

Разработка Python-пакета для FIRI-2018 – модели D-области неавроральной невозмущенной ионосферы

Золотов О.В. (1), Романовская Ю.В. (2), Князева М.А. (1)

(1) Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

(2) Мурманский государственный технический университет, Мурманск, Россия

Модель FIRI-2018 – это модель D-области неавроральной невозмущенной ионосферы Земли, построенная на основе большого массива данных ракетных пусков, опубликованная в 2018 году в работе (Friedrich et al., 2018, <https://doi.org/10.1029/2018JA025437>) в виде набора опорных профилей для Северного полушария.

pyFIRI — это реализация на языке программирования Python этого набора опорных профилей и процедур интерполяции, размещенная в стандартном репозитории пакетов Pypi (<https://pypi.org/project/pyfiri/>). Пакет pyFIRI распространяется под свободной лицензией Apache 2.0, допускающей безвозмездное использование как в некоммерческих, так и коммерческих целях.

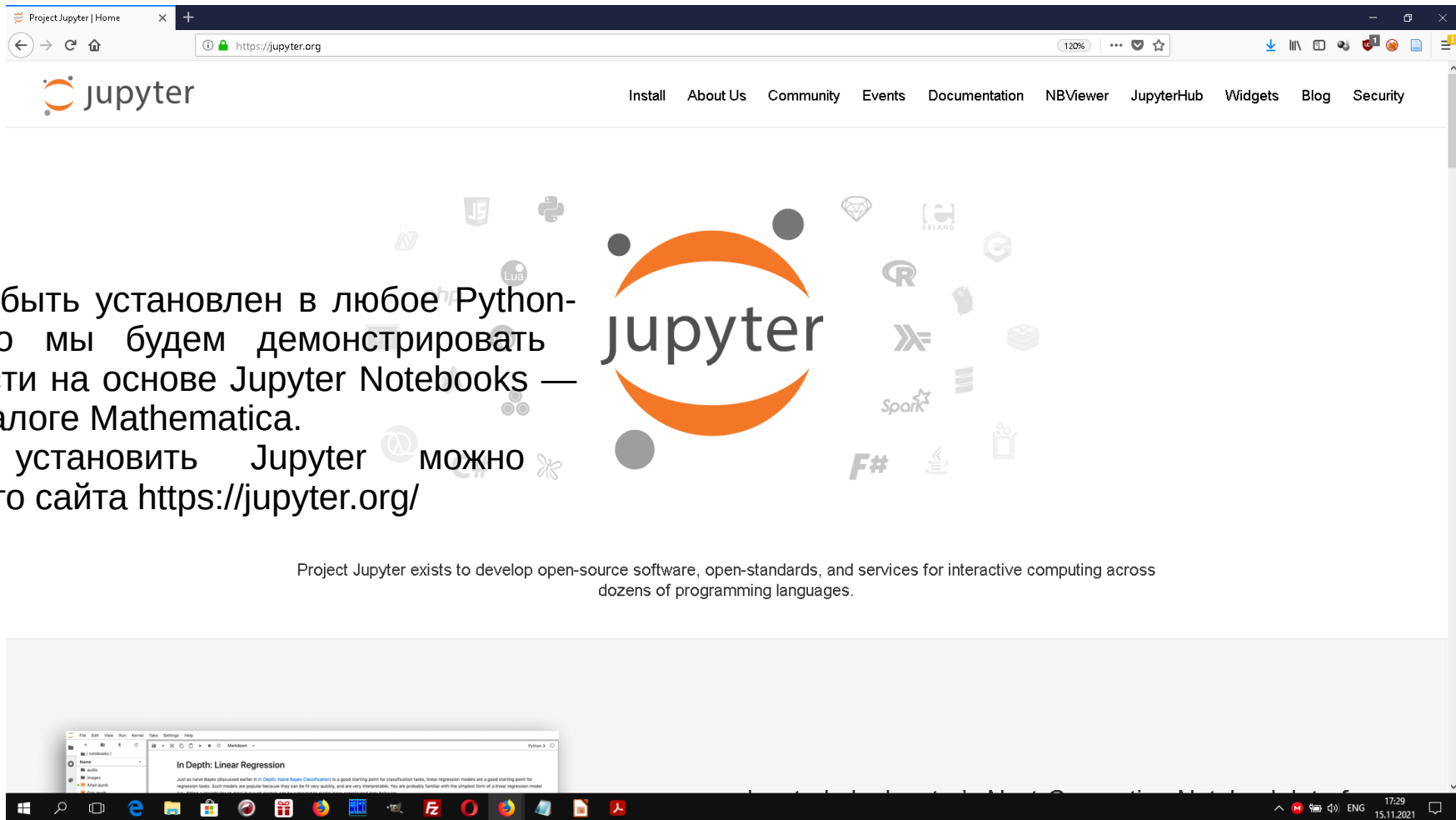
Цель настоящей работы — предоставить модель в виде Python-пакета исследователям, расширить сообщество пользователей модели, познакомить возможных пользователей с возможностями Python для моделирования D-области.

