

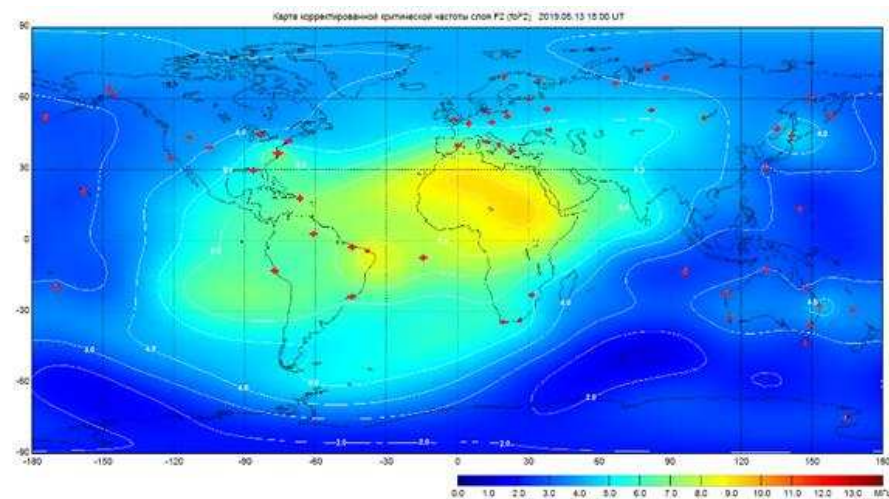


**Система ионосферного мониторинга Росгидромета:
перспективы развития сети наблюдений и комплекса моделей и
программных средств**

Москва, 2024



- *Сеть ИПГ – 9 станций*
- *Сеть ААНИИ – 6 станций (Амдерма не поступают с февраля 2024, Тикси не поступают с середины сентября, Певек не поступают более года)*
- *Станции РАН – 2 станции (ИЗМИРАН,)
Калининград, Москва (Троицк) оборудование полностью либо частично Росгидромета*
Возобновили поставку данных: Екатеринбург, Институт Геофизики УО РАН
Перестали поступать данные: Иркутск, ИСЗФ СО РАН



Инспекции и поверки сети вертикального радиозондирования



Ремонт АФУ,
профилактика и
поверка ионозонда
ВЗ в Вяземском

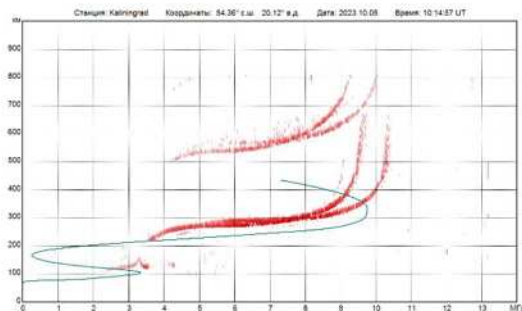


Весна 2024 г

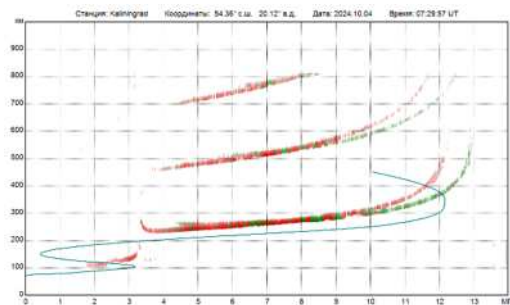


Осень 2024

Калининград:
обновление АФУ для разделения
компонент радиосигнала



Восстановление
полотна антенны:
наблюдательный пункт
Электроугли

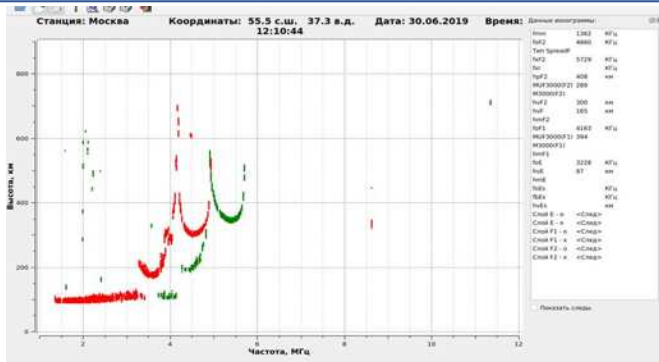


Обновление оборудования сегмента вертикального радиозондирования.

Ионозонд «Меридиан – ВЗ»



Назначение. Ионозонд предназначен для вертикального и трансионосферного зондирования ионосферы, оперативного определения параметров ионосферы в режиме реального времени.



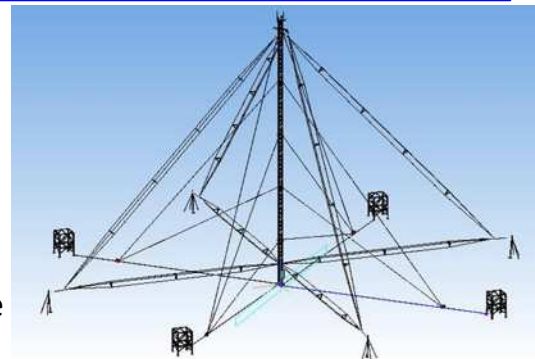
Ионограмма ионозонда «Меридиан-ВЗ»

Новые возможности

- программное управление и формирование зондирующих сигналов с требуемой модуляцией; обработка зондирующих сигналов в автоматическом режиме;
- прием сигналов бортовых передатчиков с космических аппаратов (КА) и измерение зависимости критических частот прошедших через ионосферу сигналов;
- передача сигналов на бортовые приемники КА;
- радиомониторинг электромагнитного излучения в диапазоне частот от 1 до 30 МГц.

