Прогноз параметров ионосферы на основе моделей этих параметров

М.Г. Деминов, В.Н. Шубин

ИЗМИРАН

Москва, ИЗМИРАН

2023

Доклад посвящен моделям ионосферы, которые могут быть использованы и используются для прогнозирования ионосферы.

Из всего многообразия такого типа моделей здесь в приведены так называемые полуэмпирические модели. Эти модели состоят из двух частей:
модель ионосферы для фоновых (спокойных) условий – эмпирическая часть
учет в моделях изменений геомагнитной активности – полуэмпирическая часть.

Сначала немного истории прогноза ионосферы в ИЗМИРАН

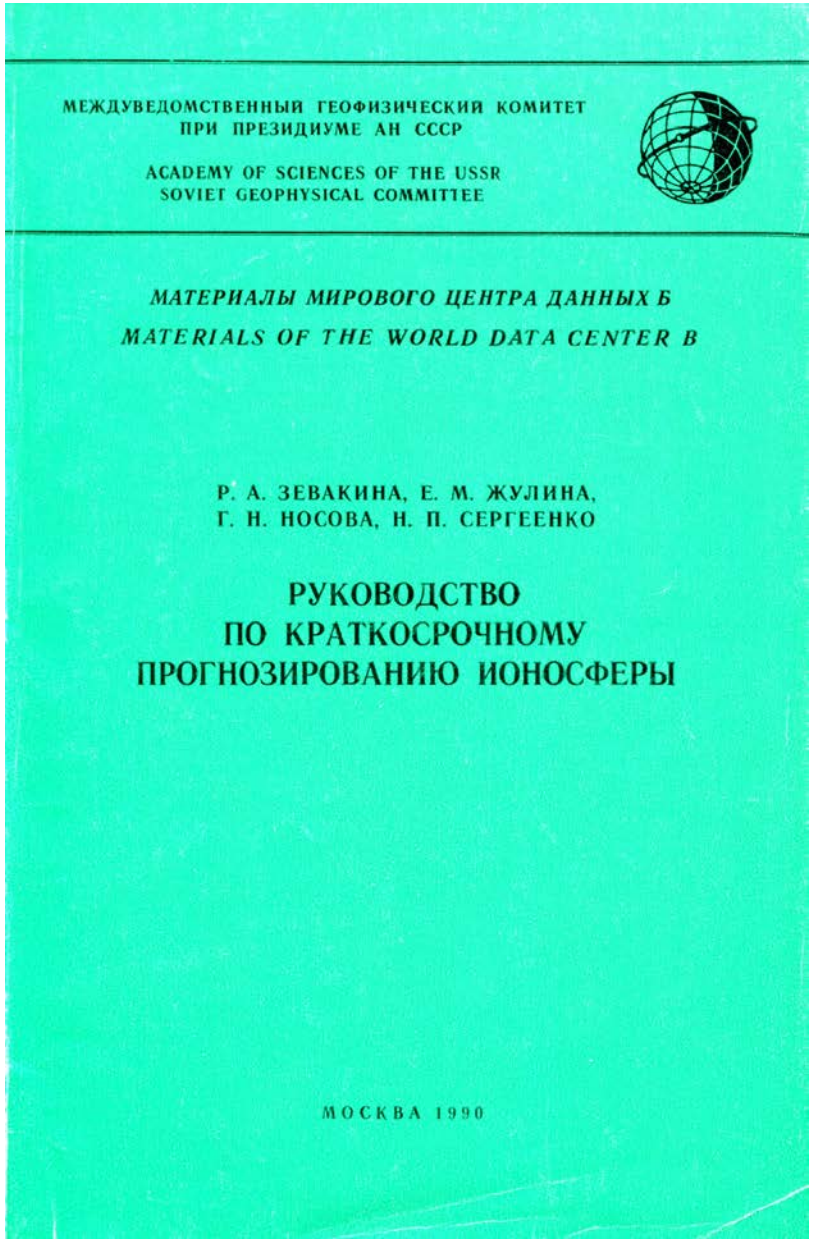
ИЗ ИСТОРИИ ИЗМИРАН

НИИЗМ – 01.01.1940 (Главного управления гидромет. службы)
НИЗМИР – 30.03.1956 (Министерства связи СССР)
ИЗМИРАН – 12.06.1959 (АН СССР)
В 1960 г. вышло постановление Совета Министров СССР о строительстве широкой сети ионосферных станций. В результате, сеть станций достигла 35 (раньше было не больше 20).
В 1973 г. магнитно-ионосферная служба, созданная ещё в довоенные годы в ИЗМИРАН, была передана в ИПГ Госкомгидромета.

С марта 1954 г. Н. П. Бенькова - начальник (руководитель) ионосферного отдела, которым она руководила на протяжении 28 лет до 1982 г.

В 1960 г. Раиса Афанасьевна Зевакина возглавила лабораторию краткосрочного прогнозирования ионосферы ИЗМИРАН, в 1975 г. переименованную в лабораторию ионосферных возмущений, и оставалась заведующей этой лабораторией до 1989 г.