Входные параметры модели:

- **номер дня в году (Day of Year)** — в диапазоне [1..365] дней;
- **зенитный угол Солнца** — в диапазоне [0..130] градусов;
- **сферическая географическая широта** — в диапазоне [0..60] градусов (т. е. только Северное полушарие; для Южного полушария пользователь должен выполнить экстраполяцию самостоятельно);
- **индекс F10.7** — в диапазоне [75..200] s.f.u.

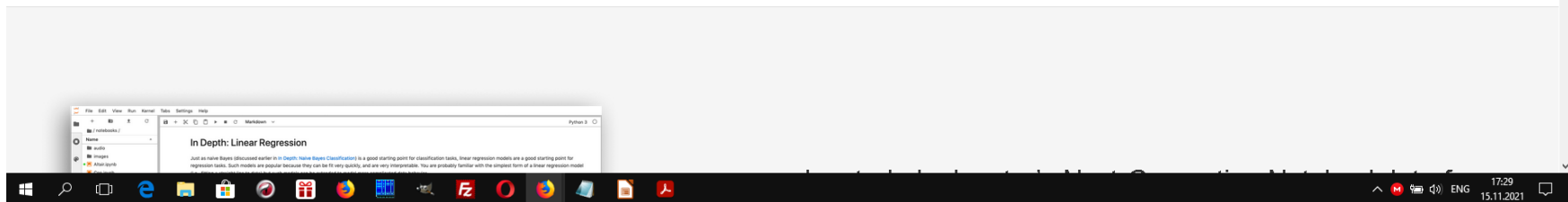
Выходные параметры модели:

- **вертикальный профиль электронной концентрации** в диапазоне высот [55..150] км над поверхностью Земли. Значения ниже нижней и выше верхней границ D-области приведены исключительно для обеспечения возможности «гладкой сшивки».