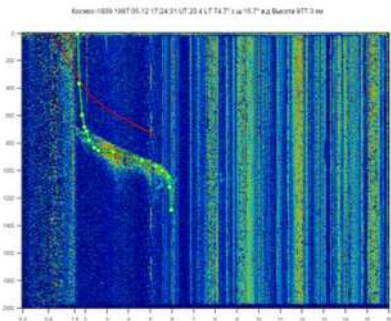
Технические характеристики

- диапазон частот от 1 до 30 МГц
- тип используемых сигналов: радиоимпульс, ФКМ
- длительность импульсов от 30 до 560 мкс.
- период посылки импульсов от 50 до 2000 Гц
- импульсная мощность передатчика: от 600Вт
- разделение компонент отраженной волны;
- тип приемного антенного элемента: активная магнитная рамка;
- минимальный размер антенного поля (для излучающей антенны типа Дельта): 50х50 м

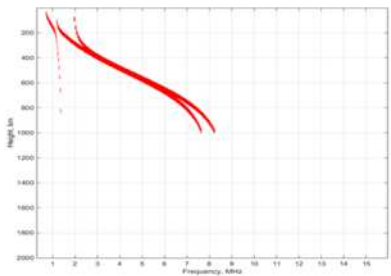


4 ноября 2024 года запланирован запуск 1-2 КА
«Ионосфера» с ионозондами на борту

КА будут находиться на орбитах близких к 800 км и осуществлять радиозондирование внешней ионосферы. При этом они определяют два основных параметра ионосферы – критическую частоту слоя F2 и высоту расположения максимума концентрации. Эти два параметра и планируется ассимилировать в модель SIMP-3 для определения состояния ионосферы над зарубежными территориями.

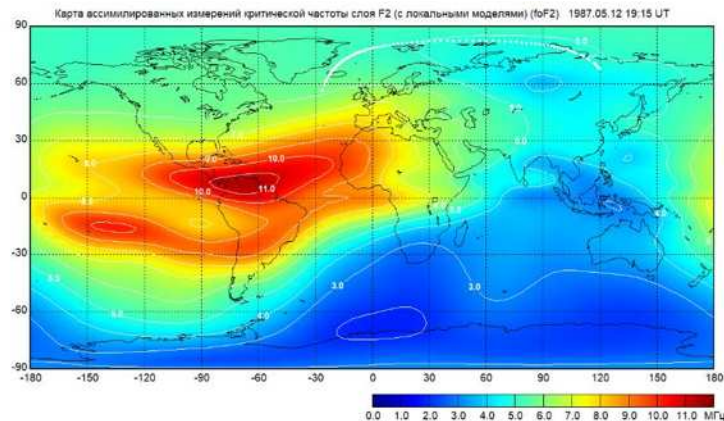


Интерактивная
обработка
ионограмм



Автоматическая
обработка
ионограмм

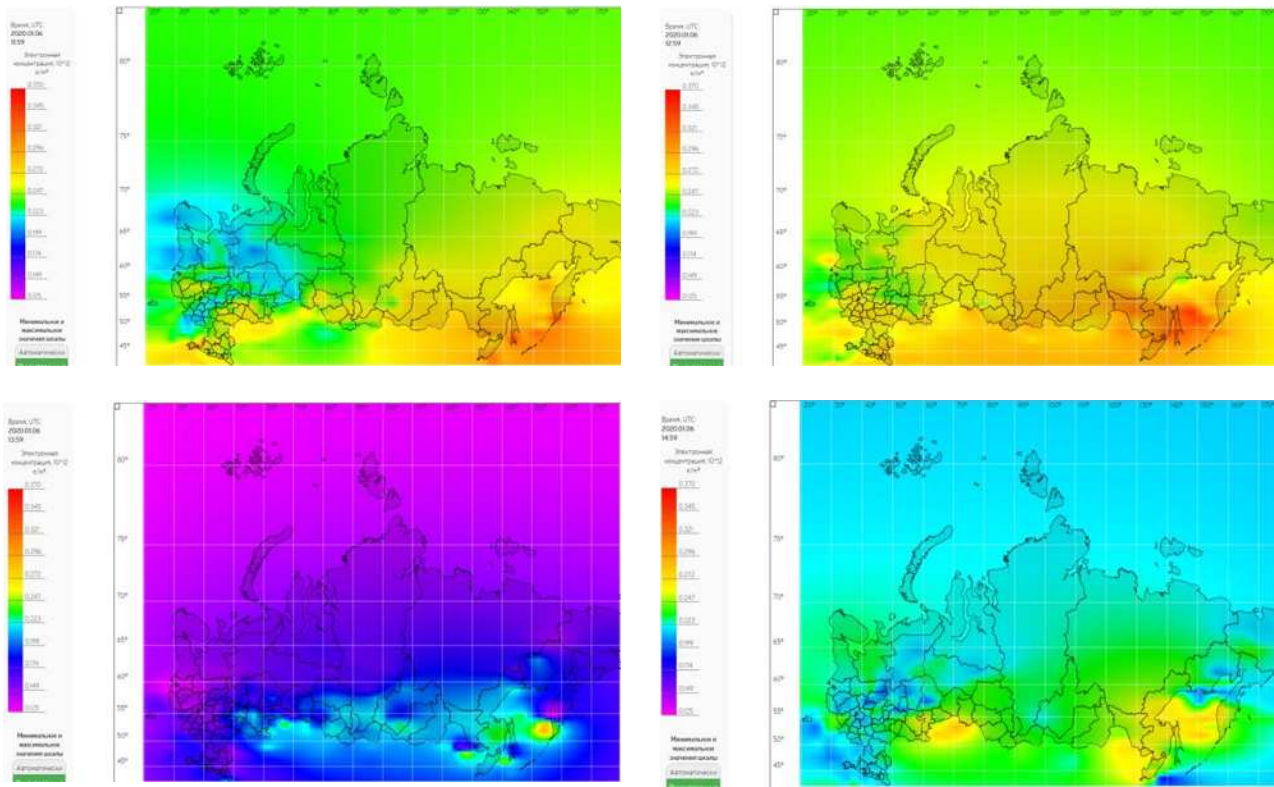
Для тестирования модели
использовались данные
спутника «Космос-1809»,
работавшего в 1987 г. Было
проведено сравнение
результатов расчета модели
усвоившей данные
наблюдений, с данными
наземных наблюдений на
территории РФ.
Среднеквадратическое
отклонение оказалось менее
0,5 МГц.



