кожи?

**ОСО, ед.Добсона = 300.24,**

Степень открытости тела человека:

**альbedo, % = 5.18,**

1

**SMF = 0.65**

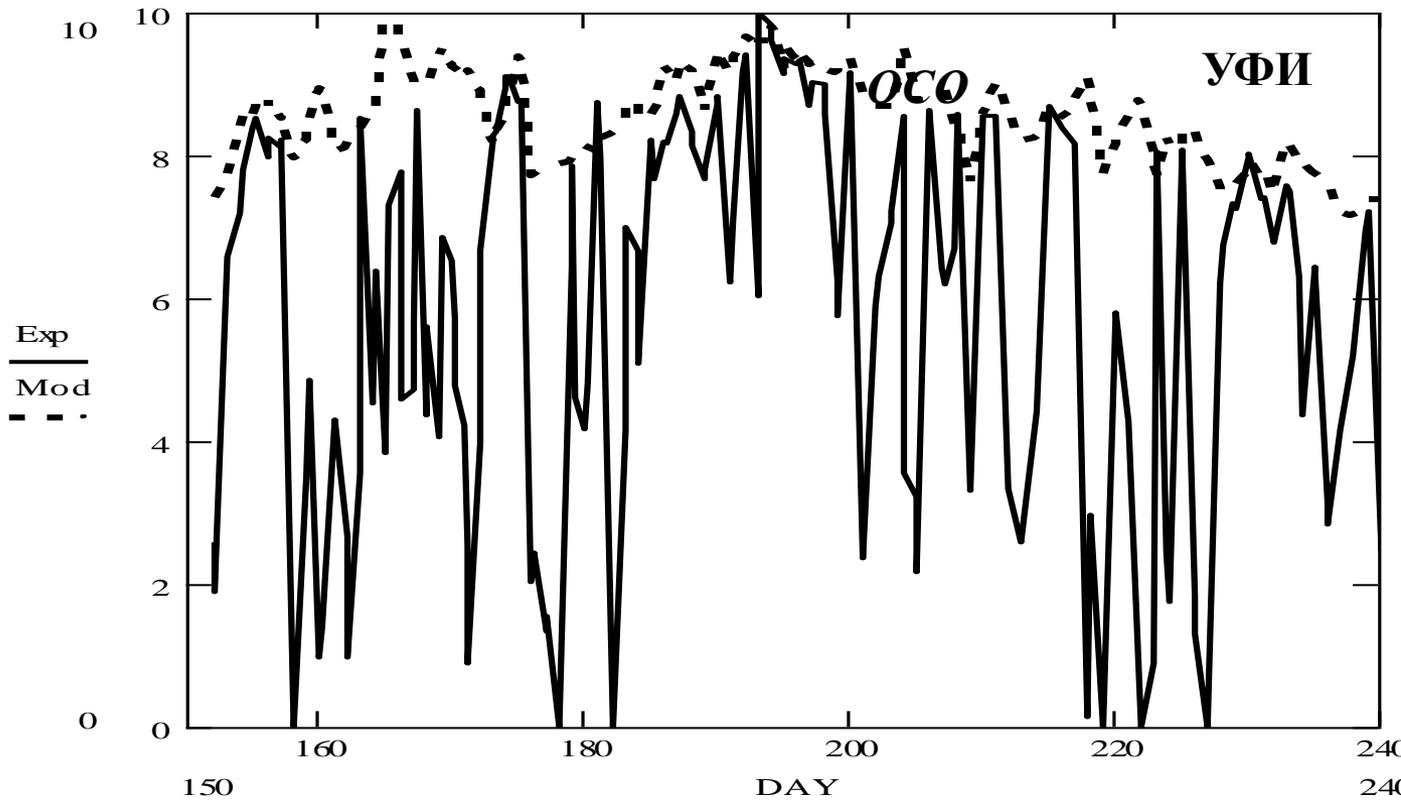
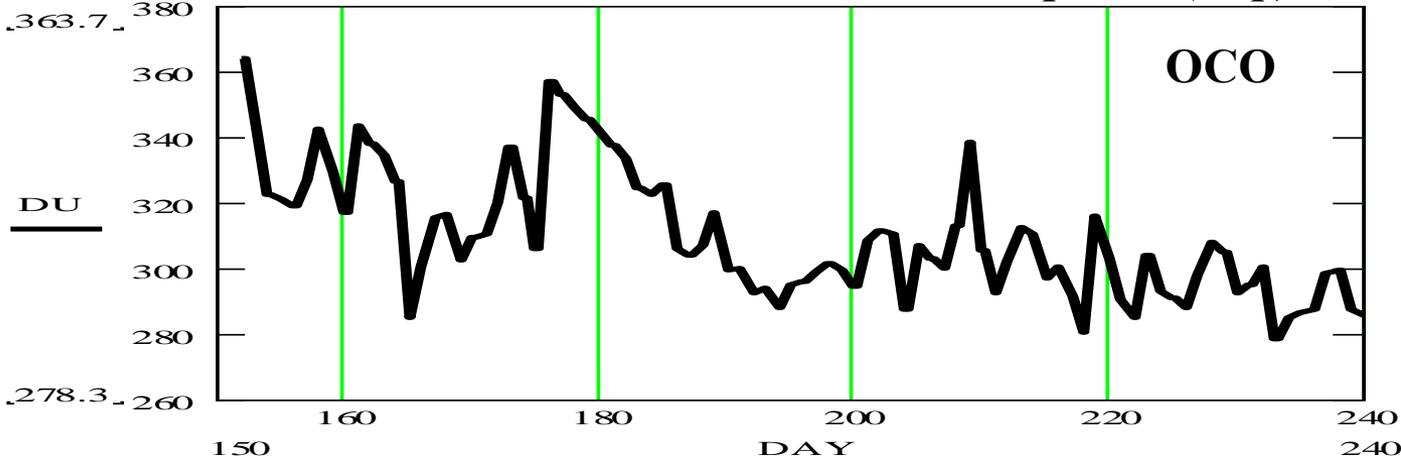
Все тело - 1; голова и шея - 0.09; руки - 0.18; ноги - 0.36;