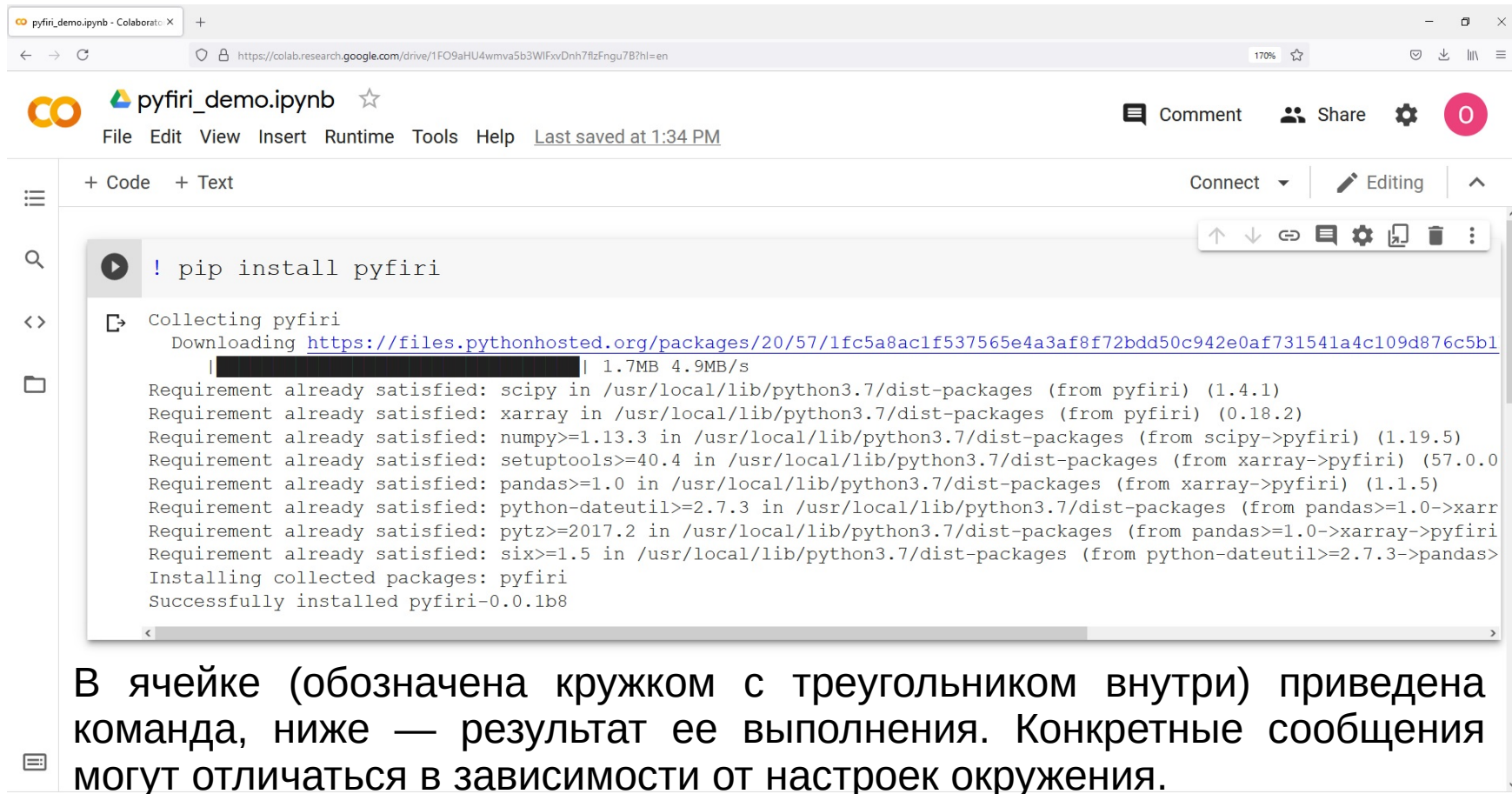


pyFIRI может быть установлен в любое Python-окружение, но мы будем демонстрировать его возможности на основе Jupyter Notebooks — свободном аналоге Mathematica. Скачать и установить Jupyter можно с официального сайта <https://jupyter.org/>

Project Jupyter exists to develop open-source software, open-standards, and services for interactive computing across dozens of programming languages.



Установка ruFIRI стандартным менеджером пакетов PIP



The screenshot shows a JupyterLab notebook interface. At the top, there is a browser address bar with the URL `https://colab.research.google.com/drive/1FO9aHU4wmva5b3WlFvxDnh7fzFngu7B?hl=en`. Below the browser, the notebook title is `pyfiri_demo.ipynb`. The main area of the notebook contains a code cell with the following content:

```
! pip install pyfiri
```

The output of the command is displayed below the code cell:

