

## Направление 7. ИОНОСФЕРА

Координаторы: В.Д. Кузнецов (ИЗМИРАН), М.И. Веригин (ИКИ РАН)

7.1	Проект 7.1: Эффективные индексы солнечной и геомагнитной активностей для параметров ионосферы	ИЗМИРАН	Деминов М.Г.
7.2	Проект 7.2: Особенности F области низкоширотной и экваториальной ионосферы в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь	ИЗМИРАН	Карпачев А.Т.
7.3	Проект 7.3: Пространственная структура и динамика проявления флуктуаций ГЛОНАСС/GPS сигналов в Арктике и их влияние на точность позиционирования	ЗО ИЗМИРАН	Шагимуратов И.И.
7.4	Проект 7.4: Экспериментальное исследование реакции полярной ионосферы на вторжения энергичных частиц магнитосферного происхождения с помощью трехкомпонентной установки для измерения ОНЧ излучений. Исследование экстремальных проявлений солнечной активности по данным наземной сети нейтронных мониторов	ПГИ КНЦ РАН	Федоренко Ю.В., Балабин Ю. В.

### **Проект 7.1. Эффективные индексы солнечной и геомагнитной активностей для параметров ионосферы.**

#### **Тема 7.1.1. Эффективные индексы солнечной и геомагнитной активностей для параметров ионосферы**

Установлено, что индекс геомагнитной активности для медианы критической частоты F2-слоя ионосферы средних широт систематически меньше среднего за месяц значения этого индекса.

Характеры связей индексов солнечной и геомагнитной активностей для медиан foF2 со средними значениями этих индексов почти совпадают для периодов относительно высокой (1954–1995 гг.) и низкой (1996–2013 гг.) солнечной и геомагнитной активности.

**Руководитель темы:** Деминов М.Г., д.ф.-м.н., ИЗМИРАН, deminov@izmiran.ru.

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 5 статей.

#### **Тема 7.1.2. Долговременные изменения параметров термосферы и ионосферы Земли**

Обосновано, что декабрьская аномалия в F2-слое связана с увеличением содержания атомного кислорода в атмосфере Земли, вызванного уменьшением расстояния от Земли до Солнца в декабре.

Одним из факторов долговременных изменений параметров термосферы и ионосферы является так называемая декабрьская аномалия в F2-слое – глобальное увеличение концентрации максимума этого слоя NmF2 вблизи декабрьского солнцестояния. Это явление известно со времени начала ионосферных наблюдений, т.е. более 70 лет, однако до настоящего времени не было предложено удовлетворительного механизма для его объяснения. Получение решения этой задачи было главной целью данного этапа работ.

Показано, что декабрьская аномалия в F2-слое связана с увеличением содержания атомного кислорода в атмосфере Земли, вызванного уменьшением расстояния от Земли до Солнца в декабре. Годовая асимметрия в нейтральном составе и температуре верхней атмосферы Земли отражена в эмпирических моделях MSIS86 и MSISE00, что совместно с 7% увеличением потока солнечного EUV оказывается достаточным для объяснения декабрьской аномалии NmF2, по крайней мере, на фазе минимума солнечной активности (2008-2009 г.г.). Предложен механизм увеличения содержания атомного кислорода в атмосфере Земли с приближением к декабрьскому солнцестоянию. В основе его лежит эффект накопления атомного кислорода в связи с разными характерными временами его образования и гибели.

**Руководитель темы:** Михайлов А.В., д.ф.-м.н., ИЗМИРАН, mikhailov71@gmail.com

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

## **Проект 7.2. Особенности F области низкоширотной и экваториальной ионосферы в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь**

### **Тема 7.2.1. Особенности F области низкоширотной и экваториальной ионосферы в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь**

По данным спутника Интеркосмос-19 построена эмпирическая модель экваториальной аномалии в критической частоте F2-слоя для высокой солнечной активности.

Было построено глобальное распределение foF2 в экваториальной ионосфере для каждого часа местного времени (LT) для летних, зимних и равноденственных условий. Это позволяет впервые в полном объеме изучить динамику ЭА с течением местного времени для всех сезонов.