1965, ИЗМИРАН, Н.П.Бенькова, Р.А.Зевакина, Е. Лаврова, Т. Ануфриева



И.М.Черток В.П.Кулешова, Е.В. Лаврова, Л.Н. Ляхова, Н.П. Сергеенко

В 2008 г. в ИЗМИРАН были начаты работы по созданию моделей для системы мониторинга и прогноза состояния ионосферы Северного полушария, которая создавалась в ИПГ

Организатором этих работ был А.В. Михайлов, который раньше работал в ИПГ и представлял специфику этих работ.
В результате были создана модель SIMP (System of Ionosphere Monitoring and Prediction), разработанной для обеспечения долгосрочного (1 - 12 месяцев) и краткосрочного (1 - 24 час) ионосферных прогнозов.

Модель SIMP есть на сайте ИПГ (http://space-weather.ru/#/simp)
Описание этой модели приведено в статье:
Деминов М.Г., Михайлов А.В., Михайлов В.В., Шубин В.Н., Цыбуля К.Г. Ионосферное моделирование и прогнозирование // Системный мониторинг ионосферы. Сборник научных трудов (под ред. Н.Г. Котонаевой). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. С 286-343.

После 2013 г.

Shubin V.N. **Global median model of the F2-layer peak height based on ionospheric radio-occultation and ground-based Digisonde observations //Advances in Space Research. V.56. № 5. P. 916-928. 2015.**
Данные радиозатменных измерений со спутников COSMIC были превалирующими

Шубин В.Н. **Глобальная эмпирическая модель критической частоты F2-слоя ионосферы для спокойных геомагнитных условий // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. № 4. С. 1–13. 2017.**

Шубин В.Н., Деминов М.Г. **Глобальная динамическая модель критической частоты F2-слоя ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 59. № 4. С. 461-473. 2019.**

Деминов М.Г., Шубин В.Н., Бадин В.И. **Модель критической частоты E-слоя для авроральной области // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 61. № 5. С. 610–617. 2021.**

Shubin V.N., Gulyaeva T.L. **Global mapping of Total Electron Content from GNSS observations for updating IRI-Plas model // Adv. Space Res. V. 69. № 1. P. 168–175. 2022.**

Шубин В.Н., Гуляева Т.Л., Деминов М.Г. **Аэрономическая и динамическая коррекция глобальной модели GTEC для возмущенных условий // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 63. № 1. С. 80-93. 2023.**

Индексы солнечной и геомагнитной активности

$F(T, N)$ – кумулятивный (средневзвешенный с характерным временем T в сутках) индекс солнечной активности, вычисленный по ежедневным данным F_1 за данный день и предыдущие N дней:

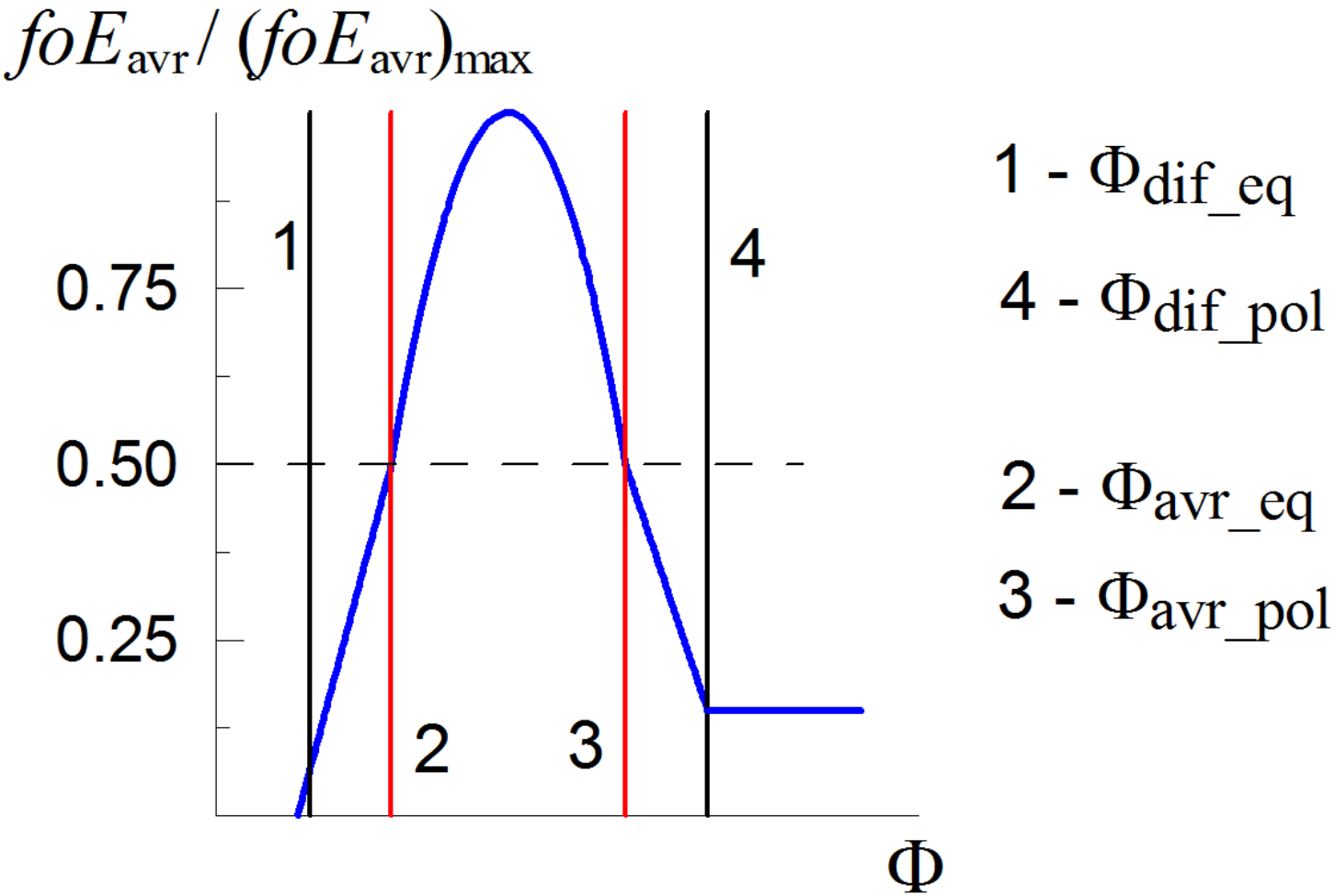
$$F(T,N) = \sum_{n=0}^{N} F_1(-n)\tau^n \Big/ \sum_{n=0}^{N} \tau^n$$

