



ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Двадцать четвёртая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

О развитии пакета pyNusinov – библиотеке моделей солнечного XUV/EUV/FUV излучения А. А. Нусинова

Б. Е. Прохоров[1], О. В. Золотов[2], Ю. В. Романовская[2], А. А. Татарников[1,2], Ю. А. Шаповалова[1,3]

[1] Научно-исследовательская лаборатория «Компьютерное моделирование физических процессов в околоземной среде», Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия

[2] Кафедра информационный технологий, Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия

[3] Лаборатория радиопросвечивания, Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

г. Москва, 9-13 ноября 2026 г.

Введение

Ранее в Мурманском арктическом университете был разработан программный пакет **pyNusinov,** предоставляющий Python3-реализацию эмпирических моделей солнечного излучения **FUVT2021** и **EUVT2021**, созданных д-ром физ.-мат. наук А. А. Нусиновым.

Настоящая работа посвящена версии 2.0 пакета pyNusinov, в которой в дополнение к **FUVT2021** и **EUVT2021** добавлены модели **FUVT2019**, **EUVN1992** и **XUVN1992**. В результате эти модели в совокупности описывают спектральный диапазон 0,1-242 нм, разбивая его на интервалы и/или отдельные линии.

Пакет **pyNusinov** размещён в стандартном репозитории PyPI (https://pypi.org/project/pynusinov/) и может быть установлен с помощью стандартного менеджера Python3-пакетов PIP.

Особенности пакета pyNusinov

1. Программная реализация моделей А. А. Нусинова. Аналитические формулы и таблицы коэффициентов моделей реализованы в виде программного пакета и имеют унифицированный интерфейс.

2. Свободное распространение через официальный репозиторий PyPI. Открытый исходный код и загрузка и установка, не требующая от пользователя специальных навыков.

3. Совместимость с экосистемой Python. Работа с пакетом полностью совместима с языком Python.

Модели, реализованные в пакете pyNusinov

Модель	Входные данные	Выходные данные – интенсивность солнечного потока в [фотон $м^{-2}$ $с^{-1}$]	
		Спектральные интервалы	Спектральные линии
FUVT2021	Индекс Лайман-альфа (121-122 нм), 10^{15} [фотонов $м^{-2}$ $с^{-1}$]	Диапазон: 115-242 нм Шаг: 1 нм Интервалы: 115-116, 116-117, ..., 241-242 нм	-
EUVT2021	Индекс Лайман-альфа (121-122 нм), 10^{15} [фотонов $м^{-2}$ $с^{-1}$]	Диапазон: 5-105 нм Шаг: 5 нм Интервалы: 5-10, 10-15, …, 100-105 нм	Линии: 25.6, 28.4, 30.4, 36.8, 46.5, 55.4, 58.4, 61.0, 63.0, 70.3, 76.5, 77.0, 78.9,97.7,102.6, и 103.2 нм
FUVT2019	Индекс Лайман-альфа (121-122 nm), 10^{15} [фотонов $м^{-2}$ $с^{-1}$]	Тот же, что и у FUVT2021	-
EUVN1992	Интенсивность линии He I, $I_{58.4}$, 10^{9} [фотонов $см^{-2}$ $с^{-1}$]	Диапазон: 10-105 нм Шаг: 5 нм Интервалы: 10-15, 15-20, ..., 100-105 нм	Линии: 23.6, 28.4, 30.4, 36.8, 46.5, 55.4, 58.4, 61.0, 63.0, 70.3, 76.5, 77.0, 78.9, 97.7, 102.6, и 103.2 нм
XUVN1992	Поток в диапазоне 0.8-2 нм, $I_{0.8\text{-}2}$, 10^{7} [фотонов $см^{-2}$ $с^{-1}$]	Диапазон: 0.1-10 нм Шаг: различный Интервалы: 0.1-0.8, 0.8-1.2, 1.2-1.6, 1.6-2.0, 2.0-2.3, 2.3-3.1, 3.1-4.0, 4.0-5.0, 5.0-6.0, 6.0-7.0, 7.0-8.0, 8.0-9.0, 9.0-10.0 нм	-