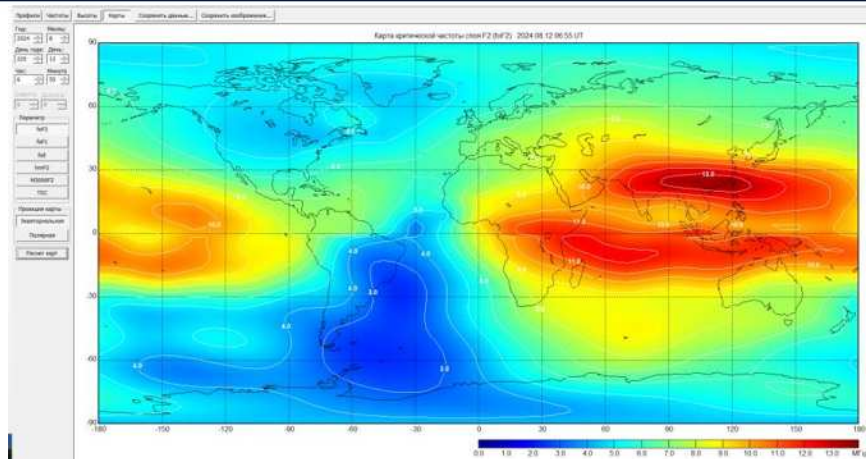
Зоны корреляции ионосферных наблюдательных средств российского наблюдательного сегмента



Срезы концентрации электронов в ионосфере над территорией РФ по данным сети радиотомографии Росгидромета

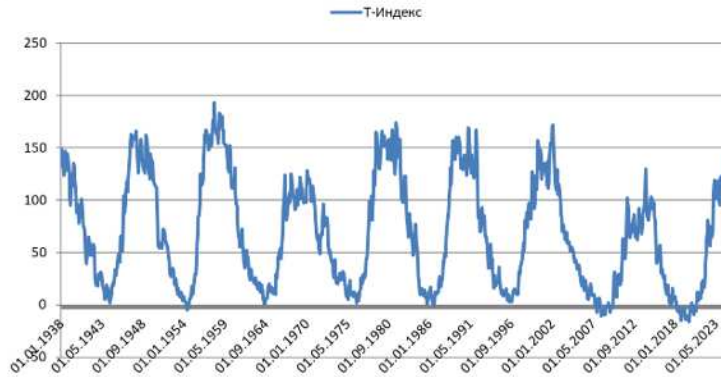


Модель «SIMP- STANDART»



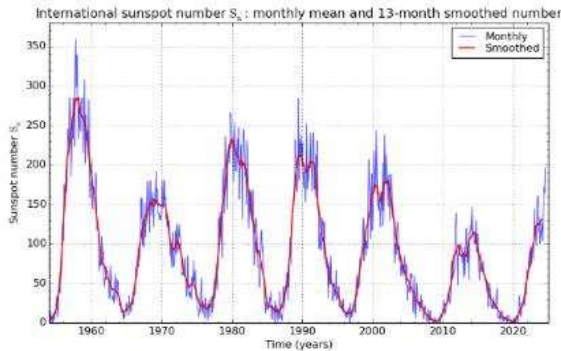
Основной моделью, реализующей долгосрочное прогнозирование ионосферы, является модель «SIMP- STANDART». На основе этой модели в качестве основной методики реализована, одобрена и рекомендована к использованию в ФГБУ «ИПГ» ЦМКП методика долгосрочного прогнозирования состояния ионосферы»

Методика предназначена для расчёта среднемесячного фонового магнитно-спокойного состояния ионосферы и может быть использована для оценки средних ионосферных условий функционирования существующих и проектируемых средств радиосвязи, радиолокации, радионавигации и других радиотехнических средств в диапазонах средних (MF) и высоких (HF), а также для оценки воздействия заряженных частиц на технические устройства, функционирующие в ионосфере Земли. Методика не распространяется на периоды ионосферных бурь. Погрешность прогноза используемой методики в абсолютных величинах отклонение прогноза от магнитно-спокойного фонового состояния ионосферы не превышает 1 МГц. Относительное отклонение не превышает 10%, средний сдвиг равен нулю.



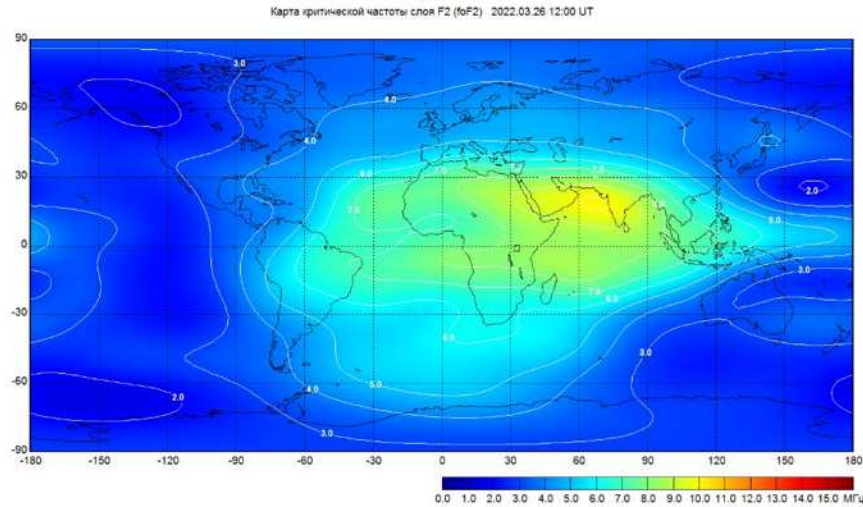
Входными параметрами для программы модели являются географическая широта и долгота, день года или дата, местное или всемирное время, усреднённое по 12 месяцам значение индекса солнечной активности **R12**, ионосферный **индекс Т**

Оба параметра заимствуются из зарубежных источников. Усредненный индекс солнечных пятен R12 на российских обсерваториях не рассчитывается, но для его создания есть все технические возможности.



