

Применение методов интеллектуального анализа данных для построения глобальной модели полного электронного содержания ионосферы

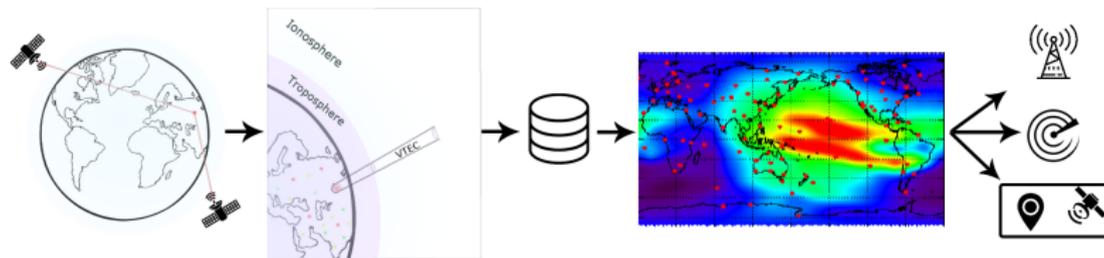
А.В. Жуков^{1,2}, Д.Н.Сидоров^{1,2}, Ю.В. Ясюкевич¹
zhukovaleksei@iszf.irk.ru

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН

²Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

ММРО-2019
26-29 ноября 2019 г.

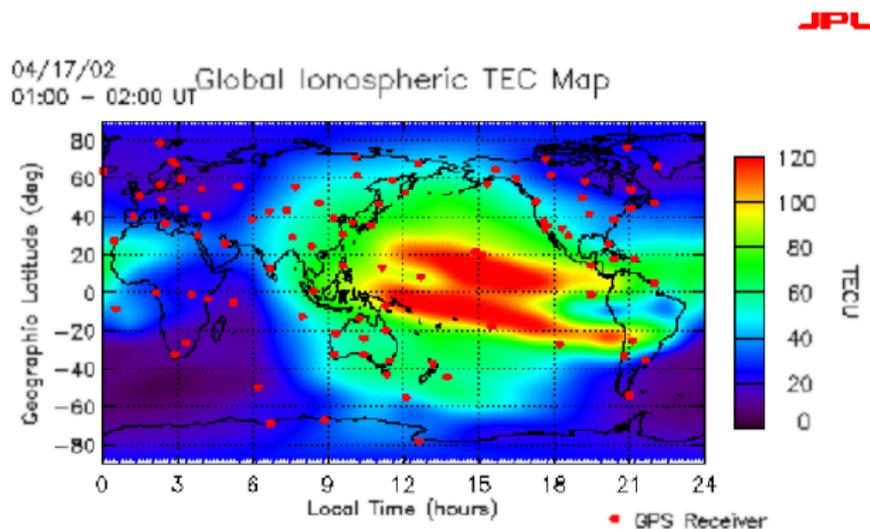
Введение. Ионосфера



Задача моделирования полного электронного содержания ионосферы достаточно сложна, а ее актуальность определяется необходимостью учитывать влияние ионосферы на работу радарных, навигационных и связных с ними систем.

Zhukov, A., Sidorov, D., Mylnikova, A., & Yasyukevich, Y. (2018). *Machine learning methodology for ionosphere total electron content nowcasting. International Journal of Artificial Intelligence, 16(1), 144-157.*

Введение. Карты полного электронного содержания



Карты полного электронного содержания строятся с помощью различных методов (от простой интерполяции сферическими гармониками до томографии) на основе спутникового зондирования земли.

Введение. Существующие модели

В последние годы все активнее развиваются средства мониторинга околоземного космического пространства. Большой объем экспериментальных данных предоставили глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) [Afraimovich et al., 2013].

Подобные данные привели к существенному повышению качеству ионосферных моделей. Широко известная **модель Клобучара**, используемая в GPS [Klobuchar, 1987] позволяет устранять до 50% ошибки, то модель **BDGIM** [Yuan et al., 2019] до 70%. Кроме того, появились модели долгосрочного прогноза, требующие малое число входных параметров, такие как, например, **GEM TEC** [Ivanov et al., 2011], требующая на вход данные о индексе солнечной активности F10.7.

Задача

Задача

Задача состоит в том, чтобы по данным о геомагнитной и солнечной активности построить карты полного электронного содержания.