Пример выполнения расчётов: EUVT2021

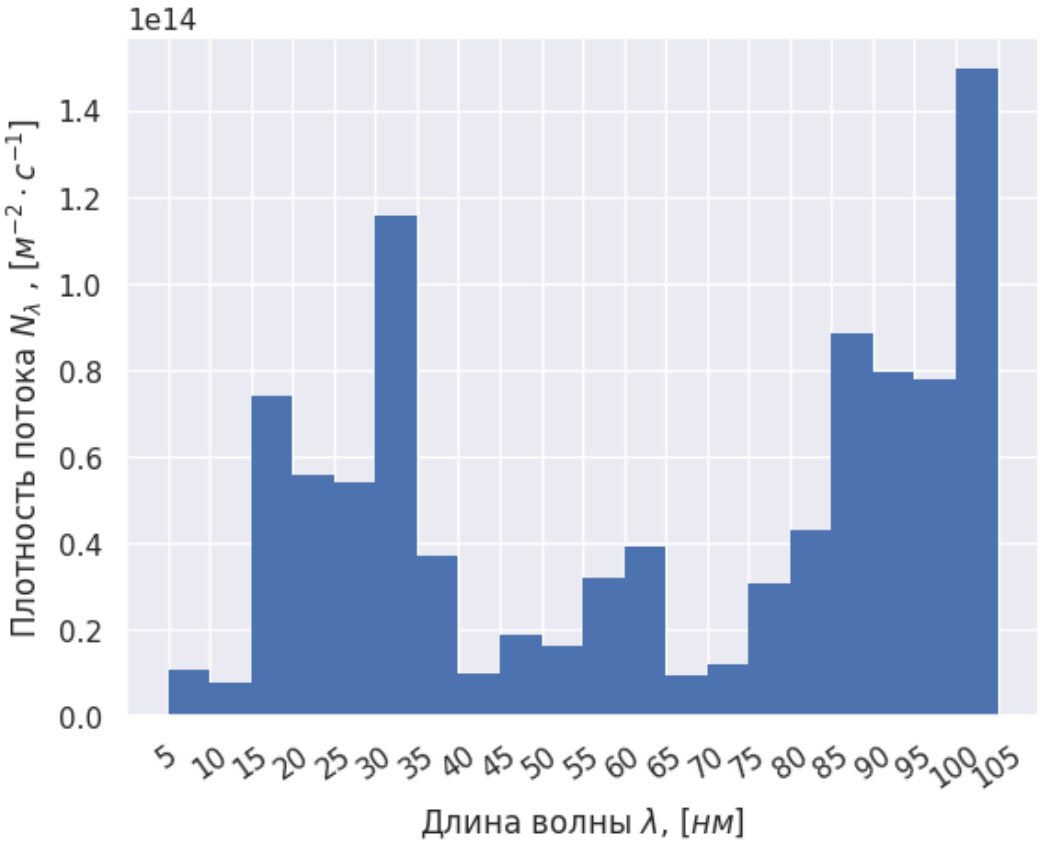
```
# (1) Импортирование модели EUVT и необходимых библиотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns; sns.set_theme()
from pynusinov import Euvt2021

# (2) Создание экземпляра модели Euvt2021
euvt = Euvt2021()

# (3) Модельный расчёт спектральных интервалов и линий
bands = euvt.get_spectral_bands(lac=4.7)

# (4) Подготовка данных для построения графика
lband = bands['lband'].to_numpy()
uband = bands['uband'].to_numpy()
euv_flux = bands['euv_flux_spectra'].to_numpy()
euv_flux = euv_flux.flatten()
spectrum_edges = np.hstack([lband, uband[-1]])

plt.xlabel(r'Длина волны $\lambda$, $[нм]$')
plt.xticks(spectrum_edges, rotation=35)
plt.ylabel(r'Плотность потока $N_\lambda$ , $[м^{-2} \cdot c^{-1}]$')
plt.stairs(values=euv_flux, edges=spectrum_edges, fill=True)
```