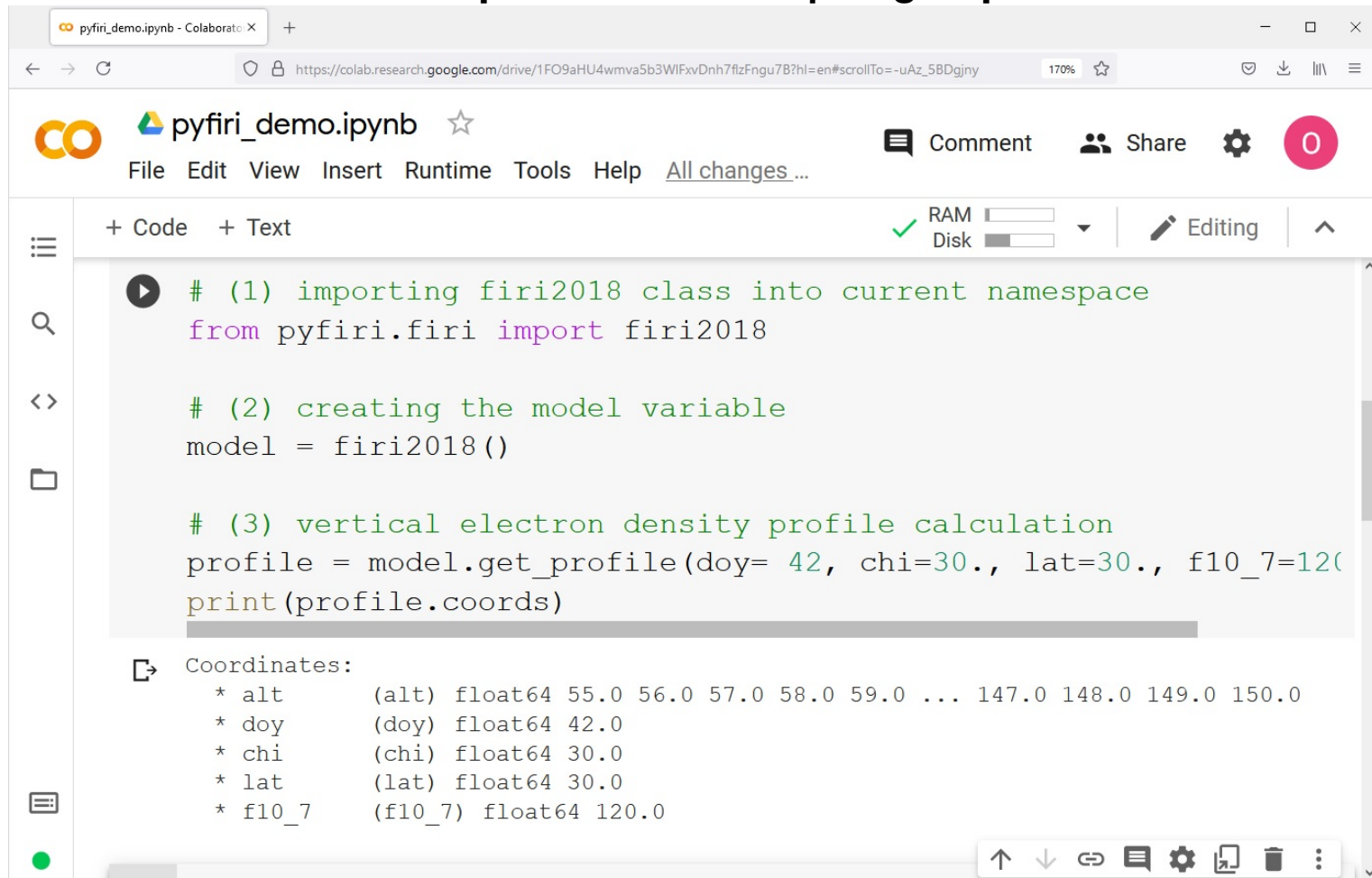
```
Collecting pyfiri
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/20/57/1fc5a8ac1f537565e4a3af8f72bdd50c942e0af731541a4c109d876c5b1/1.7MB 4.9MB/s
Requirement already satisfied: scipy in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from pyfiri) (1.4.1)
Requirement already satisfied: xarray in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from pyfiri) (0.18.2)
Requirement already satisfied: numpy>=1.13.3 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from scipy->pyfiri) (1.19.5)
Requirement already satisfied: setuptools>=40.4 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from xarray->pyfiri) (57.0.0)
Requirement already satisfied: pandas>=1.0 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from xarray->pyfiri) (1.1.5)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7.3 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from pandas>=1.0->xarr)
Requirement already satisfied: pytz>=2017.2 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from pandas>=1.0->xarray->pyfiri)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in /usr/local/lib/python3.7/dist-packages (from python-dateutil>=2.7.3->pandas)
Installing collected packages: pyfiri
Successfully installed pyfiri-0.0.1b8
```

