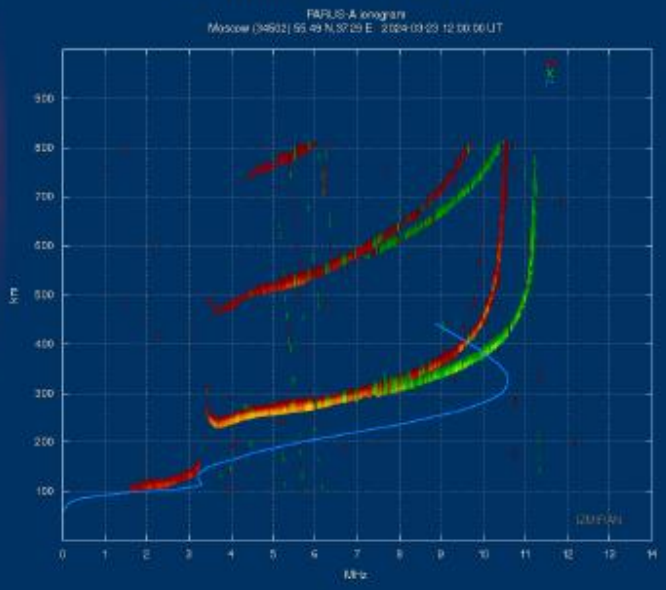
300 лет

85 лет ИЗМИРАН

Симпозиум
Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий («ПРОГНОЗ-2024»)

посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН

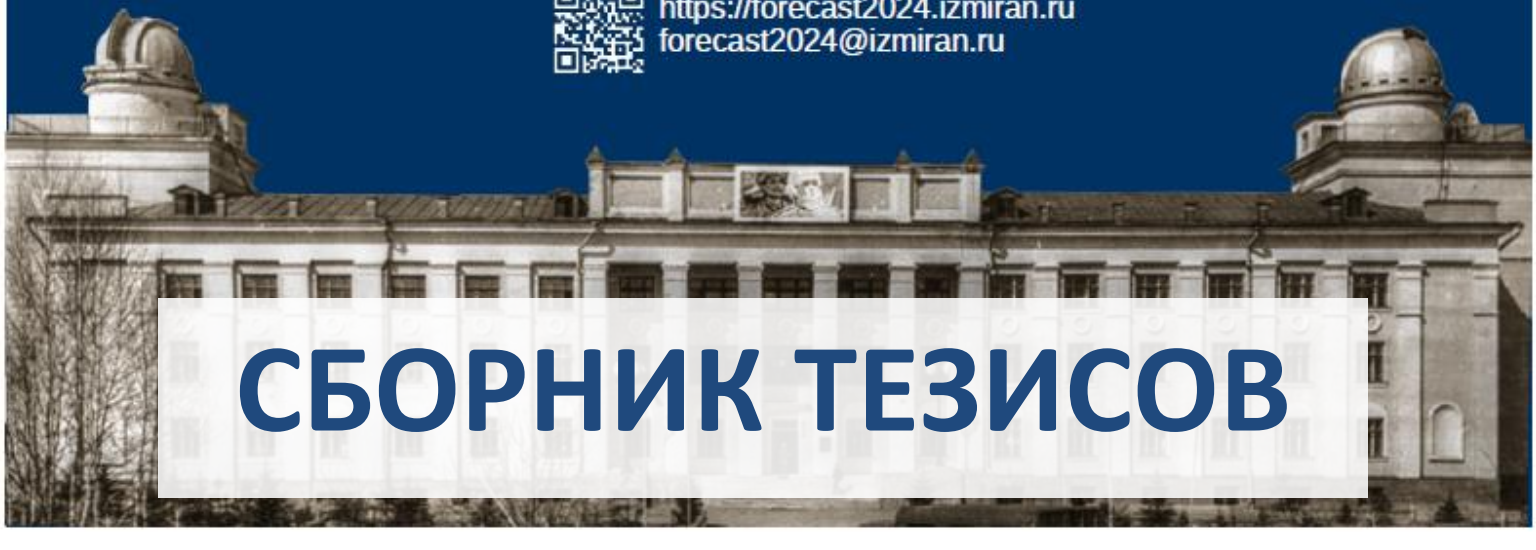
27-31 мая 2024 г.
г. Москва, г. Троицк



Научная программа:

1. Прогнозирование солнечной активности (цикличность, спорадические явления)
2. Прогнозирование нестационарных процессов в гелиосфере
3. Прогноз состояния ионосферы и условий распространения радиоволн
4. Вариации геомагнитного поля и магнитных полей в магнитосфере Земли
5. Вариации потоков частиц в гелиосфере
6. Вариации климата
7. Прикладная сессия – Космическая погода: прогнозирование и использование прогнозов
8. Техническая сессия – Обсерватории, детекторы и базы данных

https://forecast2024.izmiran.ru
forecast2024@izmiran.ru



СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Оглавление

Секция 1 «Прогнозирование солнечной активности (цикличность, спорадические явления)» ... 11

ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА RSTN ... 12

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЖГУТОВ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ С КОРОНАЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ МАССЫ И БЕЗ НИХ ... 13

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ПЛОЩАДЕЙ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР, ВЫДЕЛЕННЫХ ДВУМЯ СПОСОБАМИ ... 14

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ... 15

ИЗМЕНЕНИЯ ДИСБАЛАНСА МАГНИТНОГО ПОТОКА В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ В СВЯЗИ СО ВСПЫШКАМИ ... 16

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КОРОНЫ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ SXR- И MW-ИЗЛУЧЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ ... 17

АСИММЕТРИЯ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА СОБЫТИЙ ДЕСИНХРОНИЗАЦИИ В МОДЕЛИ КУРАМОТО И СОЛНЕЧНЫХ ИНДЕКСАХ ... 18

О РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАЦИЯХ ПЕРЕД СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ ... 19

ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ... 20

ВЕТВЬ РОСТА ТЕКУЩЕГО 25 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ, ПРОГНОЗ НА ВЕТВЬ СПАДА ... 21

СИМПАТИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ ФАЗЫ МАКСИМУМА ТЕКУЩЕГО 25 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА: ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ... 22

ПРОГНОЗ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ОКРЕСТНОСТИ МАКСИМУМА 25 ЦИКЛА ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ ... 23

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВСПЫШЕК В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ... 24

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА ... 25

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ 23 МАРТА 2024 Г. И СОБЫТИЕ GLE74. ... 26

О ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА СУБ-ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДО И ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЫ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 04.05.2022: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ... 27