ладонь и пальцы - 0.01

Методика оценки УФ ресурсов описана в статьях: N. Chubarova, Ye. Zhdanova, Ultraviolet resources over Northern Eurasia, Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, Elsevier BV (Netherlands), V. 127, p. 38-51, 2013

# 5. Модель и эксперимент.

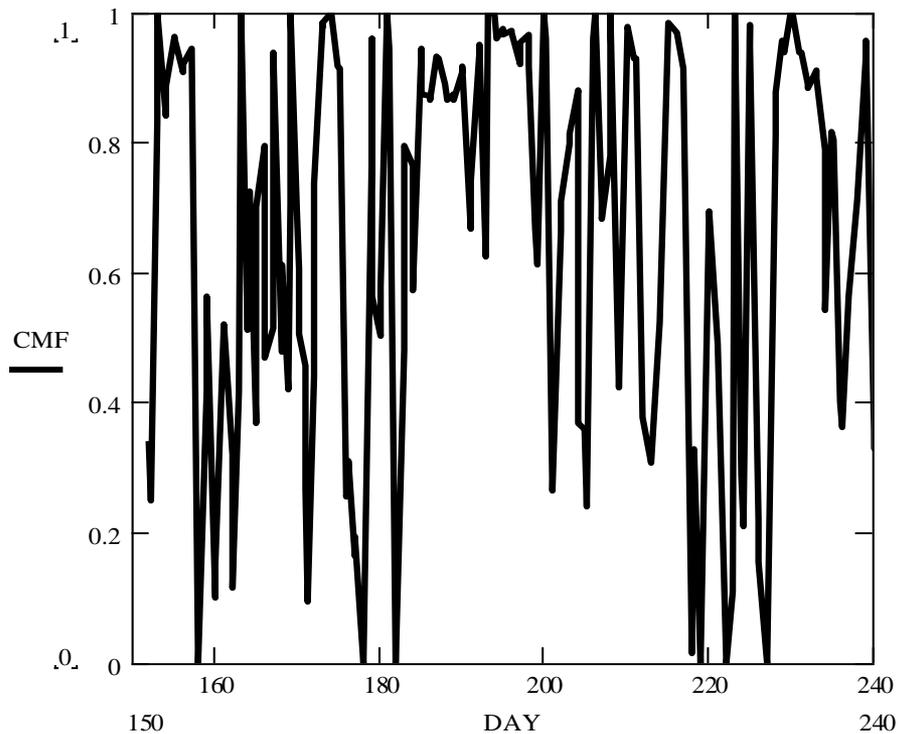
Лето-2025 г. Кисловодск. ОСО (DU) и УФИ – измерения (Exp) и модель (Mod, ясно).