Исходные данные

В качестве входных данных использовались карты GIM [Hernández-Pajares et al., 2009] с 1998 по 2017 год с периодом 2 часа, а также данные о геомагнитной и солнечной активности полученные NASA (Omnidata). На основе данных 1998-2015 построены выборки для обучения и валидации. Итоговое тестирование проводилось на данных 2017 года.

Исходные данные

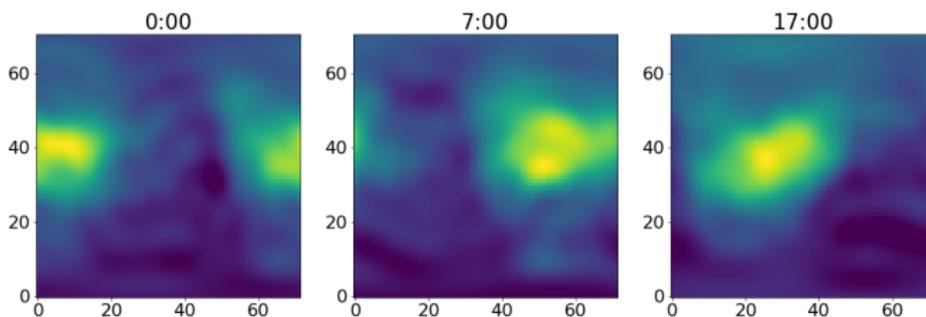


Рис.: Пример карт для различных моментов времени (1 января 1998 г.)