Below the code cell, there is a paragraph of text:

В ячейке (обозначена кружком с треугольником внутри) приведена команда, ниже — результат ее выполнения. Конкретные сообщения могут отличаться в зависимости от настроек окружения.

После установки пакета `pyFIRI` для выполнения моделирования необходимо подключить его в пространство имен и создать модель. После этого станет возможным рассчитывать вертикальный профиль электронной концентрации с помощью одного из двух методов — `get_profile` или `interp`. Первый метод осуществляет проверку входных значений на вхождение в допустимый диапазон и порождает исключение в противном случае. Второй метод такой проверки не делает, а для некорректного диапазона значение подставляет NaN (Not a Number, не-число). Примеры импорта пакета в пространство имен, создания модели и выполнения моделирования представлены на следующих слайдах.

Подключение пакета pyFIRI, создание модели и тестовый расчет с помощью get_profile



The screenshot shows a Google Colab notebook interface. The browser address bar displays the URL: `https://colab.research.google.com/drive/1FO9aHU4wmva5b3WIFxvDnh7flzFngu7B?hl=en#scrollTo=-uAz_5BDgjny`. The notebook title is `pyfiri_demo.ipynb`. The code cell contains the following Python code:

```
# (1) importing firi2018 class into current namespace
from pyfiri.firi import firi2018

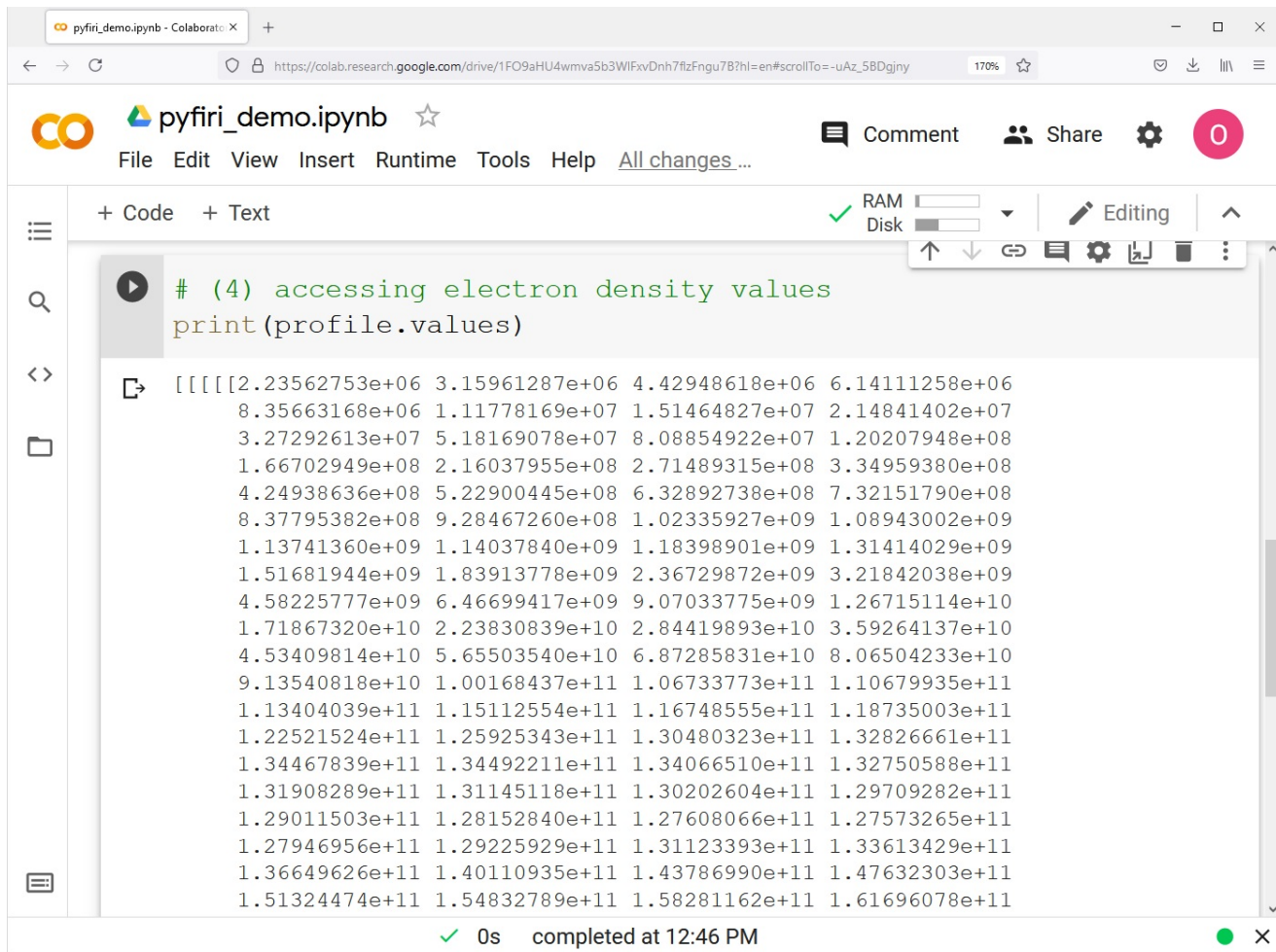
# (2) creating the model variable
model = firi2018()

# (3) vertical electron density profile calculation
profile = model.get_profile(doy= 42, chi=30., lat=30., f10_7=120)
print(profile.coords)
```