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ... 28

К ВОПРОСУ О ВЫСОТЕ 25 ЦИКЛА ... 29

ПРОГНОЗЫ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ 30

СУБТЕРАГЕРЦОВЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО МНОГОВОЛНОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ 31

ЕСТЬ ЛИ ПРЕДВЕСТНИКИ У ГЛОБАЛЬНЫХ МИНИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ? 32

СОГЛАСУЕТСЯ ЛИ ПРОГНОЗ 25-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ? 33

ЭНЕРГИЯ ПЕРВЫХ ПРИШЕДШИХ ПРОТОНОВ И ВРЕМЯ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ДО 100 кэВ 34

РЕНТГЕНОВСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ И УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ 35

ФЛЮЕНС ФАЗЫ СПАДА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЛЕСКОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНА КАК КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВСПЫШЕЧНОГО ПОСТЭРУПТИВНОГО ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ 36

ВОЗМОЖНОСТЬ КОРРЕКЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ 37

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 24 И 25 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПЕРВЫХ 50 МЕСЯЦАХ РАЗВИТИЯ 38

ВАРИАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В 22-24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 39

Секция 2 «Прогнозирование нестационарных процессов в гелиосфере» 40

ПРЕДСКАЗАНИЕ НЕЛОКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ 41

МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОЙ СЪЕМКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА В 2023-2024 ГОДАХ .. 42

ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРРА 43

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАСС С ПОМОЩЬЮ DRAG BASED MODEL 44

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЁВ В ПОЛЯРНОЙ ГЕЛИОСФЕРЕ И ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА ИХ ВИДИМОЙ КОРОТАЦИИ С ИСТОЧНИКОМ ВНУТРИ КОРОНАЛЬНОЙ ДЫРЫ 45

КОРОТИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНАЯ БУРЯ 1-2 ДЕКАБРЯ 2023 Г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ БСА ФИАН 46

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ WSA И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МГД-МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ОСНОВЕ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ СЕТИ GONG И КИСЛОВОДСКОЙ ГАС ГАО РАН 47

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ГЕЛИОСФЕРЫ 48

Секция 3 «Прогноз состояния ионосферы и условий распространения радиоволн» 49

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПУЗЫРИ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ 50

ИЗЛУЧЕНИЕ РИДБЕРГОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ДАЛЬНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ 51

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ FOF2 И TEC 52

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ И ИХ РОЛЬ В МОДЕЛИРОВАНИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН 53

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОСФЕРЫ НА ИОНОСФЕРНЫЙ ОТКЛИК ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 54

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 55

ВОЛНОВАЯ АКТИВНОСТЬ ВГВ В НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЕ В ПЕРИОД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ШТОРМА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ SABER/TIMED 56

ПРОГНОЗ НЕЙТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ГЛОБАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В МАКСИМУМЕ СЦ25 57

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИИ 427.8 НМ 1NG N_2 58

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ИОНОСФЕРНЫХ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 59

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА ПОГЛОЩЕНИЯ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ С НАБЛЮДЕНИЯМИ НА СЕТИ ИОНОЗОНДОВ ААНИИ 60

ПОЛНАЯ КАРТИНА ЛОКАЛИЗАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ ПРОВАЛОВ В ЗИМНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ 61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВЧ РАДИОВОЛН НА ТРАССЕ КИПР - МОСКВА 62

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ 63

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ СИНХРОННЫХ ПАР СНИМКОВ НОЧНОГО НЕБА И КАРТ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ НА УНУ СТЕНД СУРА В 2021-2023 ГГ. 64

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОЗОНОСФЕРЕ И НИЖНЕЙ И ИОНОСФЕРЕ. ВКЛАД СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА 65

МОДЕЛИРОВАНИПЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАУСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР НАКЛОННЫМИ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМИСЯ ИОНОСФЕРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ 66

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ПОЛЯРНЫЙ МЕЗОСФЕРНЫЙ ОЗОН 67

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ВСЛЕДСТВИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ИЗ ТРОПОСФЕРЫ 68

ПОДХОД К ОТБОРУ ДАННЫХ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ MR-ТИПА ИЗ ВОСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ 69

НОВАЯ ВЕРСИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ APM_GEO ДЛЯ ПЛАНЕТАРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ 70

АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЫЗВАННЫЕ ВЫСЫПАНИЕМ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА 71

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНОГРАММ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОБОБЩЕННОЙ СИЛЫ 72

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ОБРАТНОГО ИОНОСФЕРНОГО РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ КВ-РАДАРОВ С МОДЕЛЯМИ ИОНОСФЕРЫ 73

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ МОДЕЛИ NeQuick2 ПО ДАННЫМ GNSS ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРИГИНГА 74

MOSGIM2: СВОБОДНОЕ ПО ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ КАРТ TEC И ОЦЕНКИ GEC 75

МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН ОНЧ/НЧ ДИАПАЗОНА 76

ПОЛОЖЕНИЕ ПОЛЯРНОЙ СТЕНКИ ГЛАВНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА В МАГНИТО-СПОКОЙНЫХ УСЛОВИЯХ 77

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕНИЙ ТЕРМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ В МАРТЕ 2020 ГОДА ВО ВРЕМЯ ШТОРМА ЛАУРА 78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВНЗ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА РАБОЧИХ ЧАСТОТ НА СВЯЗНЫХ КВ РАДИОЛИНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ 79

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ И ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ 80

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ foF2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ LSTM ДЛЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ 81

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ШИРОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ 82

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ GEC В ОПЕРАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ BDGIM И NEQUICKG 83

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОТЫ E-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ 84

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 85

Секция 4 «Вариации геомагнитного поля и магнитных полей в магнитосфере Земли» 86

ГЛОБАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СУББУРЬ, ПОДОБНЫХ ПО AL-ИНДЕКСУ 87

ПРОЯВЛЕНИЕ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С 4 ПО 12 НОЯБРЯ 2023 Г. НА ЯКУТСКОМ МЕРИДИАНЕ 88

КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ, ПРЕДШЕСТВОВАВШИЕ ТУРЕЦКОМУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ 06.02.2023:ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА СЕТИ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 89

РОСТ ГИТ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2023 ГОДА: РОЛЬ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВЫХ СИСТЕМ И КОНФИГУРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ 90

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МАГНИТУДОЙ 7.3 И 6.6 В РЕГИОНЕ ИНДОНЕЗИИ 91

ДЛЯ ЧЕГО ВАЖНО ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНЫХ ВЕКТОРОВ ИНДУКЦИИ 92

УМЕРЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ БУРИ КАК ТИПИЧНО ОЖИДАЕМЫЕ В ЭПОХУ ПОНИЖЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 93

ГИТ ВО ВРЕМЯ СЛОЖНЫХ СОБЫТИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: ОТДЕЛЬНЫЕ СЛУЧАИ 94

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ВНЕЗАПНОГО НАЧАЛА МАГНИТНОЙ БУРИ ПО ДАННЫМ С СЕКУНДНЫМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ 95

ВОЗМУЩЕНИЯ МПЗ ПРИ РАБОТЕ СТЕНДА “СУРА”, А ТАКЖЕ ВО ВРЕМЯ ВСПЛЕСКА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 96

КОМПЛЕКСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ ВО ВРЕМЯ ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ В НОЯБРЕ 2023 ГОДА 97

ПРОГНОЗ ГЕОМАГНИТНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ НЕЛОКАЛЬНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ 98

ВАРИАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПОПЕРЕК МАГНИТНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ 99

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ 100

ГЛОБАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И ИХ СВЯЗЬ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ 101

О ПРИРОДЕ ДНЕВНЫХ ВЫСОКОШИРОТНЫХ МАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ..... 102

ПРИРОДА ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ВЕКОВОГО ХОДА, ОБНАРУЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ..... 103

ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТНИТНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКИХ НЕДР ПЛАНЕТ..... 104

ДИПОЛЬНАЯ И НЕДИПОЛЬНАЯ ГЕОМАГНИТНАЯ ЭНЕРГИЯ: СТАТИСТИКА И ЭВОЛЮЦИЯ С 1840г. 105

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РАЗРЫВА СКОРОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА КАК ИСТОЧНИК ВЕРТИКАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В АТМОСФЕРЕ И Pc5 ГЕОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ..... 106

Секция 5 «Вариации потоков частиц в гелиосфере» 107

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОСАДКАХ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ ПРИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ И БЕЗ 108

НАБЛЮДЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В МАРТЕ 2024 ПАРАМИ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ И МЮОННЫХ ТЕЛЕСКОПОВ 109

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА..... 110

ПРОГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ТЕКУЩЕЕ СТОЛЕТИЕ 111

ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ РАЗРЫВОВ В ПРЕДФРОНТЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАДТЕПЛОВЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ ФРОНТА ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЗЕМЛИ 112

ВОЗРАСТАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗМУЩЕНИЯМИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ 113

ФУНКЦИИ СБОРА, ОТКЛИКА И СВЯЗИ МЮОННОГО ГОДОСКОПА УРАГАН..... 114

КАЛИБРОВКА НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ..... 115

МЕТОД АНАЛИЗА ДАННЫХ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СЕТИ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ..... 116

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРОТОНАМИ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ..... 117

СОЛНЕЧНОЕ СОБЫТИЕ 23 МАРТА 2024 ГОДА..... 118

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЙ ОТ МОДЕЛЕЙ ВИНТОВОГО ПОЛЯ В МАГНИТНЫХ ОБЛАКАХ 119

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ 120

О ПРОГНОЗЕ МОДУЛЯЦИИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В 25 ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ 121

Секция 6 «Вариации климата» 122

ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ 123

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗИМНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 124

КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ И ПРОГНОЗ АНОМАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ЗЕМЛЕ 125

АНАЛИЗ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ 126

ФРАКТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АЛЬПИЙСКОМ РЕГИОНЕ 127

О ПРЕДСКАЗАНИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ $M_w \geq 5.7$ ПО ДАННЫМ МЕТЕОПРОГНОЗОВ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ 128

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ "ИОНОСФЕРА-АТМОСФЕРА-ЛИТОСФЕРА" И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 129

ЭМПИРИЧЕСКИЙ ИНЕРЦИОННО-МЕДИАННЫЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМЛИ (САЗ) В 25 ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ОПЫТ ДВУХ ЛЕТ 2022-2023 ГГ. 130

Секция 7 «Прикладная сессия – Космическая погода: прогнозирование и использование прогнозов» 131

О СВЯЗИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И НАРУШЕНИЯХ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ЯКУТИИ 132

РАЗВИТИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗА ВРЕМЕНИ РЕГИСТРАЦИИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ПРЕДВЕСТНИКОВ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ 133

УЧАСТИЕ В СОЗДАНИИ ТРЕТЬЕЙ ОЧЕРЕДИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ В ЧАСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СЕГМЕНТА ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ 134

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА 135

О ВЛИЯНИИ НЕ ТОЛЬКО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ, НО И НАПРЯЖЕННОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЦА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА 136

ИТЕРАТИВНЫЙ ОТБОР СУЩЕСТВЕННЫХ ВХОДНЫХ ПРИЗНАКОВ С УЧЕТОМ ИХ РЕЛЕВАНТНОСТИ И ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОФЕРЫ ЗЕМЛИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 137

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЯДОВ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ РЕКУРРЕНТНЫМИ НЕЙРОСЕТЯМИ 138

“ПРОГНОЗ_ИЗМИРАН” – СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИОКОММУНИКАЦИЙ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН 139

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 140

ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – БЕССМЫСЛЕННОЕ ЗАНЯТИЕ? 141

МОЖЕТ ЛИ ГЛОБАЛЬНОЕ МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДСКАЗАТЬ ВЕЛИЧИНУ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ ПРИ МАГНИТНЫХ БУРЯХ? 142

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА «АВРОРА» ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ 143

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ В 2023 ГОДУ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 144

ПРОГНОЗ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ И ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ МАРТА 2024 ГОДА НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЯКУТСКЕ 145

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СЛУЖБЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ 146

ОБЛИК БАРЬЕРНО–СОПРОВОЖДАЮЩЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕХНОГЕННЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ 147

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЛС ДАЛЬНЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДИАПАЗОНА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ 148

ПРОГНОЗ ПРОТОННЫХ ВОЗРАСТАНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ И ВЫБРОСАХ 149

Секция 8 «Техническая сессия – Обсерватории, детекторы и базы данных» 150

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ИПА РАН ДЛЯ ПАТРУЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 151

БАЗА ДАННЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ: КАТАЛОГИ ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ 152

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ПУНКТА НАБЛЮДЕНИЯ ИЗМИРАН В ДЕРЕВНЕ ВАЙМУША ПИНЕЖСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 153

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО ФОНА НЕЭКРАНИРОВАННЫМИ НЕЙТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ 154

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГЕОМАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ВлГУ 155