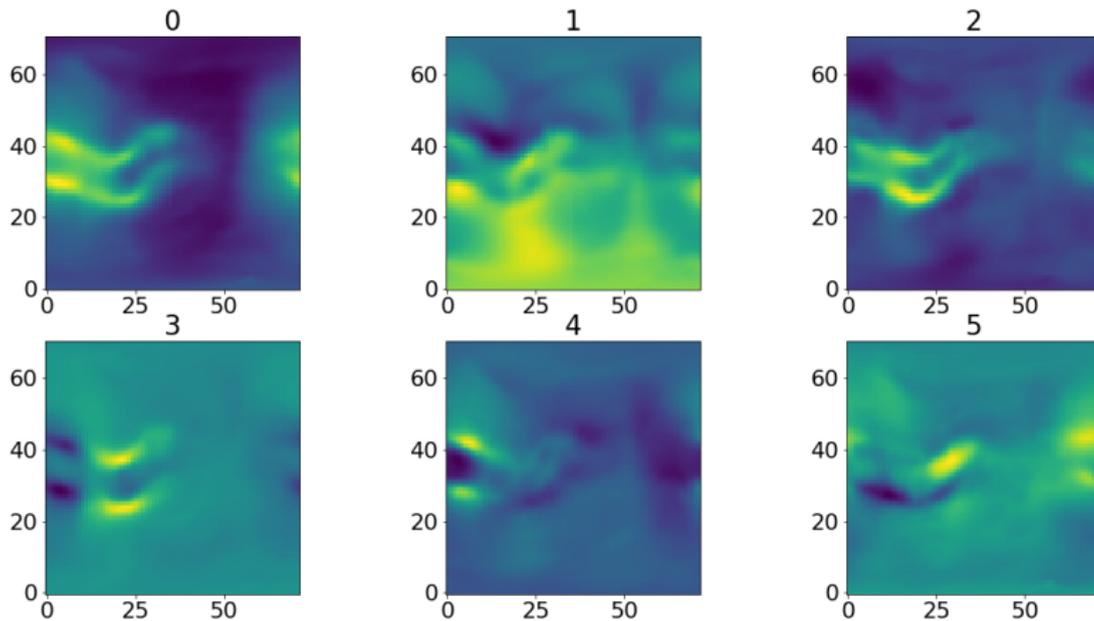
Индексы и иные признаки

Признаки

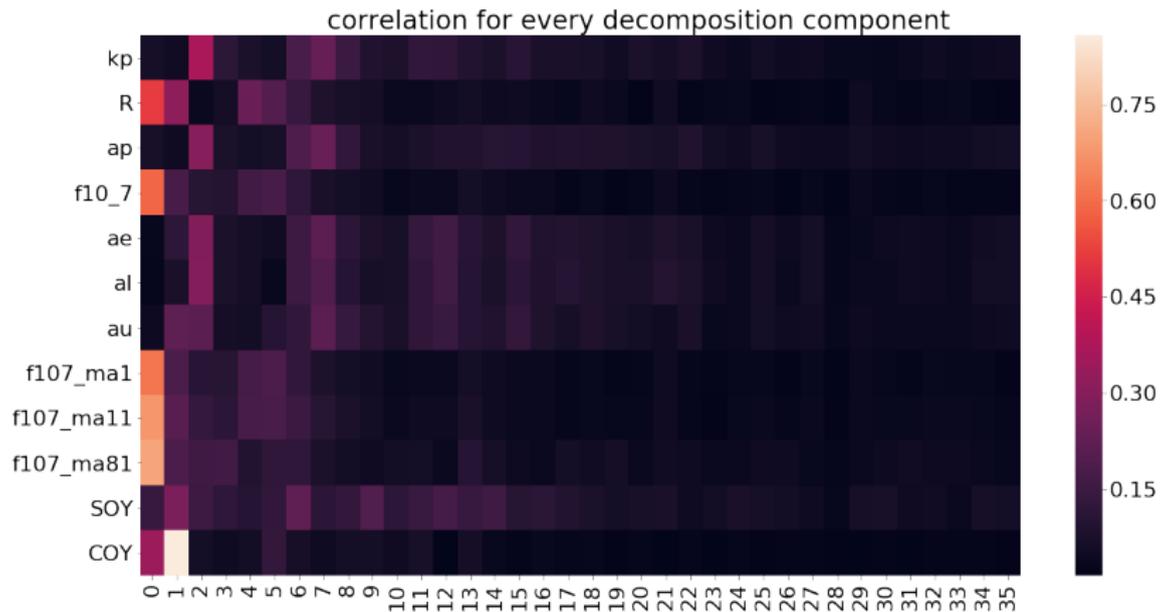
Переменная	Описание
DOY	день года
COY, SOY	\cos, \sin дня года
Kp, ae, au, al	индексы геомагнитной активности
$F10.7$ и $F107_m$	индекс солнечной активности, 10.7 см (2800 MHz) и его скользящие средние за 1, 11 и 81 дней
R	индекс солнечной активности, число солнечных пятен

+ Кодированные средним индексы DOY, Kp .

Компоненты разложения



Предварительный анализ признаков



Результаты работы модели

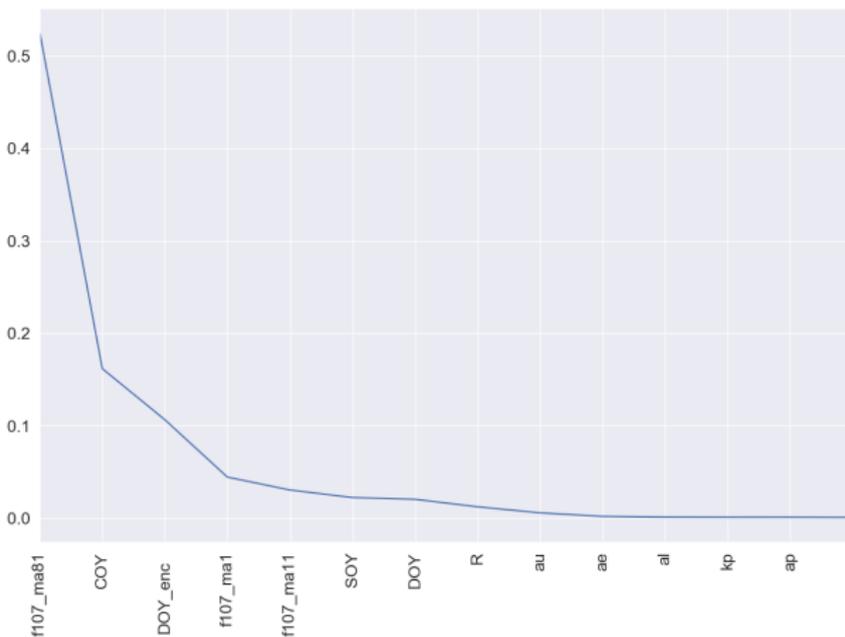


Рис.: Информативность признаков полученная при тестировании модели.