где $\tau = \exp(-1/T)$, индекс $n = 0$ соответствует данному дню.
В модели Шубин [2017] $T = N = 27$ дней и $FF = 1/3[F_1 + 2\,F(T,N)]$

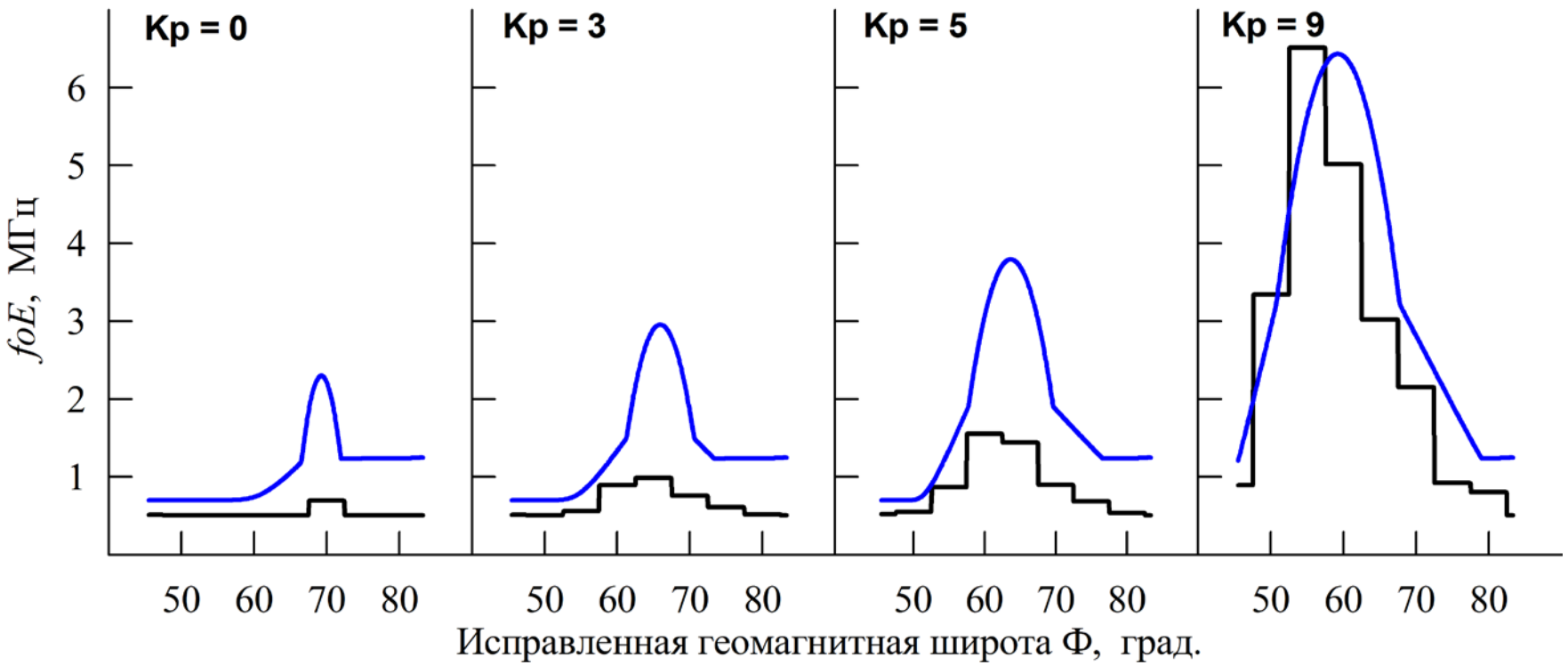
Почти аналогично определяется кумулятивный индекс геомагнитной активности $ap(T,N)$ через трехчасовые значения $ap(0..N)$.
Для параметров авроральной области $T = 6$ часов и $\tau = \exp(-3/T)$

В разработанных полуэмпирических моделях учтены изменения температуры и состава термосферы через модель атмосферы NRLMSISE-00, в которой использованы трехчасовые значения ар-индекса в данный и предыдущие трехчасовые интервалы, т.е. это кумулятивный индекс $ap(T,N)$, где $T = 12$ часов и $\tau = \exp(-3/T)$.