Пример выполнения расчётов: FUVT2021

```
# (1) Импортирование модели FUVT и необходимых библиотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as ticker
import seaborn as sns; sns.set_theme()
from pynusinov import Fuvt2021

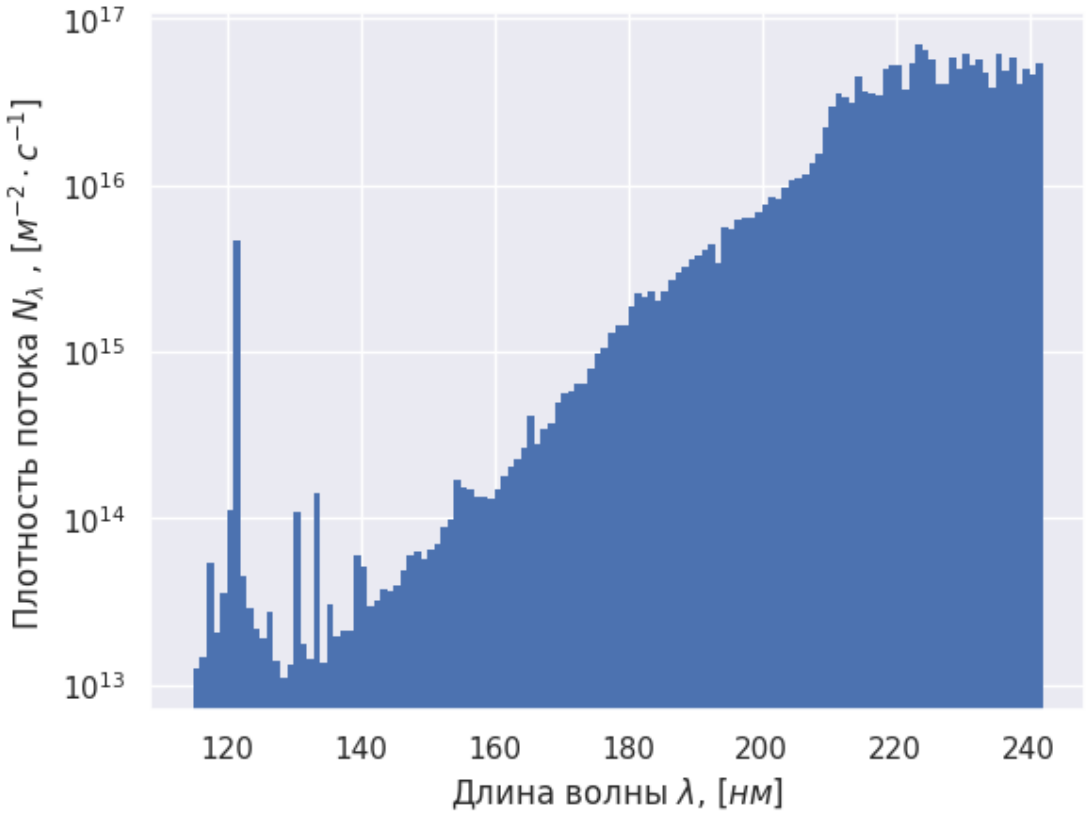
# (2) Создание экземпляра модели Fuvt2021
fuvt = Fuvt2021()

# (3) Модельный расчёт спектральных интервалов и линий
bands = fuvt.get_spectral_bands(lac=4.7)

# (4) Подготовка данных для построения графика
lband = bands['lband'].to_numpy()
uband = bands['uband'].to_numpy()
fuv_flux = bands['fuv_flux_spectra'].to_numpy()
fuv_flux = fuv_flux.flatten()
spectrum_edges = np.hstack([lband, uband[-1]])

fig, ax = plt.subplots()

ax.set_xlabel(r'Длина волны $\lambda$, $[нм]$')
ax.set_yscale('log')
ax.xaxis.set_major_locator(ticker.MultipleLocator(20))
ax.set_ylabel(r'Плотность потока $N_\lambda$ , $[м^{-2} \cdot с^{-1}]$')
ax.stairs(values=fuv_flux, edges=spectrum_edges, fill=True)
```