БАЗА ГЕОМАНИТНЫХ ДАННЫХ ИЗМИРАН: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ 156

СОЗДАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ КЛАСТЕРОВ «Рой КВД-И» (ВЫСОТА 500-250 КМ). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТА ЗАПУСКА МИКРОСПУТНИКОВ В ИНФРАСТРУКТУРЕ МКС 157

МЮОННЫЕ ГОДОСКОПЫ УНУ НЕВОД 158

БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ 159

МАГНИТНО-ИОНОСФЕРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ КАЛИНИНГРАДСКОГО ФИЛИАЛА ИЗМИРАН 160

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ПОТОКА МЮОНОВ И ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДАРОВ 161

ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИОНОЗОНДА «ПАРУС-А» И ПЕРСПЕКТИВЫ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ОБСЕРВАТОРИИ КФ ИЗМИРАН 162

Секция 1
«Прогнозирование солнечной активности (цикличность, спорадические явления)»

ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА RSTN

Абрамов-Максимов[1] В.Е., Бакунина[2] И.А.
[1] ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия
beam@gaoran.ru

Впервые проанализировано несколько вспышечных событий по данным многочастотных наблюдений сети радиотелескопов RSTN. Целью анализа было выявление признаков подготовки вспышек. Во всех рассмотренных случаях выявлены предвспышечные квазипериодические флуктуации (КПФ) радиоизлучения. Длительность предвспышечных цугов составляет 6–20 минут. Цуги состоят из 3–5 импульсов. КПФ на более низких частотах (200–600 МГц) начинаются позднее, чем на высоких частотах, на 2–6 минут. КПФ на частотах 2695–8800 МГц происходят практически синхронно. Наибольшая амплитуда КПФ наблюдается на частоте 4995 МГц. Наблюдаемые КПФ могут быть объяснены моделью бессилового магнитного жгута [1].

Литература

1. Solov'ev A.A., Kirichek E.A. Properties of the Flare Energy Release in Force-Free Magnetic Flux Ropes // Astronomy Letters. V. 49. No. 5. P. 257-269. 2023.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЖГУТОВ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ С КОРОНАЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ МАССЫ И БЕЗ НИХ

И.А. Бакунина[1], В.Ф. Мельников[2], А.В. Шаин[2], С.А. Кузнецов[2], В.Е. Абрамов-Максимов[2]

[1]*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия (HSE University)*

[2]*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

rinbak@mail.ru

На статистике из 15 вспышечных событий рентгеновского класса M изучены особенности положения и ориентации магнитных жгутов в общей пространственной структуре магнитного поля активной области (АО) при возникновении вспышек и корональных выбросов массы (CME) на основе восстановления коронального магнитного поля из фотосферы в корону (метод «NLFFF extrapolation» [1,2]) для эруптивных (с CME) и неэруптивных (без CME) активных областей. Оказалось, что в рассмотренных АО наиболее мощные магнитные жгуты расположены вблизи центра яркости микроволнового источника вспышки. Однако, более слабые жгуты существуют и в других местах АО. Показано, что во всех событиях без CME наиболее мощные жгуты расположены квазиперпендикулярно вышележащим магнитным силовым линиям (жгуты «заперты» внешним полем). В событиях с CME наблюдаются различные сценарии: 1) жгуты окружены открытой конфигурацией магнитного поля (3 события); 2) жгуты ориентированы под малыми углами, квазипараллельно, к вышележащим магнитным силовым линиям (3 события); 3) жгуты ориентированы квазиперпендикулярно внешнему магнитному полю (2 события).

Литература

1. Anfinogentov S., GXBox_prep. // GitHub. – URL https://github.com/Sergey-Anfinogentov/GXBox_prep
2. Stupishin A., Magnetic Field Library // GitHub. – URL https://github.com/Alexey-Stupishin/Magnetic-Field_Library

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ПЛОЩАДЕЙ КОРОНАЛЬНЫХ ДЫР, ВЫДЕЛЕННЫХ ДВУМЯ СПОСОБАМИ

Андреева О.А.
ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», Научный, Россия
olga@craocrimea.ru

Корональные дыры (КД) представляют интерес как для краткосрочного прогноза космической погоды, так и для прогноза на более длительных временных интервалах. Магнитная конфигурация линий открытого поля КД, вдоль которых потоки солнечного ветра ускоряются до сверхзвуковых скоростей, важна для прогнозирования таких ключевых свойств в межпланетном пространстве, как скорость солнечного ветра, напряженность магнитного поля и его ориентация [1]. Способы идентификации КД разнообразны и варьируют от полностью ручных процедур до полностью автоматических и используют наблюдения на различных длинах волн. В настоящей работе выполнен анализ вариаций площадей КД, сегментированных методами Spatial Possibilistic Clustering Algorithm (SPoCA) [2] и Convolutional Neural Network (CNN193) [3]. Исходным материалом послужили наблюдательные данные, полученные инструментом AIA/SDO в линии железа Fe XII 19.3 нм в период с 16.06.2010 по 25.02.2023гг. Несмотря на некоторые дискуссионные моменты, первичный анализ сравнения вариаций площадей КД, извлеченных по методу SPoCA и используемых в наших более ранних работах по исследованию их эволюции на разных стадиях 24-го и в начале 25-го циклов, показал достаточно хорошее согласие с тенденцией изменения КД, отождествленных CNN193 за тот же период.

Работа выполнена рамках Государственного задания: № 122022400224-7.

Литература

1. Martin A. Reiss et al. A Community Data Set for Comparing Automated Coronal Hole Detection Schemes //ApJS. 271:6 (21pp) 2024 March DOI 10.3847/1538-4365/ad1408
2. Verbeeck, C., Delouille, V., Mampaey, B., & De Visscher, R. The SPoCA-suite: Software for extraction, characterization, and tracking of active regions and coronal holes on EUV images //A&A. V. 561. A29. 2014.
3. Illarionov, E. A., & Tlatov, A. G. Segmentation of coronal holes in solar disc images with a convolutional neural network //MNRAS. V. 481. N 4. 5014-5021. 2018. https://doi.org/10.1093/mnras/sty2628

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

Биленко И.А.
ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия
bilenko@sai.msu.ru

Корональные выбросы массы (КВМ) являются одним из главных источников возмущений в межпланетной среде и важнейшим фактором в формировании космической погоды. Известно их большое влияние на техно и биосферу. Воздействие КВМ на земную магнитосферу влияет и на геомагнитную активность. Поэтому необходимы точные оперативные данные о времени прихода и степени воздействия КВМ. Так как прогнозирование момента возникновения КВМ в настоящее время является еще не решенной проблемой, то для прогнозирования космической погоды и минимизации возможных последствий используются различные модели определения времени распространения КВМ и характера возможных возмущений основанных на данных об уже произошедших КВМ. Исходя из этого, исследовано влияние солнечных магнитных полей и межпланетной плазмы на параметры КВМ и время их распространения.