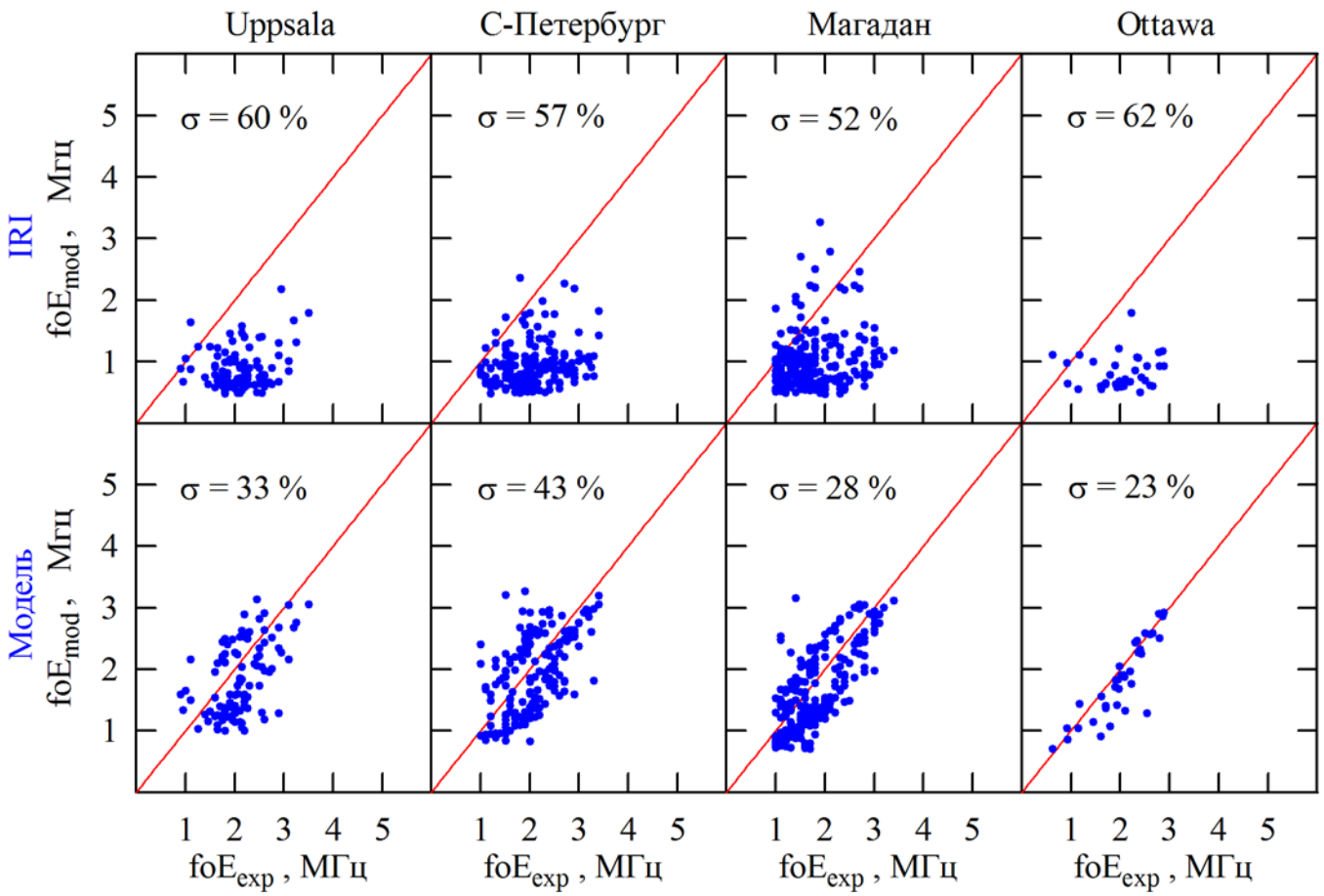
Некоторые особенности зависимости параметров ионосферы от геом. активности