Пример выполнения расчётов: EUVN1992

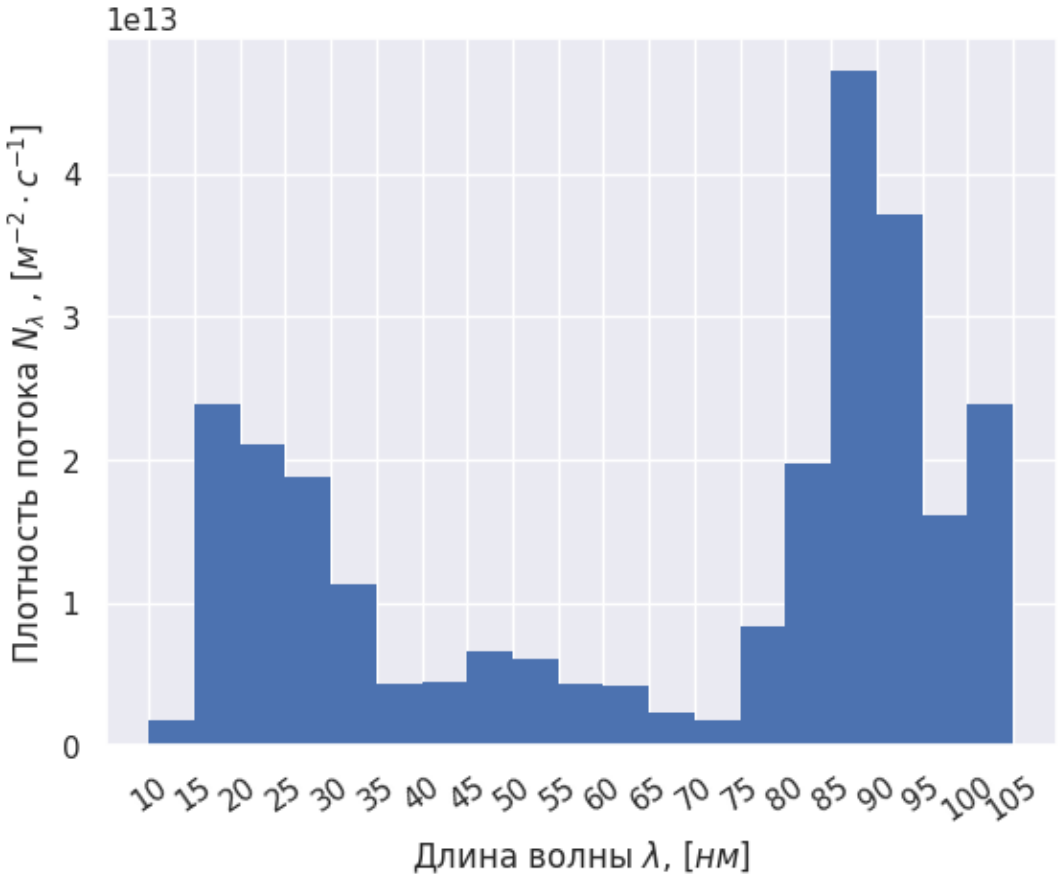
```
# (1) Импортирование модели EUVN и необходимых библиотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns; sns.set_theme()
from pynusinov import Euvn1992

# (2) Создание экземпляра модели Euvn1992
euvn = Euvn1992()

# (3) Модельный расчёт спектральных интервалов и линий
bands = euvn.get_spectral_bands(_hei=1.5875)

# (4) Подготовка данных для построения графика
lband = bands['lband'].to_numpy()
uband = bands['uband'].to_numpy()
euv_flux = bands['euv_flux_spectra'].to_numpy()
euv_flux = euv_flux.flatten()
spectrum_edges = np.hstack([lband, uband[-1]])

plt.xlabel(r'Длина волны $\lambda$, $[нм]$')
plt.xticks(spectrum_edges, rotation=35)
plt.ylabel(r'Плотность потока $N_\lambda$ , $[м^{-2} \cdot c^{-1}]$')
plt.stairs(values=euv_flux, edges=spectrum_edges, fill=True)
```