Проанализированы зависимости параметров КВМ различных типов от топологии структуры и напряженности глобального магнитного поля Солнца на разных фазах солнечной активности и их динамика в ходе циклов. По параметрам КВМ сопровождающихся радиовсплесками II типа рассчитаны характеристики межпланетной плазмы в областях их распространения и построены зависимости их вариаций в ходе циклов солнечной активности. Рассмотрено влияние параметров плазмы солнечного ветра на распространение КВМ.

Проведена оценка геоэффективности КВМ разных типов с учетом влияния солнечных магнитных полей и параметров межпланетной плазмы.

Полученные результаты сопоставлены с существующими прогностическими моделями.

ИЗМЕНЕНИЯ ДИСБАЛАНСА МАГНИТНОГО ПОТОКА В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ В СВЯЗИ СО ВСПЫШКАМИ

Головко А.А.
Институт солнечно-земной физико СО РАН, г. Иркутск, Россия
golovko@iszf.irk.ru

Дисбаланс магнитного потока N- и S-полярности в активной области F(t) и скорость его изменения являются информативными параметрами, отражающими состояние эволюции активной области и степень связи ее магнитного поля с крупномасштабным магнитным полем. Указания на связь этого параметра содержатся в работе [1]. Быстрые изменения дисбаланса в активной области McMath16051 со скоростью $1{,}65 \times 10^9$ Вб/с обнаружены в работе [2]. Статистика по 12 событиям показала, что скорость изменения F(t) находится в пределах 0,1 – 1,7 $\times 10^9$ Вб/с и коррелирует со вспышечным индексом [3].

Изучение особенностей структуры и динамики активной области NOAA 12673 [4], давшей самую мощную вспышку 6 сентября 2017 г., и его продолжение позволили рассмотреть вопрос о дисбалансе магнитного потока на систематически собираемых данных с высоким временным разрешением. Быстрая динамика магнитного поля в ней характеризуется быстрым ступенчатым падением беззнакового магнитного потока со скоростью до 4×10^{10} Вб/с во вспышке X9.3 6 сентября 2017 г., на фоне общего тренда на уменьшение со скоростью 10^9 Вб/с. Дисбаланс магнитного потока F(t) показал систематическое увеличение за несколько часов до вспышек со скоростью $1{,}7 \times 10^9$ Вб/с, с падением до нуля в течение вспышки. Обсуждаются физические причины наблюдаемого явления, которое можно использовать для краткосрочного прогноза вспышек.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской федерации (субсидия № 075-ГЗ/113569/278).

Литература

1. Зверева А.М., Северный А.Б. Магнитные поля и протонные вспышки 7 июля и 2 сентября 1966 г. // Изв. Крымск. астрофиз. Обс. Т. 41-42. С. 97-157. 1974.
2. Golovko A.A., Kotrc P. On some peculiarities in the evolution of the McMath 16051 flare active region on 2-7 June, 1979 // Solar Physics. V. 142. P. 67-86. 1992.
3. Головко А.А. Изменение дисбаланса магнитного потока в активных областях на Солнце // Исслед. по геомагн., аэроном. и физ. С. Вып. 95. С.172-186. 1991.
4. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Features of the Structure and Dynamics of the Active Region 12673 Associated with Flares // Geomagnetism and Aeronomy. V.63. No.7. P. 975-983. 2023.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ КОРОНЫ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ SXR- И MW-ИЗЛУЧЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

Григорьева И.Ю.[1], Струминский А.Б.[2], Ожередов В.А.[2]
[1] ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
[2]ИКИ РАН, г. Москва, , Россия
irina.2014.irina@mail.ru

Существует мнение, что процесс накопления в активной области (АО) большого количества энергии, необходимой для одной или серии мощных солнечных вспышек, должен сопровождаться повышением общего фонового излучения Солнца. Это может быть связано с тем, что увеличение магнитного потока в пределах АО приводит к перестройке её первоначальной магнитной конфигурации и, следовательно, к выделению энергии, которое можно регистрировать в виде слабых всплесков мягкого рентгеновского (SXR) излучения в АО, приводящих к росту общего SXR фона. В противоположном случае, «энергетическая пассивность» (отсутствие значимого изменяющегося магнитного потока на корональных высотах) также должна иметь, по-видимому, отражение в фоновом излучении Солнца. Наблюдательным свидетельством этого, например, могут являться промежутки времени без ускорения солнечных протонов: короткие (~10 дней) без корональных выбросов массы (КВМ) в пределах одного солнечного цикла с непрекращающейся вспышечной активностью и продолжительные с КВМ, но без вспышек в минимумах солнечной активности. Прогнозирование таких «спокойных» промежутков времени различной длительности без реализации солнечных протонных событий (СПС) является важной задачей такой же, как и обнаружение изменений в тепловом и нетепловом излучении, связанных с мощными СПС. В подтверждение высказанных идей мы представляем предварительный анализ динамики интегральных характеристик, полученных из SXR наблюдений спутника GOES (температуры T, меры эмиссии EM) и потока радиоизлучения на 8 выделенных частотах (от 245 МГц до 15.4 ГГц) сети наземных станций RSTN.

АСИММЕТРИЯ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА СОБЫТИЙ ДЕСИНХРОНИЗАЦИИ В МОДЕЛИ КУРАМОТО И СОЛНЕЧНЫХ ИНДЕКСАХ

Елаева М.С., Блантер Е.М., Шнирман М.Г.
ИТПЗ РАН, г. Москва, Россия
mselaeva@mail.ru

Рассматривается осцилляционная система, большую часть времени находящаяся в квази-синхронизированном состоянии, в которой возникают изолированные события десинхронизации осцилляторов. В солнечных наблюдениях известно одно такое событие, произошедшее в 1960м году, в виде десинхронизации между обычно согласованными солнечными индексами солнечных факелов и площадей солнечных пятен [1], и которое, видимо, повлекло за собой последующее рассогласование между аа-индексом и солнечной активностью в 1970х [2].