**8-10 риск эритемы  
очень высокий.**

**6-7 риск высокий.**

## 5. Модель и эксперимент-СМФ.

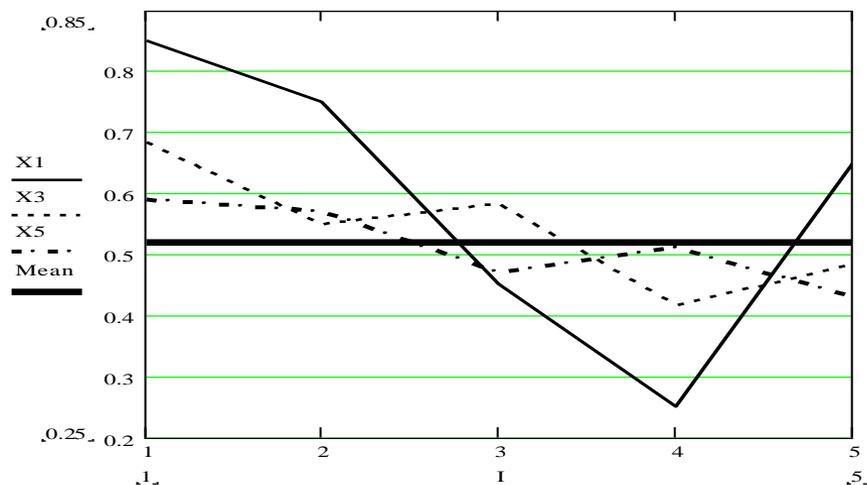
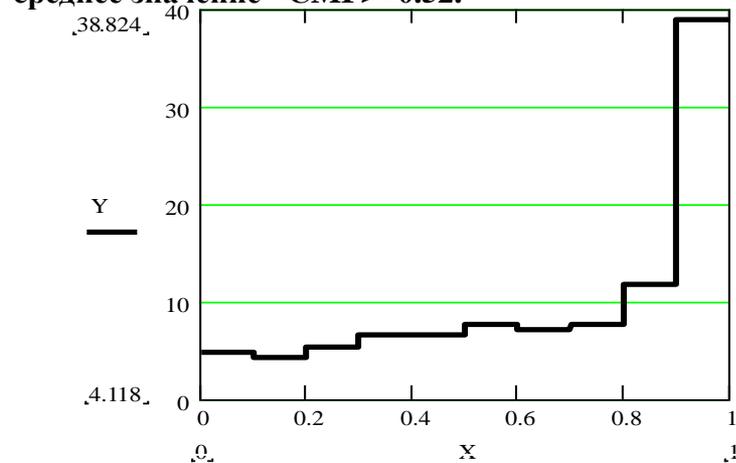


**СМФ «хорошо усредняется»!**

*Но надо проверить, как  
меняются вероятностные  
характеристики СМФ из года в  
год.*

**Так как облако не поглощает  
УФР, в принципе, СМФ меряется  
со спутников!**

Вероятность  $Y_1, Y_2, \dots, Y_{10}$  (%) наблюдения СМФ в интервалах  $0 < X_1 < 0.1, 0.1 < X_2 < 0.2, \dots, 0.9 < X_{10} < 1.0$ . На отрезке  $0.0 - 0.9$  среднее значение  $\langle \text{СМФ} \rangle = 0.52$ .



Численный эксперимент. Среднее значение СМФ при розыгрыше в соответствии с распределением вероятностей.  $X_1, X_3, X_5$ - количество усредняемых величин (или дней в курсе лечения) в каждой из  $I=1,2,3,4,5$  серии испытаний.

## **6. Заключение.**

- 1. Быстродействие разработанной модели вполне позволяет выполнять моделирование УФР на глобальной сетке координат с разрешением даже  $0.1 \times 0.1$  градуса по широте и долготе. Быстродействие и пространственное разрешение может быть ещё более повышено (на 2-3 порядка) с использованием возможностей современных многопроцессорных компьютеров.**
- 2. Выполнять расчёты следует для условий безоблачной атмосферы с учётом орографии и альбедо поверхности. Облачность учитывается с помощью фактора ослабления CMF (Cloud Modification Factor) уже после расчёта. И определение CMF является отдельной задачей. (В принципе этот фактор может быть измерен и со спутника.) Учёт аэрозоля также является отдельной задачей.**

**Благодарю за внимание!**