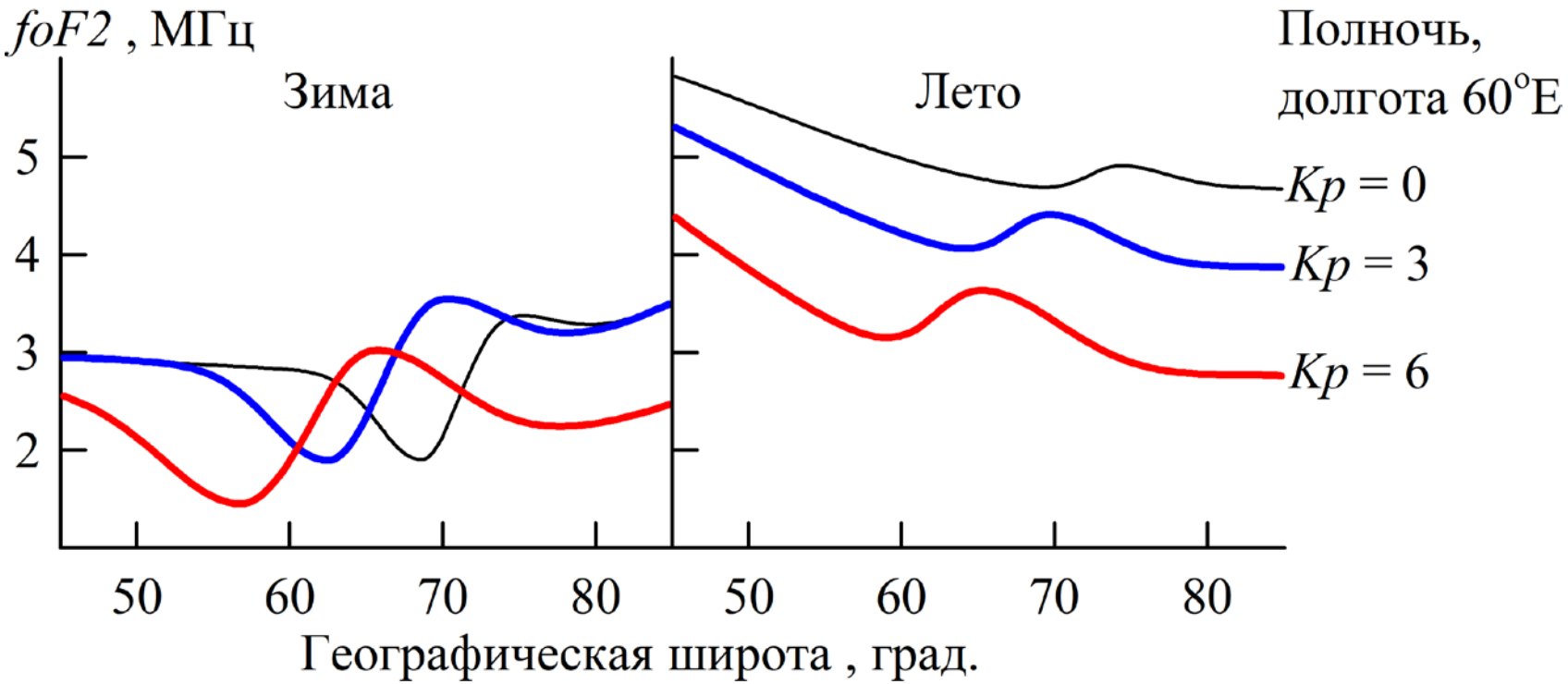
Форма зависимости foE_{avr} в относительных единицах от широты



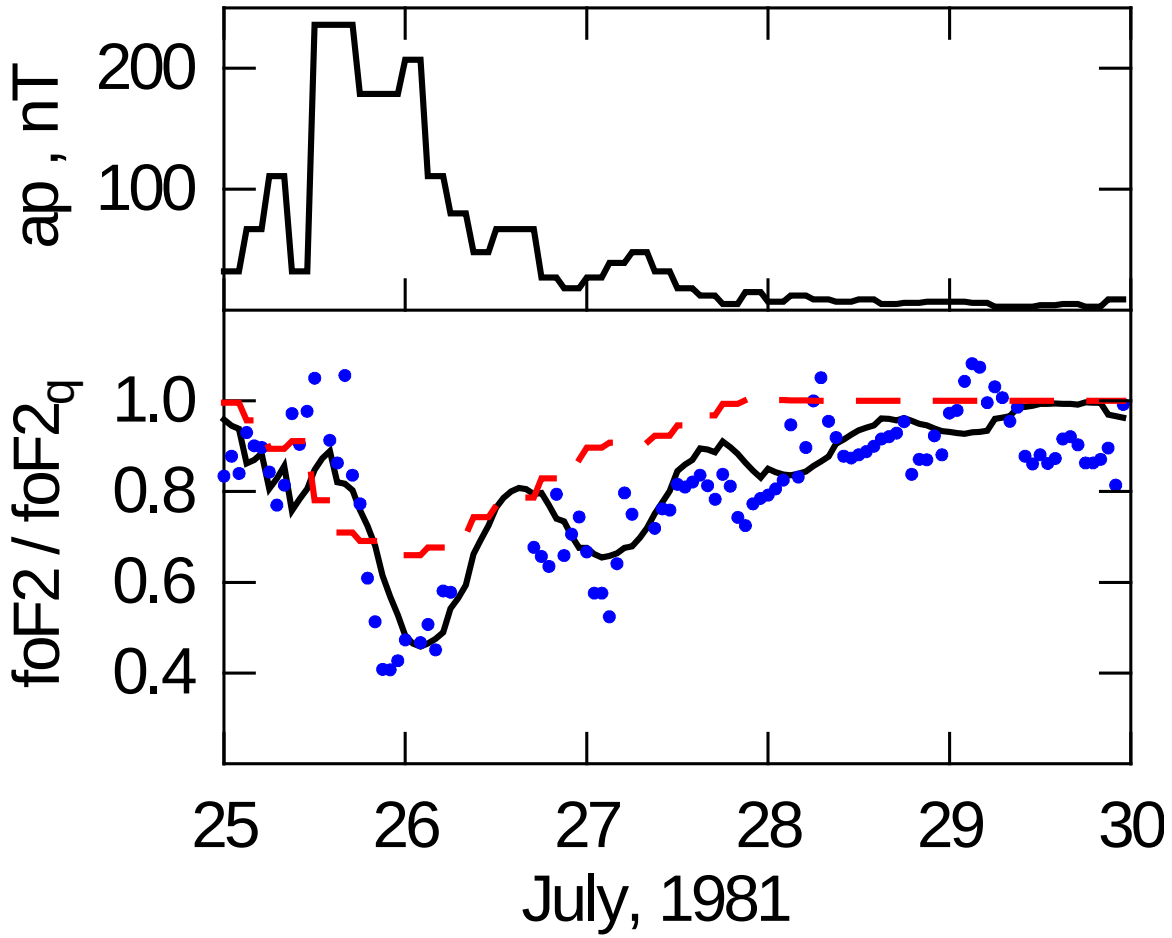
Зависимость foE от иправленной геомагнитной широты при разных значениях Kp по разработанной модели (синие линии) по модели IRI (черные линии).