Редкие события десинхронизации характерны для моделей Курамото с частичной синхронизацией [3]. По цепочке из трех осцилляторов мы строим функционал асимметрии параметра порядка A, определяемый по разнице фаз крайних осцилляторов и обладающий различными скейлинговыми свойствами для синхронизированной и десинхронизированной системы. Функционал A, рассматриваемый в зависимости от времени, отражает отклонение системы от синхронизации и может быть использован для прогноза изолированных событий десинхронизации. Предлагается простейший алгоритм прогноза, основанный на превышении асимметрией A порогового значения. Мы оцениваем прогнозируемость событий в цепочке из четырех осцилляторов для модели Курамото с синусоидальном изменением асимметричной компоненты естественных частот. При медленных изменениях естественных частот алгоритм дает хорошее качество прогноза с суммой ошибок меньше 0.25. Единственное событие десинхронизации солнечных индексов предсказывается успешно. С ростом амплитуды колебаний увеличивается число и сложность возникающих событий десинхронизации, что приводит к ухудшению их прогнозируемости.

Литература

1. E. Blanter et al, Kuramoto Model of Nonlinear Coupled Oscillators as a Way for Understanding Phase Synchronization: Application to Solar and Geomagnetic Indices Sol. Phys. V. 289, I. 11. P. 4309-4333. 2014.
2. E. M. Blanter et al , Long Term Evolution of Solar Meridional Circulation and Phase Synchronization Viewed Through a Symmetrical Kuramoto Model, Sol. Phys. V. 293. I. 134. 2018.
3. Elaeva M. et al. Asymmetry in the Kuramoto model with nonidentical coupling //Physical Review E. V. 107. N. 6. P. 064201. 2023.

О РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАЦИЯХ ПЕРЕД СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ

Зимовец И.В.[1], Шарыкин И.Н.[1], Нечаева А.Б.[1], Низамов Б.А.[2]

[1]*Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г.Москва, Россия*

[2]*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ), г. Москва, Россия*

ivanzim@cosmos.ru

В потоках электромагнитного излучения Солнца в диапазонах от радиоволн до рентгеновских лучей перед солнечными вспышками обнаруживаются пульсации. Наблюдение и изучение этих пульсаций может быть полезным для понимания механизмов накопления и выделения энергии во вспышках, а также для их прогнозирования. В качестве основных механизмов предвспышечных пульсаций рассматриваются: (1) магнитогидродинамические (МГД) осцилляции корональных арок, (2) осцилляции электрического LRC контура, которым могут представляться арки с продольным током, (3) последовательность эпизодов пересоединения и энерговыделения в комплексных магнитных структурах подготавливаемой ко вспышке активной области. Однако применимость этих механизмов пока не доказана и необходимы дальнейшие исследования.

В докладе представлен обзор последних результатов в исследовании предвспышечных пульсаций в рентгеновском диапазоне, полученных как с помощью детекторов, измеряющих поток со всего Солнца как звезды (GOES/XRS, Fermi/GBM и др.), а также с помощью телескопов с пространственным разрешением (RHESSI, STIX на борту Solar Orbiter). Демонстрируется принципиальная важность наблюдений источников пульсаций и вспышек с пространственным разрешением. Такие наблюдения в частности показывают, что во многих случаях пульсации испускаются источниками, расположенными вне родительской активной области основной вспышки. Также эти наблюдения демонстрируют, что пульсации могут испускаться последовательно несколькими источниками в различных петлях активной области, не обязательно в тех же, в которых располагаются источники основной вспышки. Эти наблюдения в рентгене, дополненные наблюдениями в других диапазонах спектра, а также экстраполяцией магнитного поля в корону и анализом его топологических особенностей, указывают на предпочтительность механизма (3) для интерпретации по крайней мере некоторых событий. Кратко обсуждается применимость наблюдения пульсаций для прогнозирования вспышек.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-72-10158).

ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Зобова И.Ю.[1]

[1]*МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия*

zobova.ii20@physics.msu.ru

Солнечная активность (СА), представляющая собой явления, связанные с вариациями магнитных полей Солнца на различных масштабах [1], оказывает существенное влияние на многие процессы Земли. Максимумы и минимумы различных характеристик СА повторяются со средним периодом 11 лет, что связано с солнечной цикличностью – одной из важнейших проблем современной гелиофизики. Влияние солнечной цикличности распространяется на геофизические и климатические процессы, на жизнь человека и животных. Ее изучение имеет большое значение для космических программ, защиты электроники и приборов на космических аппаратах, а также для здоровья космонавтов. Поэтому прогнозирование параметров СА имеет практическую ценность на всех временных масштабах – от нескольких дней до десятилетий вперед.

Целью настоящей работы является изучение структуры временного ряда индексов солнечной активности и прогнозирование формы и амплитуды 25-го солнечного цикла. Для этого были рассмотрены данные Бельгийской королевской обсерватории [2] о среднемесячном числе солнечных пятен (Monthly mean total sunspot number, SSN) с февраля 1755 года по ноябрь 2019 года включительно, охватывающие 24 цикла солнечной активности. 25-й цикл находится в развитии с декабря 2019 года, что дает возможность сравнить прогноз с данными наблюдений. В работе использовался метод спектрального анализа, основанный на преобразовании временного ряда в многомерный ряд путем деления циклов на фазы, разложении многомерного ряда в обобщенные ряды Фурье-Уолша, одношаговой экстраполяции каждого временного ряда и обратной свертке. Для прогноза 25-го цикла использовались значения SSN только для нечетных циклов с учетом правила Гневышева-Оля.

Полученный прогноз для 25-го солнечного цикла указывает на достижение максимального значения 185±15 числом солнечных пятен, усредненным за 8.4 месяцев, в июне 2025 года. Прогноз коррелирует с данными наблюдений, усредненными за 8.4 месяцев, вплоть до марта 2024 года с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.89$.

Литература

1. Обридко В.Н., Наговицын Ю.А. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза // СПб.: ВВМ. 466 С. 2017.
2. SILSO, World Data Center - Sunspot Number and Long-term Solar Observations, Royal Observatory of Belgium, online Sunspot Number catalogue: http://www.sidc.be/.