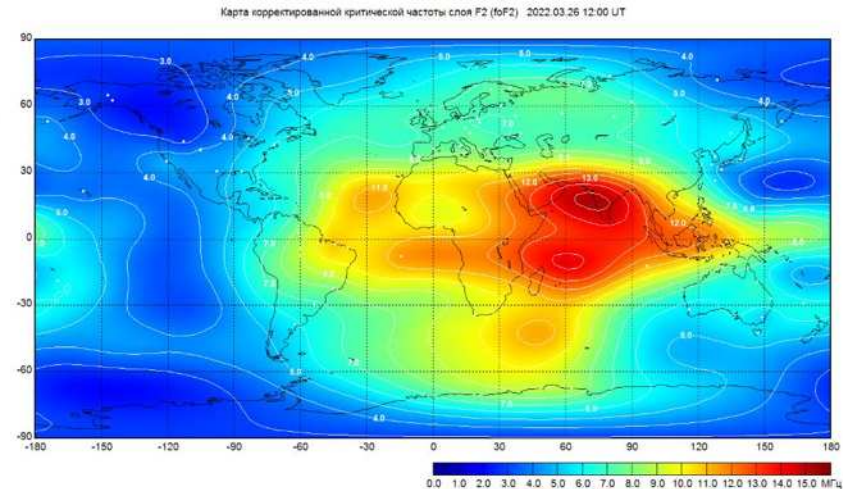
SILSO graphics (<http://sido.berlin.de/silso/>) Royal Observatory of Belgium: 2024 August 1.

В ИПГ на основе многолетнего анализа корреляционных зависимостей между индексом Т, наблюдениями ионозондов сети создан российский аналог индекса Т. Использование которого возможно в течении года после возможного отключения зарубежной информации



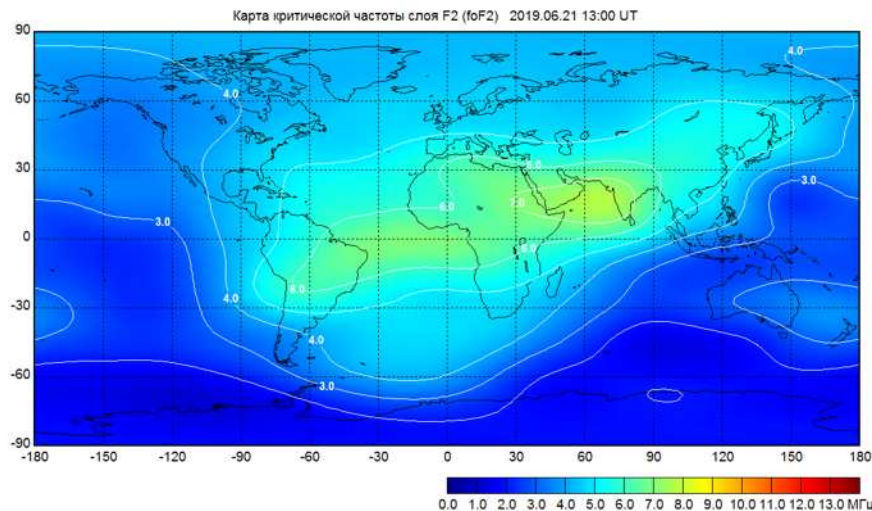
Результаты усвоения моделью SIMP-2
данных оперативных наблюдений
методом мультиквадриков.
При больших отклонениях поверхность
выходит за пределы исходного
диапазона значений

В настоящее время ежедневные
наблюдения ионозондов
существенно отличаются от
медианных значений



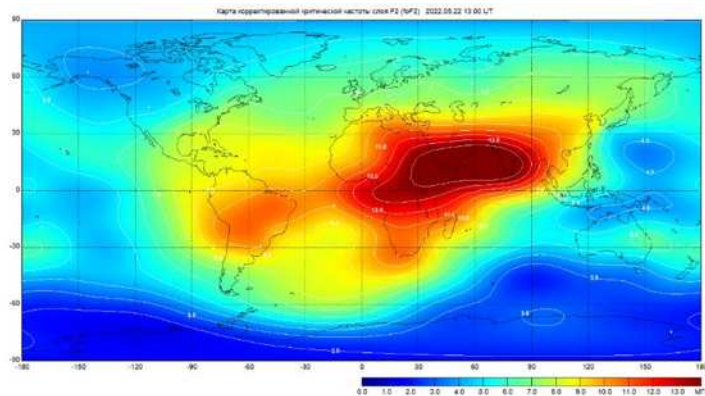
Система ионосферного мониторинга и прогноза SIMP-3