**Руководитель темы:** Карпачев А.Т., д.ф.-м.н., ИЗМИРАН, karp@izmiran.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

### **Тема 7.2.2. Модельно-информационное обеспечение ионосферных проектов.**

Получено, что сдвиг во времени (запаздывание) ионосферных процессов по сравнению с их источниками в межпланетной среде и магнитосфере Земли позволяет при появлении признаков начала бури в параметрах ММП и солнечного ветра и наземном мониторинге геомагнитных и ионосферных параметров прогнозировать развитие рассмотренных процессов в течение 48 ч после начала бури.

. Для идентификации геомагнитно-ионосферных бурь по пороговым значениям амплитуды соответствующих ионосферных и геомагнитных индексов составлены каталоги, представленные на сайте ИЗМИРАН <http://www.izmiran.ru/services/iweather/storm/>:

Выполнен статистический анализ наибольшей вероятности появления признаков ионосферных бурь ТЕС в зависимости от региона, как во время ионосферных бурь, так и при так называемых «спокойных условиях».

Показана зависимость положительных ионосферных бурь (повышенная плотность электронов,  $pW^+$ ) и отрицательных ионосферных бурь (пониженная плотность электронов,  $pW^-$ ) от регионов на Земле, сезона и уровня солнечной активности (СА

**Руководитель темы:** Гуляева Т.Л., к.ф.-м.н., ИЗМИРАН, gulyaeva@izmiran.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

### **Проект 7.3. Пространственная структура и динамика проявления флуктуаций ГЛОНАСС/GPS сигналов в Арктике и их влияние на точность позиционирования.**

#### **Тема 7.3.1. Пространственная структура и динамика проявления флуктуаций ГЛОНАСС/GPS сигналов в Арктике и их влияние на точность позиционирования.**

Одним из индикаторов состояния космической погоды являются флуктуации и сцинтилляции трансionoсферных сигналов в высокоширотной ионосфере. Флуктуации и сцинтилляции сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS обусловлены с эффектами рефракции и дифракции сигналов на ионосферных неоднородностях. В высокоширотной ионосфере присутствуют как мелкомасштабные, так и крупномасштабные неоднородности. Флуктуации и сцинтилляции могут вызывать нарушение фазового синхронизма за счёт скачков фазы когерентных сигналов L1/L2, что приводит к срывам приема сигналов. В конечном итоге это влияет не только на точность, но и возможность местоопределения. Особенно это касается навигации в Арктике в периоды геомагнитных возмущений.

В рамках темы был проведён анализ использования для мониторинга ионосферы отечественной космической навигационной системе ГЛОНАСС. Показано что, ГЛОНАСС более эффективна для исследования высокоширотной ионосферы. Была разработана

методика получения данных о вариациях полного электронного содержания ионосферы (ТЕС) по двухчастотным измерениям задержек ГЛОНАСС сигналов. Были проведены дополнительные исследования по проявлению флуктуаций навигационных сигналов и их связи с авроральной активностью во время геомагнитного возмущения 2 октября 2013г.

**Руководитель темы:** Шагимуратов И.И., к.ф.-м.н., Калининградский филиал ИЗМИРАН, shagimuratov@mail.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 4 статьи.

### **Тема 7.3.2. Источники электромагнитного дрейфа ионосферной плазмы, его реакция на внутренние процессы и внешние воздействия, и влияние на распределение околоземной космической плазмы**

Обосновано, что долготная зависимость отклика низкоширотной ионосферы на геомагнитные суббури связана с зависимостью этого отклика от момента начала суббури, поскольку параметры системы термосфера-ионосфера зависят от долготы и местного времени.

С помощью Глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП) были проведены исследования ионосферных эффектов четырех полностью идентичных модельных суббурь с различными моментами начала. Такое исследование дало возможность изучить долготную зависимость отклика ионосферы на геомагнитные суббури. Показано, что: (1) воздействие на экваториальную аномалию, и экваториальный электроджет сильно зависит от момента начала суббури; (2) возмущения в экваториальной плотности зонального тока во время суббури имеет значительную долготную зависимость; (3) наблюдаемые противоречия в отклике электрического поля в различных регионах на суббури могут быть связаны с зависимостью этого отклика от момента начала суббури, т.е. с долготной изменчивостью параметров системы термосфера-ионосфера.