ВЕТВЬ РОСТА ТЕКУЩЕГО 25 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ, ПРОГНОЗ НА ВЕТВЬ СПАДА

Ишков В.Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ishkov@izmiran.ru

Текущий 25 солнечный цикл (СЦ) продолжает вторую эпоху пониженной солнечной активности. Начавшись в январе 2020 г., и на май 2024 г. (52 месяца развития) уже занял своё место в семействе СЦ средней величины, ещё раз подтвердив, что на статистике достоверных (10–24) СЦ внутри эпох СА, наблюдательные правила и закономерности развитие отдельных СЦ неуклонно выполняются. С января 2024 г. развитие текущего СЦ вошло в фазу максимума, и наиболее вероятная точка максимума должна быть достигнута в мае – июне 2024 г. с величиной W*= 100+/–10 (150+/–15 в системе V2), если текущий СЦ будет одногорбым, как и все известные достоверные СЦ средней величины, кроме циклов переходных периодов. Одним из самых значительных ожидаемых событий фазы максимума для всех СЦ является процесс переполюсовки общего магнитного поля Солнца. Этот процесс включает в себя последовательную смену знака поля на полюсах Солнца и хорошо определяется по служебным наблюдениям солнечной обсерватории Wilcox (USA), из которых следует, что процесс переполюсовки в текущем СЦ уже начался в июле 2023 г. с северного полушария и на данный небольшой период (~0.7 г.) Солнце осталось практически без магнитных полюсов. Ветвь спада обещает быть затянутой и минимум текущего цикла следует ожидать в первой половине 2031.

Текущий СЦ уникален своими наблюдательными возможностями, предоставляемыми космическими проектами, запущенными во внутреннюю гелиосферу (Solar Orbiter, Parker Solar Probe, BepiColombo), впервые предоставляя отличные возможности для изучения различных активных, в том числе и геоэффективных, явлений на Солнце с помощью нескольких космических аппаратов в сочетании с высокой частотой солнечных, гелиосферных и наземных наблюдений в различных диапазонах электромагнитных и корпускулярных излучений.

К концу мая 2024 г. на видимом диске Солнца наблюдалось не менее 936 групп пятен. из которых 39 группы пятен имели площадь ≥500 мдп и 7 – ≥1000. Особенно быстрый рост относительного числа солнечных пятен и активных областей наблюдался с началом 2023 г., когда резко увеличилось число вспышечно-активных групп пятен и, соответственно, число вспышечных событий средних и больших баллов. Это позволяет сделать вывод о сохранении облегчённого выхода протонов во вспышечных событиях, как и наблюдалось в СЦ24. При сравнении СЦ 23–25 по воздействию на околоземное космическое пространство, текущий 25 является промежуточным вариантом между СЦ 23 и 24, но ближе к СЦ 24, хотя и опережает его по всем проявлениям СА (эпоха пониженной СА), но значительно меньше, чем СЦ 23 – переходный от эпохи повышенной СА к эпохе повышенной.

СИМПАТИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ ФАЗЫ МАКСИМУМА ТЕКУЩЕГО 25 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА: ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Ишков В.Н., Лебедев Н.И., Лебедев М.Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ishkov@izmiran.ru

Симпатические вспышки представляют собой вспышечные события, одновременно или последовательно (с малым промежутком времени), происходящие в значительно удалённых друг от друга активных областях (АО), в результате динамических процессов, связывающих эти АО. Их исследование может привести к лучшему пониманию физики инициирования вспышек и пониманию механизма возникновения вспышечных событий, а также к улучшению их прогноза.

В фазе максимума (2024 г.) текущего 25 солнечного цикла неожиданно осуществилось сразу несколько симпатических вспышек значимых классов (>M1), что вызвало необходимость исследовать характеристики, как самих вспышек, так и АО, где они осуществились. Основной особенностью отобранных вспышек было то, что интервал времени их осуществления был такой короткий, что не представлял возможности фотометрам GOES разделить их рентгеновские классы. Поэтому измеренный максимальный поток излучения в диапазоне 0.1-0.8 нм сопоставлялся с наибольшей по интенсивности вспышкой.

На примерах вспышечных событий 23.01 класса M5.1, M1.0, 23.03 24 класса X1.1, 01.04 класса M3.9, 11.04 класса M5.5 и 18.04.класса M2.2 рассматриваются магнитная ситуация, развитие, характеристики и наблюдательные и возможные корональные связи соответствующих АО, последовательность осуществления данных вспышечных событий и наблюдательные проявления распространения возмущений. Предполагается, что симпатические вспышечные события, возникают как общий результат активации корональной связи между АО, в которых происходят данные события.

ПРОГНОЗ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ОКРЕСТНОСТИ МАКСИМУМА 25 ЦИКЛА ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ

Козлов В.И.[1], Петухов И.С.[1]

[1]*ИКФИА СО РАН «Институт космофизических исследований и аэрономии, г. Якутск, Россия*

cosmoprognoz@mail.ru

Изучается динамика флуктуаций интенсивности галактических космических лучей (КЛ) в 25-м цикле солнечной активности. Нами реализованы два режима мониторинга флуктуаций космических лучей: среднесрочный и оперативный. В среднесрочном режиме используются среднеоборотные (27-дневные) значения интенсивности КЛ. В оперативном мониторинге, исходные пятиминутные данные (http://www.nmdb.eu) усреднялись до полусуточных значений

Среднесрочный режим нацелен на решение задачи заблаговременного обнаружения начала максимума нового 25 цикла. Решение этой задачи является *целью* данной работы. Оперативный режим, в определенном смысле, считается контрольным. В этом случае, определяется достоверность среднесрочного прогноза различных проявлений спорадической активности в солнечном ветре: прежде всего - «штормовых» частиц, предшествующих регистрации на орбите Земли ударных волн и самих ударных волн.

В параметре флуктуаций КЛ получен предвестник начала максимума нового 25 цикла солнечной активности. Начало максимума прогнозировалось на оборот № 2599 (±1 обор.). Индикатором – маркером начала максимума нового 25 цикла является экстремально низкое значение параметра флуктуаций КЛ на обороте 2599, в марте 2024 г. Сбой в 23-24-25 циклах можно отнести к локальному_сбою, т.е. 11-летняя цикличность солнечной активности с 25 цикла должна восстановиться.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ и Сибирским отделением РАН, проект №. FWRS-2021-0012.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВСПЫШЕК В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

[1]Курочкин Е.А., [1]Петерова Н.Г, [1]Шендрик А.В.
[1]СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург, Россия
79046155404@yandex.ru

В докладе рассмотрена корреляция между некоторыми параметрами микроволнового излучения (полный поток, яркость и их изменения) активной области (АО) и вспышками в рентгеновском диапазоне в течение различных периодов прошедшего времени (эпигноз). На основе этих данных вычисляется вероятность вспыхивания АО в зависимости от физических и численных (например, соотношение потоков на разных длинах волн, относительная яркость, удельная плотность потока на единицу площади и пр.) микроволнового излучения АО. При этом приводятся различные вероятностные характеристики (Accuracy, True Skill Statistics), поскольку вспышки являются сравнительно редкими событиями.