Динамическая модель foF2

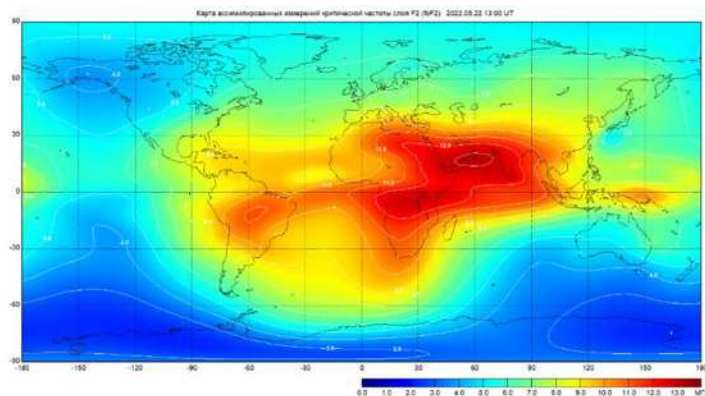


- Медиана построена по данным 234 ионозондов за период 1957-2020 гг., а также данным спутников Интеркосмос-19, CHAMP, GRACE, COSMIC
- 8 долготных и 12 широтных гармоник для высокой и низкой солнечной активности
- Учет магнитной активности и специфики полярной области
- Проведено обновление коэффициентов разложения для учета данных последнего десятилетия

В Росгидромете в настоящий момент реализуется система ионосферного мониторинга и прогноза SIMP-3, предназначенная для осуществления мониторинга и краткосрочного (1-24 часа) прогноза глобального состояния ионосферы преимущественно северного полушария. В ней реализована новая система ассимиляции данных для усвоения данных спутникового зондирования. Кроме современной системы ассимиляции данных данная модель является динамической, то есть в отличие от климатических моделей имеет поправку на уровень геомагнитной активности, что существенно повышает ее возможности в возмущенных геофизических условиях.

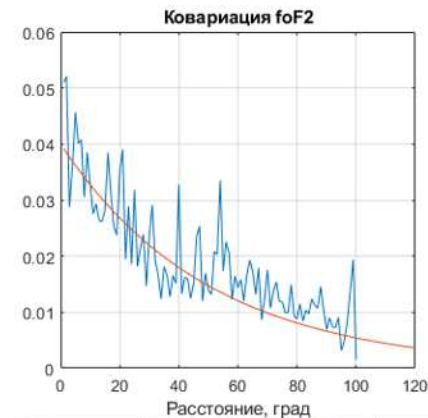


Усвоение данных в модель методом мультиквадриков



Усвоение данных в модель методом кригинга

Метод кригинга в качестве метода усвоения данных наблюдений позволил получить картину распределений foF2 в соответствии с областями корреляции ионосферных наблюдений в конкретной точке

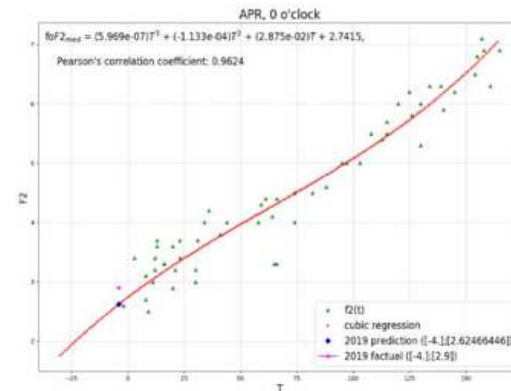


Подбор функции ковариации проводился индивидуально для каждого наблюдательного пункта



Построены и верифицированы статистические функции **локальных моделей слоя F2** по станциям российских и зарубежных ионосферных наблюдательных пунктов

Станция Модели ионосферы	Москва			Ростов		
	Остаточное СКО, МГц	Среднее откл. от наблюдений, МГц	Среднее относит откл, %	Остаточное СКО, МГц	Среднее откл. от наблюдений, МГц	Среднее относит откл, %
Shub T	0.52	0.02	7.75	0.54	0.14	0.42
IRI 12	0.57	-0.03	8.73	0.57	-0.05	0.50
SIMP1	0.32	-0.00	4.93	0.36	-0.02	0.27
RGM	0.30	0.00	4.66	0.35	0.00	0.26
SMI88	0.69	-0.04	11.34	0.59	0.04	0.64

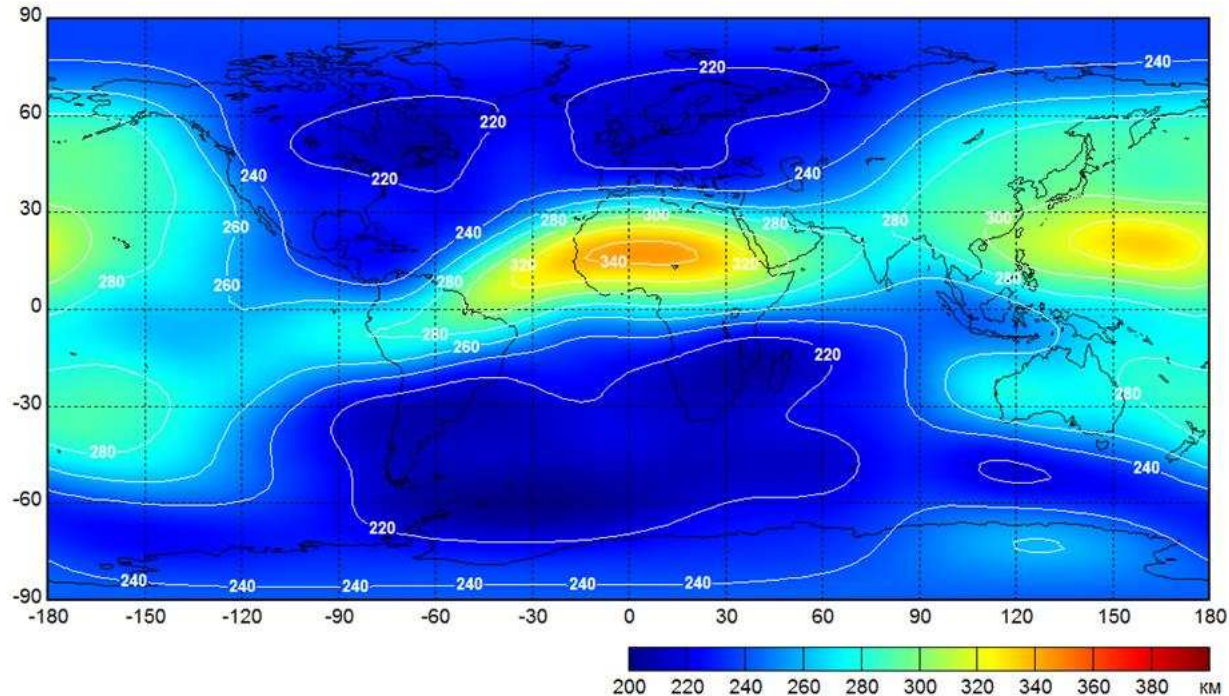


Результат построения
регрессии по наблюдениям
станции Ростов в 00 часов
для апреля