The output of the code cell is:

```
Coordinates:
* alt      (alt) float64 55.0 56.0 57.0 58.0 59.0 ... 147.0 148.0 149.0 150.0
* doy      (doy) float64 42.0
* chi      (chi) float64 30.0
* lat      (lat) float64 30.0
* f10_7    (f10_7) float64 120.0
```

Пример вывода рассчитанных ранее значений вертикального профиля электронной концентрации



The screenshot displays a Jupyter Notebook interface. At the top, the browser address bar shows the URL: `https://colab.research.google.com/drive/1FO9aHU4wmva5b3WfFvDnh7fzFngu7B?hl=en#scrollTo=-uAz_5BDgjny`. The notebook title is `pyfiri_demo.ipynb`. The interface includes a menu bar with options: File, Edit, View, Insert, Runtime, Tools, Help, and [All changes...](#). On the right side of the menu bar, there are buttons for Comment, Share, and a settings gear icon. Below the menu bar, there are tabs for '+ Code' and '+ Text'. The main workspace contains a code cell with the following code:

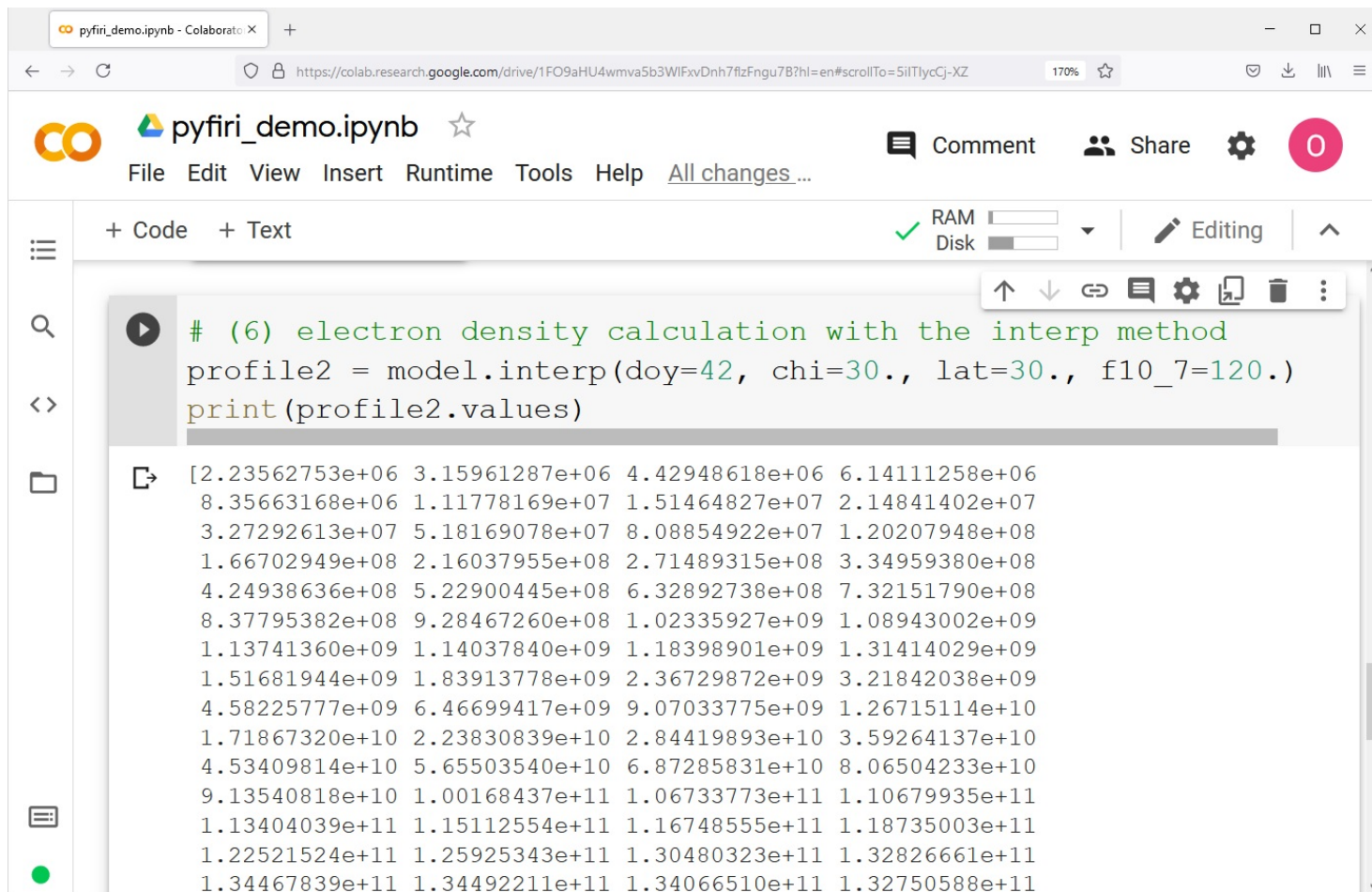
```
# (4) accessing electron density values
print(profile.values)
```

The output of the code cell is a large list of numerical values in scientific notation, arranged in a grid-like structure. The values are as follows:

2.23562753e+06	3.15961287e+06	4.42948618e+06	6.14111258e+06
8.35663168e+06	1.11778169e+07	1.51464827e+07	2.14841402e+07
3.27292613e+07	5.18169078e+07	8.08854922e+07	1.20207948e+08
1.66702949e+08	2.16037955e+08	2.71489315e+08	3.34959380e+08
4.24938636e+08	5.22900445e+08	6.32892738e+08	7.32151790e+08
8.37795382e+08	9.28467260e+08	1.02335927e+09	1.08943002e+09
1.13741360e+09	1.14037840e+09	1.18398901e+09	1.31414029e+09
1.51681944e+09	1.83913778e+09	2.36729872e+09	3.21842038e+09
4.58225777e+09	6.46699417e+09	9.07033775e+09	1.26715114e+10
1.71867320e+10	2.23830839e+10	2.84419893e+10	3.59264137e+10
4.53409814e+10	5.65503540e+10	6.87285831e+10	8.06504233e+10
9.13540818e+10	1.00168437e+11	1.06733773e+11	1.10679935e+11
1.13404039e+11	1.15112554e+11	1.16748555e+11	1.18735003e+11
1.22521524e+11	1.25925343e+11	1.30480323e+11	1.32826661e+11
1.34467839e+11	1.34492211e+11	1.34066510e+11	1.32750588e+11
1.31908289e+11	1.31145118e+11	1.30202604e+11	1.29709282e+11
1.29011503e+11	1.28152840e+11	1.27608066e+11	1.27573265e+11
1.27946956e+11	1.29225929e+11	1.31123393e+11	1.33613429e+11
1.36649626e+11	1.40110935e+11	1.43786990e+11	1.47632303e+11
1.51324474e+11	1.54832789e+11	1.58281162e+11	1.61696078e+11

At the bottom of the interface, a status bar indicates that the execution is complete: `0s completed at 12:46 PM`. The status bar also includes a green checkmark icon and a close button (X).

Пример расчета вертикального профиля электронной концентрации с помощью метода interp



The image shows a Google Colab notebook interface. The browser address bar displays the URL: `https://colab.research.google.com/drive/1FO9aHU4wmva5b3WfFvDnh7fzFngu7B?hl=en#scrollTo=5iITlycJ-XZ`. The notebook title is `pyfiri_demo.ipynb`. The menu bar includes `File`, `Edit`, `View`, `Insert`, `Runtime`, `Tools`, and `Help`. The toolbar shows `RAM` and `Disk` usage indicators, and the editing mode is set to `Editing`.

The code cell contains the following Python code:

```
# (6) electron density calculation with the interp method
profile2 = model.interp(doy=42, chi=30., lat=30., f10_7=120.)
print(profile2.values)
```

The output of the code cell is a 15x4 grid of numerical values in scientific notation:

2.23562753e+06	3.15961287e+06	4.42948618e+06	6.14111258e+06
8.35663168e+06	1.11778169e+07	1.51464827e+07	2.14841402e+07
3.27292613e+07	5.18169078e+07	8.08854922e+07	1.20207948e+08
1.66702949e+08	2.16037955e+08	2.71489315e+08	3.34959380e+08
4.24938636e+08	5.22900445e+08	6.32892738e+08	7.32151790e+08
8.37795382e+08	9.28467260e+08	1.02335927e+09	1.08943002e+09
1.13741360e+09	1.14037840e+09	1.18398901e+09	1.31414029e+09
1.51681944e+09	1.83913778e+09	2.36729872e+09	3.21842038e+09
4.58225777e+09	6.46699417e+09	9.07033775e+09	1.26715114e+10
1.71867320e+10	2.23830839e+10	2.84419893e+10	3.59264137e+10
4.53409814e+10	5.65503540e+10	6.87285831e+10	8.06504233e+10
9.13540818e+10	1.00168437e+11	1.06733773e+11	1.10679935e+11
1.13404039e+11	1.15112554e+11	1.16748555e+11	1.18735003e+11
1.22521524e+11	1.25925343e+11	1.30480323e+11	1.32826661e+11
1.34467839e+11	1.34492211e+11	1.34066510e+11	1.32750588e+11

Заключение

В работе приведены

- описание модели FIRI-2018,
- реализующий модель FIRI-2018 для экосистемы Python пакет pyFIRI,
- примеры кода на языке программирования Python, позволяющие использовать модель пользователю без длительного изучения исходного кода пакета.

Ждем ваших вопросов и пожеланий.

Электронная почта для связи —

ZolotovO@gmail.com