Результаты работы модели

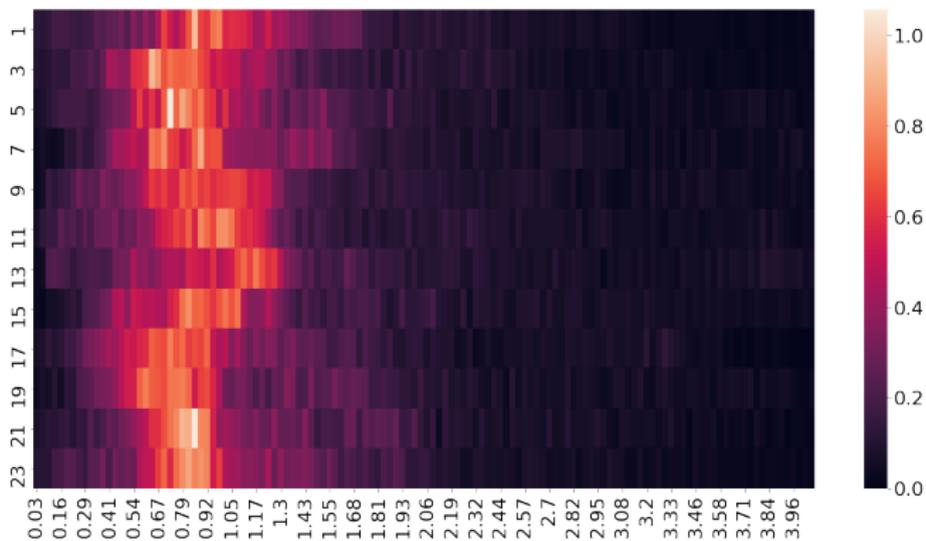


Рис.: распределение средней абсолютная ошибка модели для разного времени суток на тестовой выборке (данные за 2017 год).

Результаты работы модели

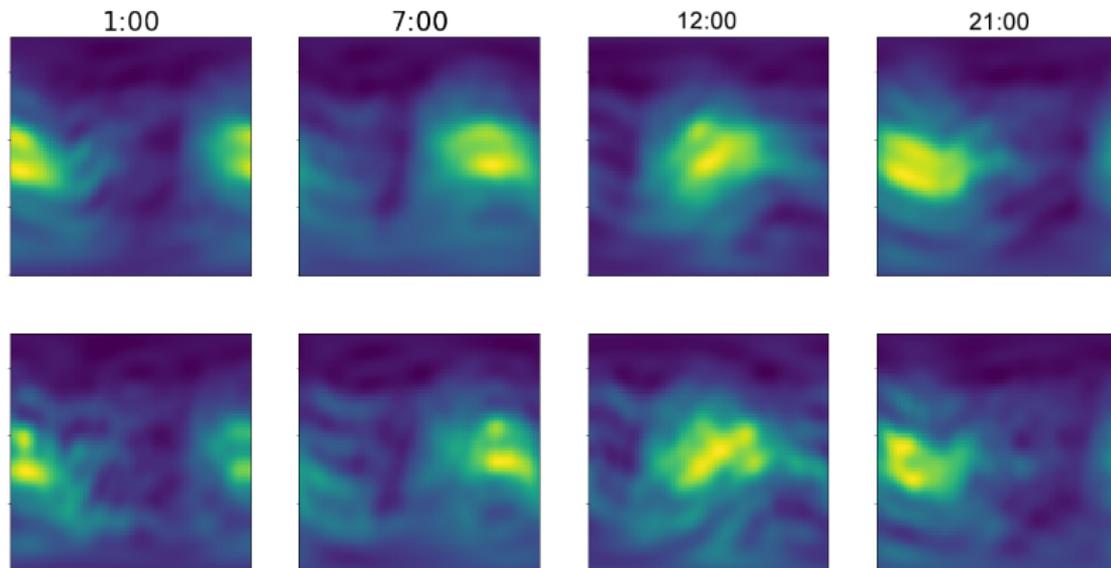


Рис.: Модельные данные GIMLi (сверху) и исходная GIM карта (снизу).

Результаты и будущие исследования

- Предложен подход моделирования в глобальном масштабе полного электронного содержания ионосферы,
- моделью GIMLi достигнута RMSE равная 2.89 TECU (против GEMTEC 6.2 TECU),
- использование этой модели на основе данных, доступных в режиме реального времени, в будущем дадут возможность оперативного получения карт ПЭС.

Результаты и будущие исследования



SIMuRG: System for the Ionosphere Monitoring and Researching from GNSS.

SIMuRG - сервис сбора, обработки и хранения данных полного электронного содержания ионосферы полученных с помощью спутникового зондирования.