Shub T – динамическая модель foF2 ИЗМИРАН, автор Шубин В.Н.;
 IRI 12 – Международная ионосферная модель в версии 2012 года;
 SMI88 – ГОСТ 25645.146-89. Ионосфера Земли. Модель глобального распределения концентрации, температуры и эффективной частоты соударений электронов;
 RGM – локальная ионосферная модель по конкретной станции.

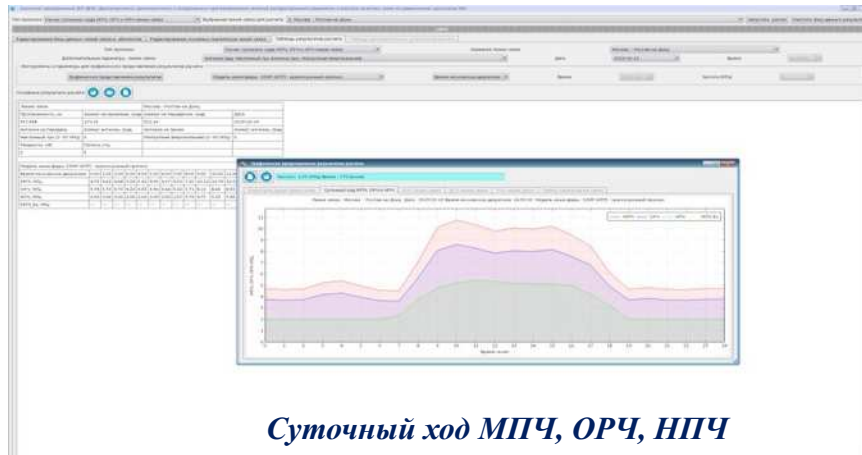


Карта высоты максимума слоя F2 (hmF2) 2019.06.26 13:00 UT

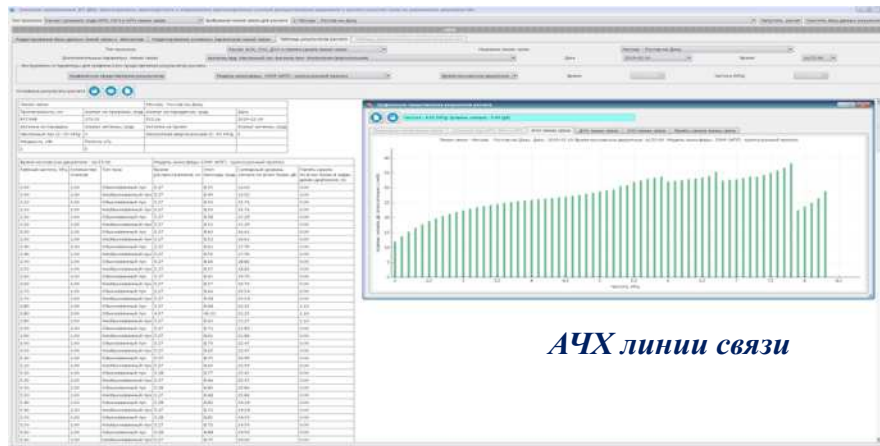


- Модель высоты максимума концентрации построена по данным CHAMP, GRACE, COSMIC

Расчет радиополей для организации радиосвязи



Суточный ход МПЧ, ОРЧ, НПЧ



АЧХ линии связи

- Определение наивысшей частоты радиоизлучения, на которой существует наклонное распространение радиоволн между заданными пунктами (МПЧ), частоты радиоизлучения ниже максимальной применимой частоты, на которой может осуществляться устойчивая радиосвязь в определенных геофизических условиях (ОРЧ) и наименьшей применимой частоты (НПЧ), определяемой из условия получения в некоторой точке пространства достаточной для приёма напряжённости поля, для конкретного времени для заданной линии связи.

- Расчет суточного хода МПЧ, ОРЧ, НПЧ и МПЧ_Es (спорадического слоя) с произвольным шагом по времени для произвольной выбранной линии связи из базы данных (БД)

- Расчет амплитудно-частотной (АЧХ), дистанционно-частотной (ДЧХ) и угловой частотной (УЧХ) характеристик для заданной линии связи, а также памяти канала связи на сетке частот.



- ПК реализован в двух операционных системах Windows и ОС Astra Linux
- Расширен перечень антенн на прием и передачу, включающий расширенную линейку антенн РГД, ВГДШ
- ПК предполагает возможность использования без автоматического подключения к Интернету и загрузку ионосферных обновлений для мест с неустойчивым подключением.
- Добавлен модуль расчета зон покрытия или уверенного приема, содержащий следующие программные блоки.

Блок расчета энергетических характеристик:

Блок определения напряженности поля (напряжения на входе приемника)

Блок расчета поглощения в ионосфере.

Блок расчета потерь на поляризационное рассогласование в ионосфере.

Блок расчета поляризационных характеристик, коэффициента усиления (КУ) и диаграмм направленности (ДН) антенн на прием и передачу.