Показано, что, несмотря на наличие солнечной ионизации над областями WSA и YA в дневное время и ее отсутствие в ночное время, значения foF2 в ночное время больше, чем днем из-за: (1) горизонтального переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа; (2) вертикальной составляющей переноса плазмы вдоль силовых линий геомагнитного поля, под действием меридиональной компоненты термосферного ветра; (3) распределения нейтрального состава термосферы.

**Руководитель темы:** Клименко М.Ф., к.ф.-м.н., Калининградский филиал ИЗМИРАН, maksim.klimenko@mail.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

### **Тема 7.3.3. Влияние процессов в стратосфере и мезосфере на глобальное распределение ионосферных параметров.**

Обосновано, что изменения зонального электрического поля являются ключевым механизмом отклика ионосферы низких широт на внезапные стратосферные потепления.

Исследована роль изменчивости средней атмосферы в вариациях электрических полей в ионосфере Земли и вызываемые ими ионосферные эффекты. При задании дополнительного электрического потенциала в модели ГСМ ТИП удалось воспроизвести наблюдаемые возмущения полного электронного содержания во время внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Исследования ионосферных эффектов внезапных стратосферных потеплений с использованием моделей TIME-GCM и Глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП) доказывают, что изменения зонального электрического поля (вертикального дрейфа плазмы) являются ключевым механизмом отклика ионосферы на низких широтах

Однако остается открытым вопрос о механизмах генерации таких зональных электрических полей на низких широтах во время внезапных стратосферных потеплений.

**Руководитель темы:** Кореньков Ю.Н., д.ф.-м.н., Калининградский филиал ИЗМИРАН, office@wdizmiran.ru

**.Публикация:** по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

### **Тема 7.3.4. Ионосферные неоднородности, возбуждаемые инфразвуковыми источниками в атмосфере**

На основе численных экспериментов предсказано, что в верхней атмосфере в области волноводного распространения инфразвуковых волн могут формироваться практически не распространяющиеся локализованные возмущения.

К числу явлений, не получивших до настоящего времени надежной физической интерпретации, относятся возмущения ионосферы, связанные с развитием метеорологических возмущений в нижней атмосфере, ионосферные эффекты, обусловленные сейсмической активностью.

В 2015 г. в ходе работ по экспериментальному и теоретическому исследованию процессов распространения АГВ в атмосфере решались следующие задачи:

1. Проведение наблюдений вариаций параметров нижней атмосферы с целью выделения волновых вариаций с периодами инфразвуковых волн и короткомасштабных ВГВ. Основное внимание уделено организации и проведению наблюдений в тропосфере и ионосфере в период солнечного затмения в Калининграде 19.03.2015г.

2. Проведение численных экспериментов по изучению процесса распространения АГВ от источников волн, включая подвижные источники, имитирующих процессы, развивающиеся при прохождении метеорологических фронтов и солнечного терминатора. Выполнены численные эксперименты с целью изучения механизмов формирования неоднородностей верхней атмосферы от подвижных источников инфразвуковых волн на поверхности Земли. Результаты расчетов показали, что в верхней атмосфере, в области волноводного распространения инфразвуковых волн могут формироваться практически не распространяющиеся локализованные возмущения. Предполагается, что возникновение таких неоднородностей обусловлено интерференцией инфразвуковых волн в области волноводного распространения.

**Руководитель темы:** Карпов И.В., д.ф.-м.н., Калининградский филиал ИЗМИРАН, ivkarpov@inbox.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году публикаций нет.

1 статья принята к печати и 1 статья отправлена в печать в 2016 году.

**Проект 7.4. Экспериментальное исследование реакции полярной ионосферы на вторжения энергичных частиц магнитосферного происхождения с помощью трехкомпонентной установки для измерения ОНЧ излучений. Исследование экстремальных проявлений солнечной активности по данным наземной сети нейтронных мониторов**

**Тема 7.4.1. Исследование экстремальных проявлений солнечной активности по данным наземной сети нейтронных мониторов**

По данным нейтронных мониторов Апатиты и Баренцбург получено, что в 2015 году был достигнут минимум потока космических лучей.