Сравнение *foE* по экспериментальным данным (foE_{exp}) с расчетами по разработанной модели и модели IRI по данным ряда станций в интервале 18-06 LT за 1957-2012 годы для Kp > 5 (показано каждое 10-е значение).

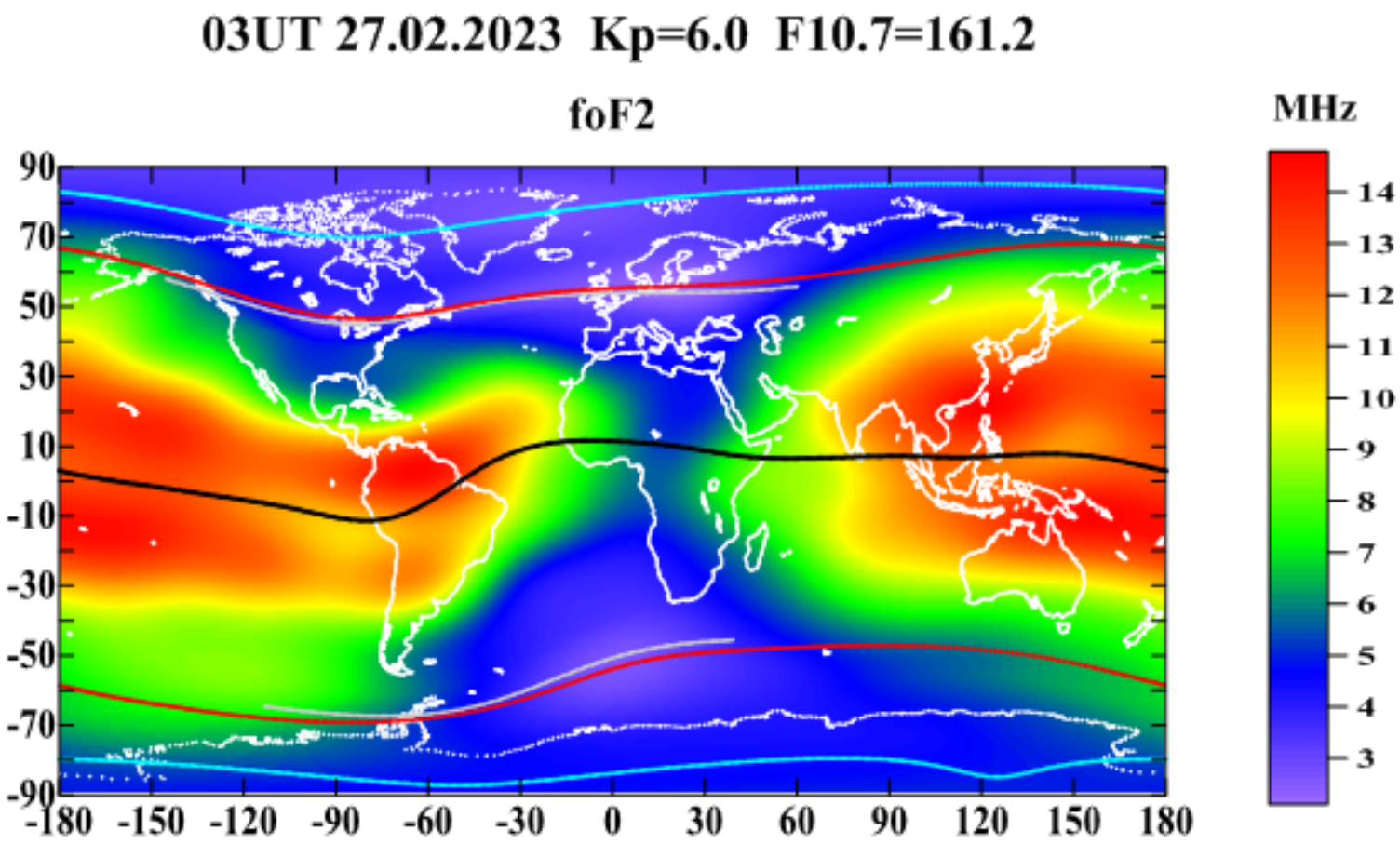


Изменения критической частоты F2-слоя с географической широтой на долготе 60 E в полночь по разработанной модели для трех уровней геомагнитной активности.