Среднеквадратичная ошибка
расчетов для ПК QRG для
модели SIMP 2 с усвоением
данных

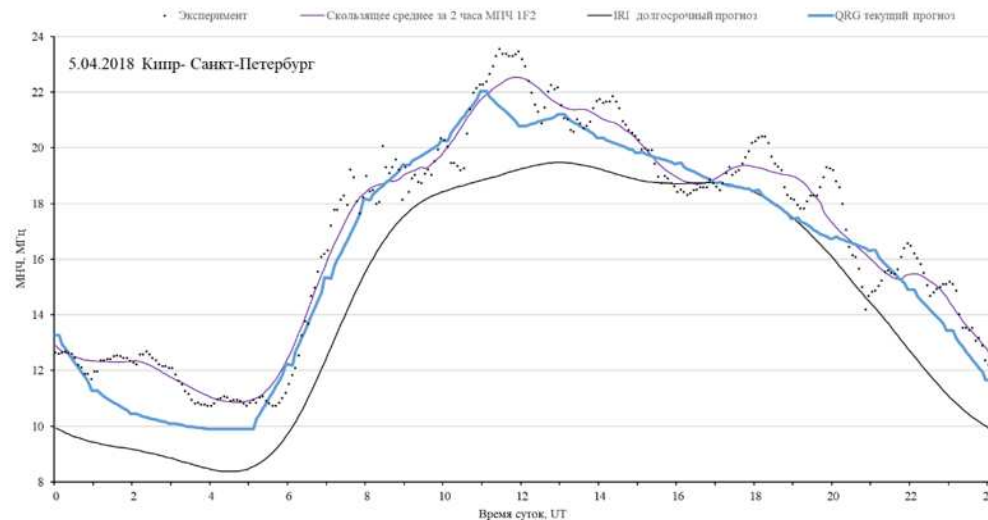
$$\sigma_{\text{ост } SIMP2} = 0,89 \text{ МГц}$$

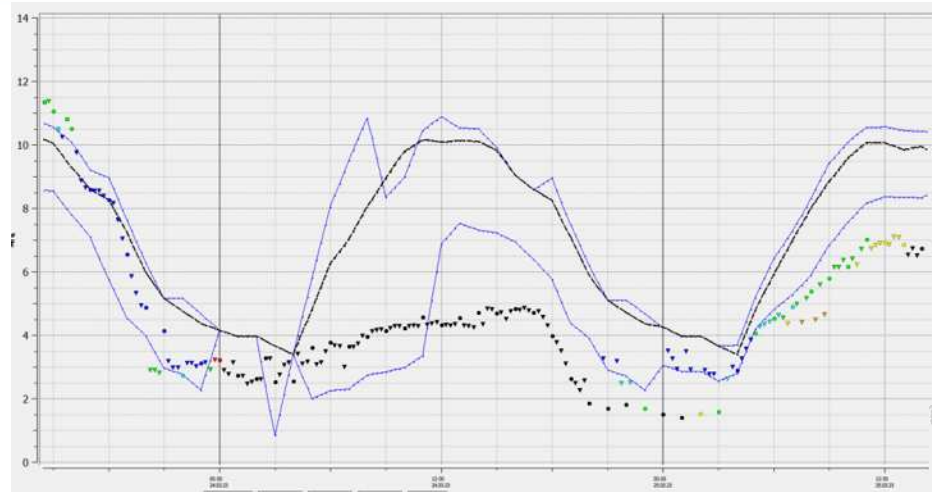
Относительная ошибка прогноза
МПЧ составила 4,95 %.

Коэффициент линейной корреляции

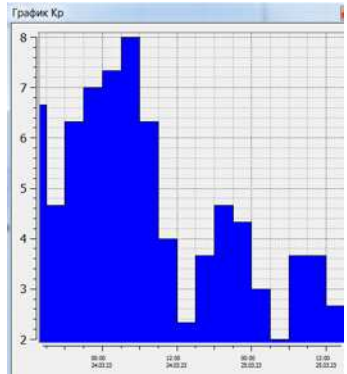
$$r_{xy} = 0,99$$

Вывод: расчеты МПЧ обладают весьма высокой частотой
связи по шкале Чедокка с натурными данными МПЧ 1F2.