Пример выполнения расчётов: XUVN1992

```
# (1) Импортирование модели XUVN1992 и необходимых библиотек
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as ticker
import seaborn as sns; sns.set_theme()
from pynusinov import Xuvn1992

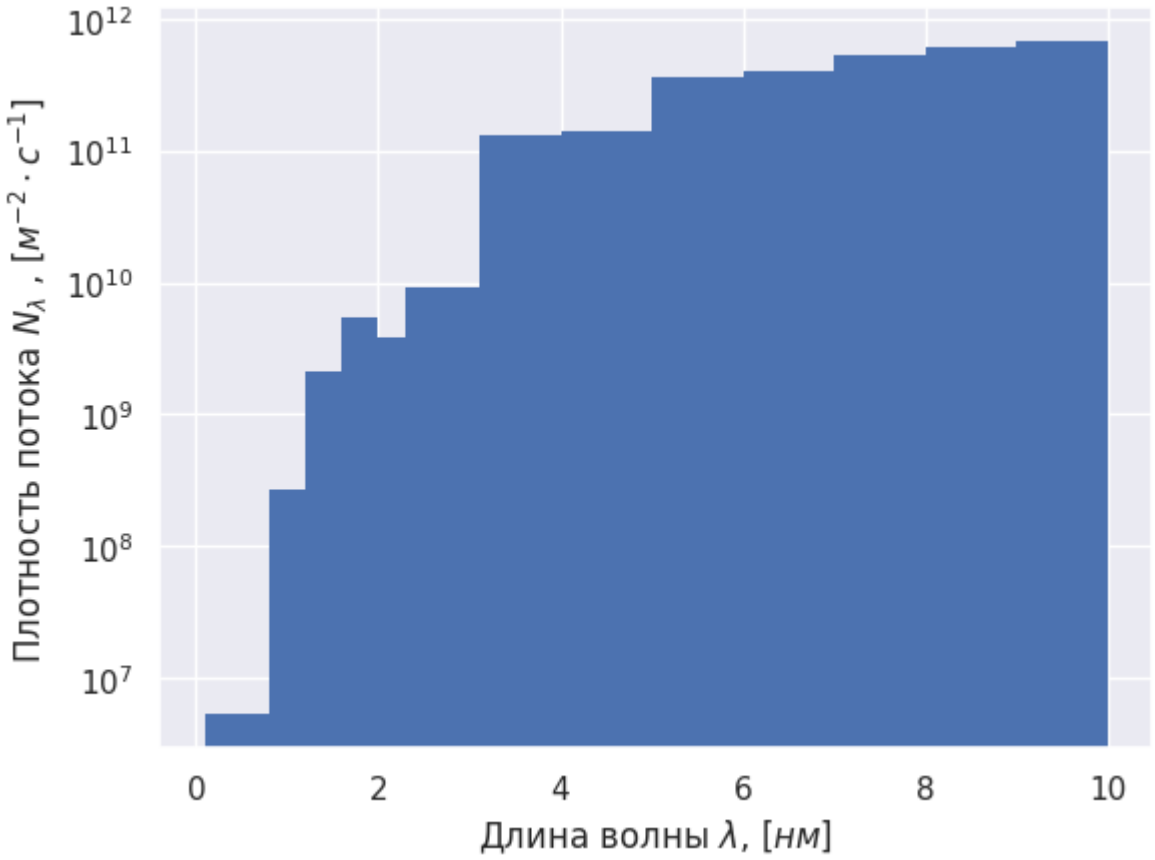
# (2) Создание экземпляра модели Xuvn1992
xuvn = Xuvn1992()

# (3) Модельный расчёт спектральных интервалов и линий
bands = xuvn.get_spectral_bands(i082=0.1)

# (4) Подготовка данных для построения графика
lband = bands['lband'].to_numpy()
uband = bands['uband'].to_numpy()
xuv_flux = bands['xuv_flux_spectra'].to_numpy()
xuv_flux = xuv_flux.flatten()
spectrum_edges = np.hstack([lband, uband[-1]])

fig, ax = plt.subplots()

ax.set_xlabel(r'Длина волны $\lambda$, $[нм]$')
ax.set_yscale('log')
ax.xaxis.set_major_locator(ticker.MultipleLocator(2))
ax.set_ylabel(r'Плотность потока $N_\lambda$ , $[м^{-2} \cdot c^{-1}]$')
ax.stairs(values=xuv_flux, edges=spectrum_edges, fill=True)
```



Заключение

1. Представлены результаты развития программного пакета pyNusinov. В версию 2.0 добавлены модели FUVT2019, EUVN1992 и XUVN1992.

2. В совокупности модели описывают спектральный диапазон 0,1-242 нм, разбивая его на интервалы и/или отдельные линии.

3. Пакет pyNusinov имеет открытый исходный код и свободно распространяется через официальный репозиторий PyPI.

Благодарность

Авторы выражают благодарность д-ру физ.-мат. наук Анатолию Абрамовичу Нусинову за предоставление в открытом доступе коэффициентов и аналитических формул моделей; без этого разработка и развитие пакета pyNusinov были бы невозможны.

С глубоким прискорбием сообщаем, 07.05.2025 Анатолий Абрамович Нусинов ушёл из жизни.