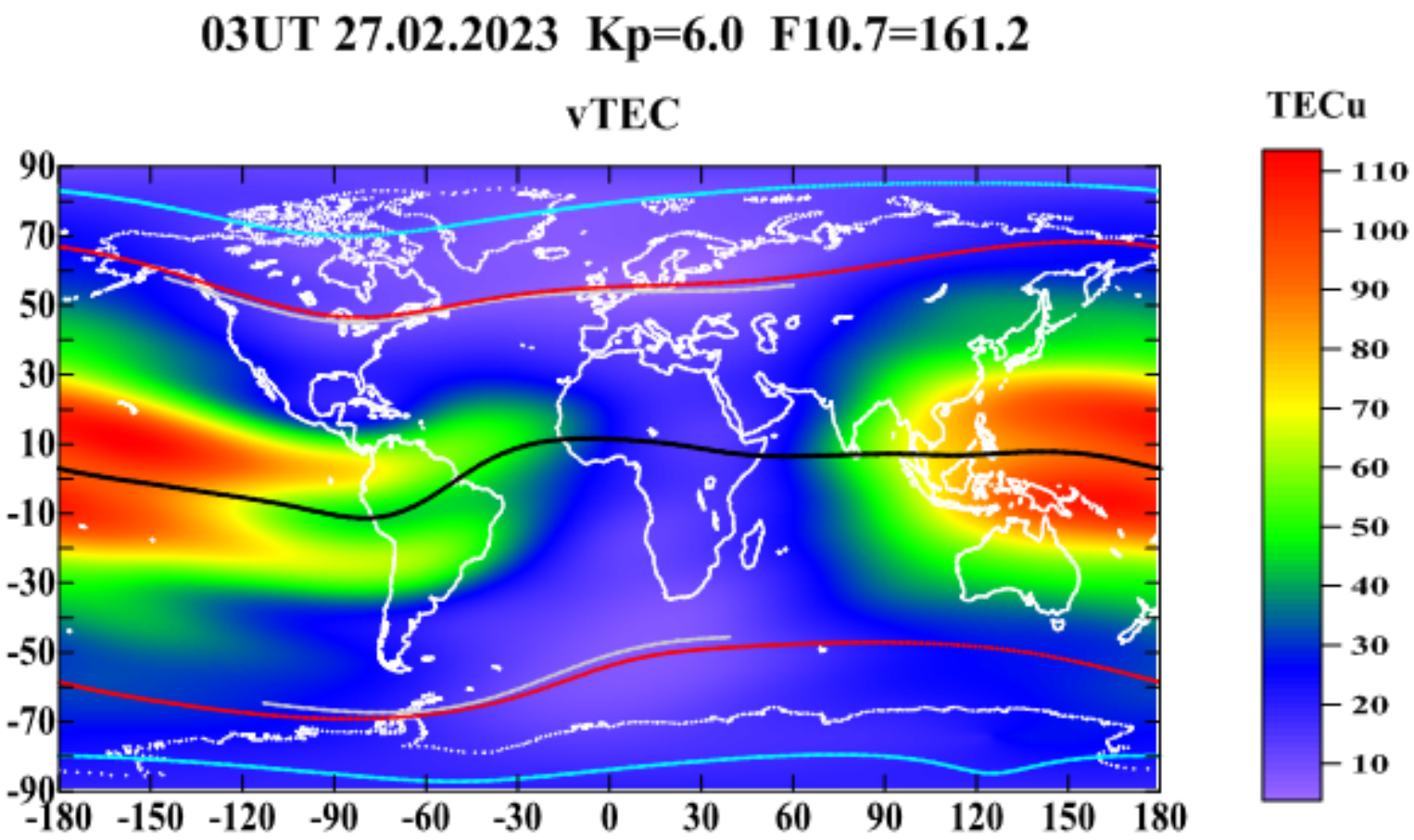


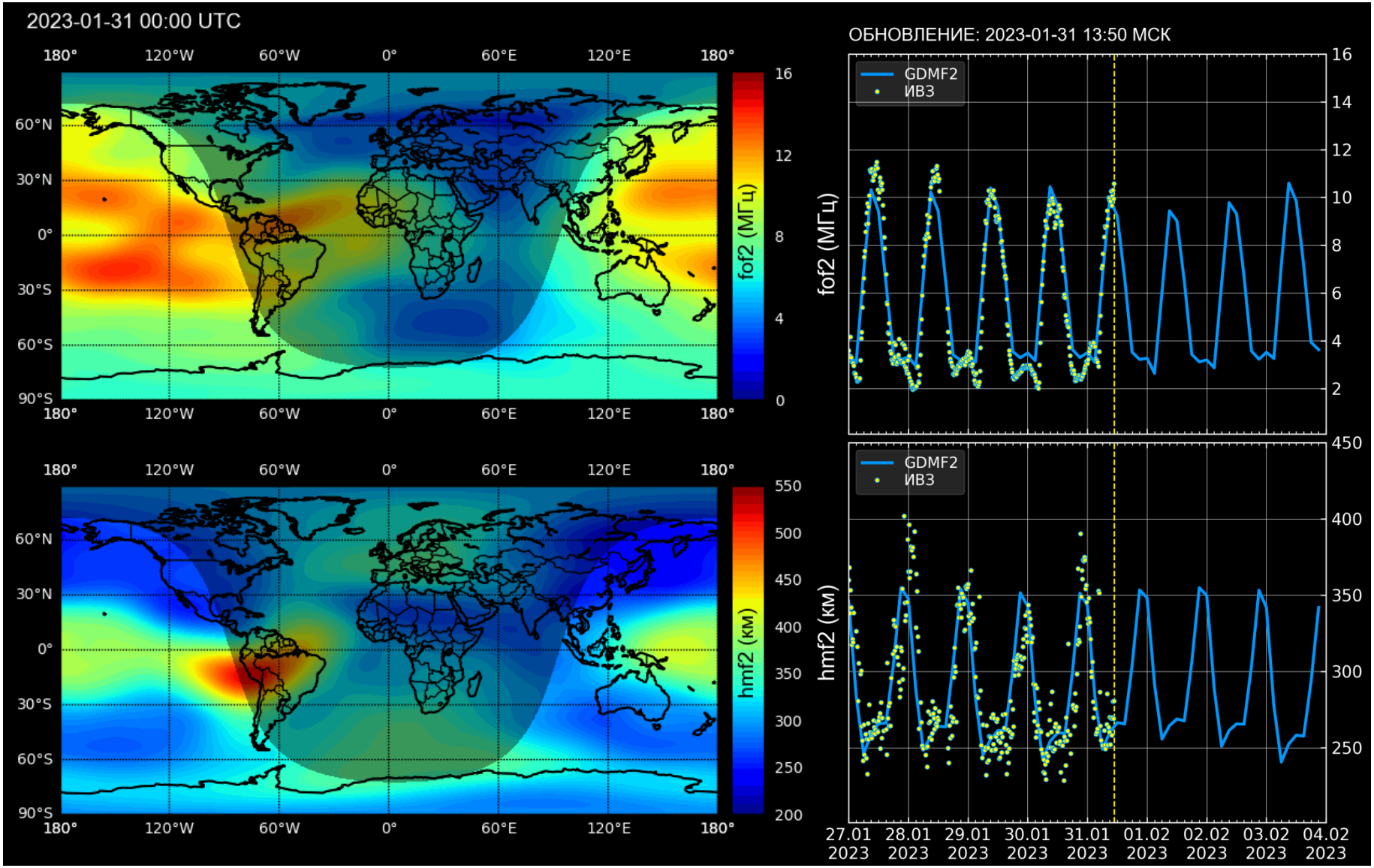
Изменения ap-индекса магнитной активности и относительных значений критической частоты F2-слоя *foF*2 над ст. Слау (51.5 N, 0.6 W) для 25-30 июля 1981 года по экспериментальным данным – точки, эмпирической модели IRI – штриховая линия, и по разработанной модели – сплошная линия, *где foF*2q – фоновые (медианные) значения *foF*2.

Критическая частота F2-слоя при высокой геомагнитной активности по разработанной модели



Полное электронное содержание vTEC при высокой геомагнитной активности по разработанной модели





http://sw.izmiran.ru/ionos.html

Вместо Заключения

Разработанные в ИЗМИРАН полуэмпирические модели могут быть использованы и используются для прогнозирования основных параметров ионосферы.

В ИЗМИРАН созданы и чисто эмпирические модели параметров ионосферы для определенных значений индексов геомагнитной активности (А.Т. Карпачев, В.В. Клименко, М.В. Клименко и др.)
https://www.izmiran.ru/ionosphere/sm-mit/

В ИЗМИРАН Т.Л. Гуляева поддерживает сервер данных, характеризующих погоду в ионосфере, включая глобальные карты индексов ионосферных возмущений
https:// www.izmiran.ru/services/iweather/

В Западном отделении ИЗМИРАН созданы самосогласованные модели системы нейтральная атмосфера-ионосфера-магнитосфера, которые тоже могут иметь прогностическую направленность.