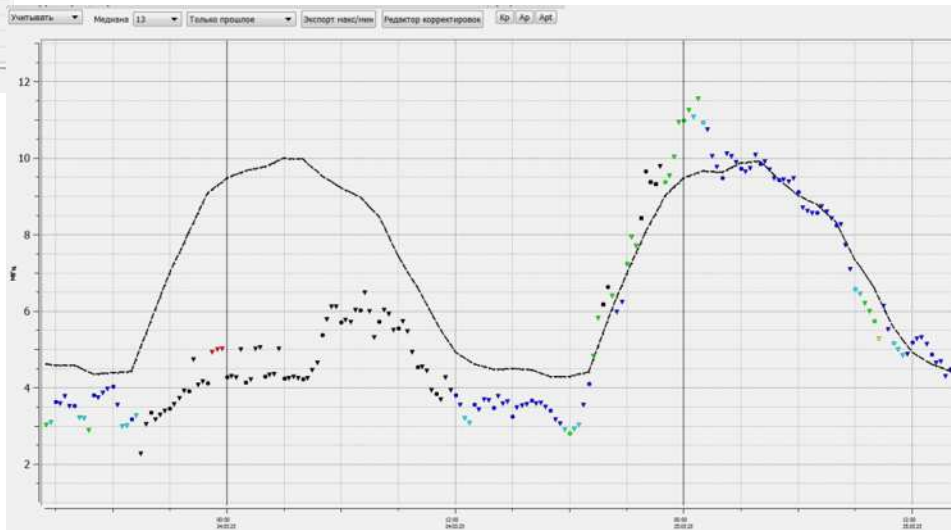


Калининград



Реакция ионосферы на бурю
23 марта 2023 года

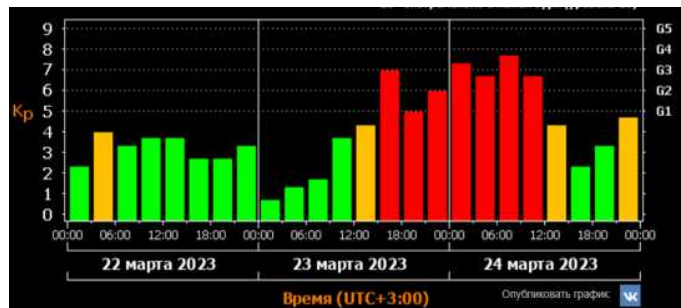
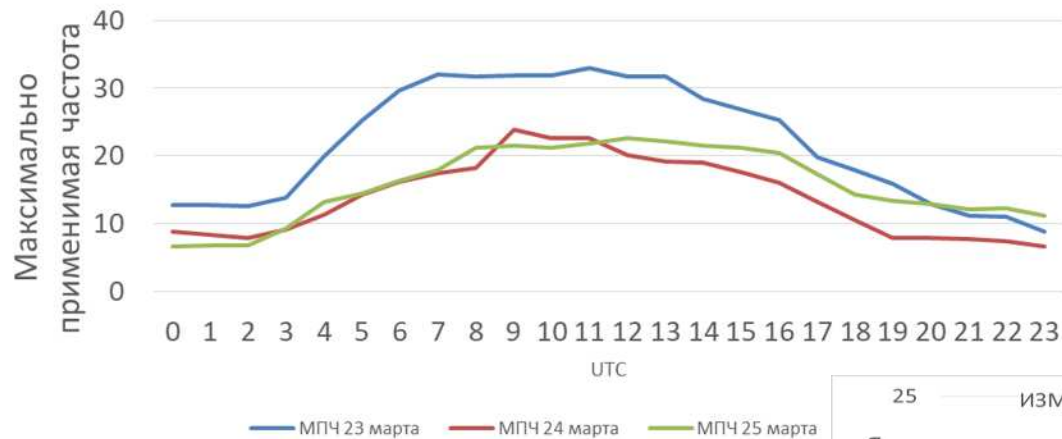
Петропавловск



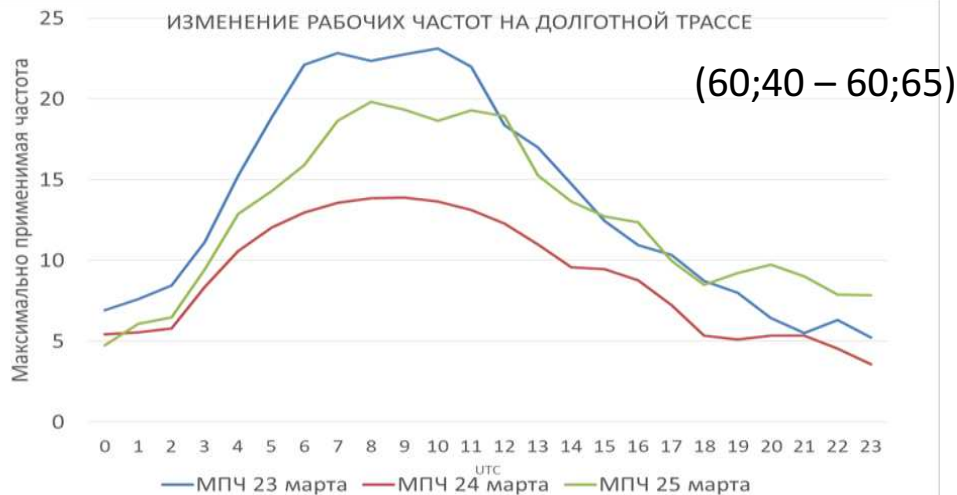
МАГНИТНАЯ БУРЯ 23-24 марта 2023 г. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ИОНОСФЕРУ



ИЗМЕНЕНИЕ РАБОЧИХ ЧАСТОТ НА ШИРОТНОЙ ТРАССЕ (60;40 – 40;40)



ИЗМЕНЕНИЕ РАБОЧИХ ЧАСТОТ НА ДЛГОТНОЙ ТРАССЕ (60;40 – 60;65)





Мероприятие 1. «Усовершенствование глобальной модели Земной системы мирового уровня для исследовательских целей и сценарного прогнозирования климатических изменений».

Общая задача: Создание версии модели Земной системы совместно с блоком динамики деятельного слоя суши, блоками атмосферного и океанического пограничного слоя, блоком моделирования биохимии океана, блоком расчета углеродного цикла, моделью атмосферной химии, моделью ионосферы Земли и моделью глобальной электрической цепи, разрабатываемыми организациями-партнерами.

Частная задача. Создание Модели ионосферы с системой усвоения данных реализованная в составе модели Земной системы ИВМ РАН

1 Система ионосферных наблюдений Росгидромета в настоящее время функционирует исключительно на базе наблюдений с территории России.

Система наблюдений методом радиозондирования имеет минимально необходимый объем и нуждается в комплексировании с наблюдательными средствами других ведомств.

Техническое обновление сети не проводилось с 2015 года, однако регулярно проводится ремонт и поверка оборудования.

Назрел вопрос о замене оборудования как на северных, так и среднеширотных станциях.

2 Информационные технологии ионосферного мониторинга развиваются в двух направлениях

- Эмпирическая модель СИМП, основанная на регрессионных моделях, построенных по многолетним данным наблюдений ионосферы различными методами.
- Численная модель ионосферы ИВМ РАН, решающая комплекс физико-химических уравнений с системой усвоения всех видов наблюдений ионосферы.

3 Продукция системы ионосферного мониторинга на настоящий момент включает в себя сведения о климатическом и оперативном состоянии ионосферных слоев и параметры радиотрасс с заданными техническими условиями. Развивается система ионосферного наукастинга и сверхкраткосрочного прогноза.



Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова
(ФГБУ «ИПГ»)



129128, г. Москва, ул. Ростокинская, д. 9
тел./факс 7(499)187-81-86
<http://ipg.geospace.ru>