Это означает, что был достигнут максимум солнечной активности. Следовательно, 24-й цикл прошел максимум, и активность Солнца пошла на спад, а 24-й цикл – к завершению. Данные, полученные другими методами, подтверждают это. 24-й цикл солнечной активности был необычен с самого начала. И в 2015 г. аномальность эта сохранилась. За время 24-го цикла (с 2009 г.) произошло лишь одно небольшое GLE 17.05.12, и с тех пор больше ничего. Несколько раз случались мощные СПС (солнечные протонные события), однако, их энергия не превышала 100-200 МэВ и, соответственно, на уровне земли зарегистрированы они не были. Самое свежее подобное событие – 29.10.15. Высокогорные южнополярные станции (Южный Полюс, Восток, Терре Адели) отметили якобы возрастание в 1-2 %, что не превышает трех "сигм", а будучи редуцированным к уровню моря (от уровня 2800 м), такие возрастания еще в 2-3 раза станут меньше.

**Руководитель темы:** Балабин Ю.В., к.ф.-м.н., ПГИ КНЦ РАН, balabin@pgia.ru

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

#### **Тема 7.4.2. Экспериментальное исследование экстремальных проявлений солнечной активности в нижней ионосфере по данным наземной сети трёхкомпонентных установок для измерения СНЧ/ОНЧ излучений.**

На основе экспериментального исследования экстремальных проявлений солнечной активности в нижней ионосфере обнаружен случай аномального повышения скоростей распространения атмосфериков в возмущенное время вместо ожидаемого понижения, что требует специального рассмотрения.

Для экспериментального исследования экстремальных проявлений солнечной активности в нижней ионосфере использована скорость распространения атмосфериков в СНЧ диапазоне в вюральной области, получаемая с помощью трёхкомпонентных регистраторов в обс. Ловозеро и обс. Баренцбург. Для этого было проанализировано два события. Первое событие относится к ноябрю-декабрю 2011 г.

Второе событие связано с солнечной вспышкой, произошедшей 22 октября 2011 г

В целом, экспериментальное исследование экстремальных проявлений солнечной активности в нижней ионосфере показало, что в возмущенных гелиогеофизических условиях среднесуточная скорость распространения атмосфериков, как правило, снижается относительно невозмущенных условий. Этот факт может быть объяснен уменьшением действующей высоты волновода вследствие изменения профиля проводимости ионосферы. Обнаружен случай аномального повышения скоростей распространения атмосфериков в возмущенное время вместо ожидаемого понижения, что требует специального рассмотрения.

**Руководитель темы:** Федоренко Ю.В., к.ф.-м.н., ПГИ КНЦ РАН,

yury.fedorenko@gmail.com

**Публикации:** по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

#### **Проект «Критерии объединения волн, создаваемых пульсирующей плазмой в ионосфере Земли» (проект СО РАН).**

Цель проекта – поиск критериев эффективного возбуждения квазистационарных волн (КВ) в узкой силовой трубке (гео)магнитного поля с использованием пульсирующей плазмы (далее – источник). КВ формируются в результате действия механизма объединения волн и источника взрывного характера природного или искусственного происхождения.

Методы исследования – расчеты кластерах и эксперименты на стенде КИ-1 ИЛФ СО РАН. Впервые показано, что источник эффективно создает трубчатые, совмещенные в пространстве КВ-альфвеновскую и медленную магнитозвуковую при выполнении критериев проявления механизма объединения волн. Определен допустимый диапазон отклонения от “резонанса” одного из критериев, который наиболее сильно зависит от энергии вспышек.

При одновременном формировании трубчатых квазистационарных альфвеновских и медленных магнитозвуковых волн допустимо отклонение энергий источника от оптимального значения  $Q_0$  в  $\Delta Q \approx \pm 100 \cdot Q_0$  раз, что имеет существенное фундаментальное и прикладное значение.

Направление перспективное – КВ практически без затухания переносят энергию, импульс и момент импульса вдоль силовой трубки магнитного поля. Актуальны эксперименты на стенде КИ-1 ИЛФ СО РАН и численное моделирование с учетом градиентов магнитного поля.

**Руководитель проекта:** г.н.с., д.ф.-м.н.В.Н. Тищенко, Институт лазерной физики СО РАН.

**Публикация:** по данному проекту в 2015 году опубликована 1 статья.