Литература

2. Bogod, V.M., Svidskiy, P.M., Kurochkin, E.A., Shendrik, A.V., and Everstov, N.P., A method of forecasting solar activity based on radio astronomical observations, Astrophys. Bull., 2018, vol. 73, no. 4, pp. 478–486. https://doi.org/10.1134/S1990341318040119
3. Tanaka, H. and Énomé, Sh., The microwave structure of coronal condensations and its relation to proton flares, Sol. Phys., 1975, vol. 40, pp. 123–131.
4. D. Shaun Bloomfield, Paul A. Higgins, R. T. James McAteer, Peter T. Gallagher, Towards reliable benchmarking of solar flare forecasting methods. The Astrophysical Journal Letters 747 (2012) L41
5. Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Курочкин Е.А. // Геомагнетизм и Аэрономия, 62(1), 2022, v.62, p.28
6. Shendrik A.V. et al. // Geomagnetism and Aeronomy, 2020, v. 60(8), p.999

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

[1,3]Лысов И.И., [2]Князева И.С., [2,3]Курочкин Е.А., [2,3]Шендрик А.В.

[1]НИУ ВШЭ, г.Москва, Россия

[2]ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия,

[3]СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург, Россия

ilysov@hse.ru

Доклад посвящен программному комплексу обработки данных наблюдений Солнца, целью создания которого является быстрый удобный способ получения и обработки данных Солнца, получение временных рядов параметров активных областей, возможность прогнозирования вспышечной активности Солнца и, что важно, применение методов машинного обучения. Программный комплекс предполагает использование как микроволновых, так и оптических данных с целью исследования процессов как в нижней короне Солнца, так и на фотосфере, и исследованию связи этих процессов между собой и рассмотрения их вкупе к применению как конкретных активных областей, так и всего Солнца.

Для работы в оптическом диапазоне создано уже немало инструментов, в радиодиапазоне же таких инструментов меньше. То же касается и методов машинного обучения – встречается довольно много работ с применением таких методов на оптических данных, в радиодиапазоне же методы машинного обучения применяются редко. Программный комплекс, представленный в этом докладе, как раз и служит в том числе для наработки применения методов машинного обучения в радиодиапазоне, в первую очередь – по данным РАТАН-600.

Литература

7. Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Курочкин Е.А. // Геомагнетизм и Аэрономия, 62(1), 2022, v.62, p.28
8. Shendrik A.V. et al. // Geomagnetism and Aeronomy, 2020, v. 60(8), p.999
9. Tokhchukova, S.Kh., RATAN-600 radio telescope in the 24th solar activity cycle. IV. Information system for RATAN-600 solar observations, Astrophys. Bull., 2011, vol. 66, no. 3, pp. 409–419.
10. Zhang, K., Zuo, P., Zou, Z. et al. Forecasting Medium-Term F10.7 Using the Deep-Learning Informer Model. Sol Phys 299, 47 (2024). https://doi.org/10.1007/s11207-024-02284-0

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ 23 МАРТА 2024 Г. И СОБЫТИЕ GLE74.

Мирошниченко Л.И.[1], Абраменко В.И.[2], Куценко А.С. [2], Сулейманова Р.А. [2]

[1]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

[2]ФГБУН Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия

leonty@izmiran.ru

23 марта 2024 г. в 01:40 UT было зафиксировано повышение скорости счета мюонов космических лучей на годоскопе УРАГАН в НИЯУ МИФИ. Специалисты по СКЛ склонны связать это повышение с событием GLE74. В этот день на Солнце в 00:58 UT началась вспышка рентгеновского класса X1.1, инициируемая сразу двумя активными областями (АО): униполярное пятно NOAA 13614 (N17, W09) и сложная мультиполярная область NOAA 13615 (S13, W02). Взрыв волокна в спокойной области к северу от NOAA 13614 инициировал и вспышку, и корональный выброс массы (КВМ), распространявшийся (в картинной плоскости) в направлении от северного полюса Солнца. Главная особенность этого события состоит в том, что 1) почти синхронно две активные области вызвали вспышку, причем лидирующая АО 13614 соответствовала простейшему магнито-морфологическому классу (ММС) – U2, униполяр с маленьким спутником, а последующая 13615 была классифицирована как B3 – наивысший класс сложности по классификации ММС; 2) АО 13614 дала эту вспышку уже на втором обороте своего существования, а на первом обороте она, как АО 13590 класса B3, дала 22 февраля 2024 г. мощную вспышку X6.4. Авторы данного сообщения считают, что это событие, независимо от его конкретной природы, было обусловлено эффектом турбулентного солнечного динамо.

Подробности классификации и терминологии можно найти в статье:

1. Regina A. Suleymanova, Leonty I. Miroshnichenko, Valentina I. Abramenko. Magnetic Configuration of Active Regions Associated with GLE Events. Solar Physics (2024) 299:7 https://doi.org/10.1007/s11207-023-02248-w.

О ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА СУБ-ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДО И ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЫ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 04.05.2022: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моторина Г.Г.[1,2], Цап Ю.Т.[3], Смирнова В.В.[3], Моргачев А.С.[1]

[1]ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

[2]ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

[3]ФГБУН Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия

g.motorina@yandex.ru

Солнечные вспышки – комплекс спорадических, взрывных явлений в атмосфере Солнца. Вследствие их спонтанности, прогнозирование вспышек до сих пор является трудной задачей, для решения которой используются как многоволновые наблюдения, так и модельные расчеты. Современные наблюдения Солнца на ALMA позволили получить структуру верхних слоев солнечной атмосферы в ранее недоступном суб-терагерцовом (суб-ТГц) диапазоне. Сравнительно недавние работы показали, что переходная область и верхняя хромосфера в суб-ТГц и ультрафиолетовом диапазоне (1600Å) имеют схожие магнитные структуры [1]. Однако до сих пор вопрос о природе и области генерации суб-ТГц излучения солнечных вспышек (корона, переходная область, хромосфера) остается открытым из-за недостатка наблюдательных подтверждений.

Настоящая работа посвящена анализу солнечной вспышки SOL2022-05-04T08:45 (M5.7), зарегистрированной на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Н.Э. Баумана на частоте 93 ГГц, до и после импульсной фазы. В работе рассматривается связь суб-ТГц и крайнего ультрафиолетового излучения (94, 131, 171, 193, 211 и 335Å), а также производится поиск области, в которой концентрируется суб-ТГц источник. На основе расчета дифференциальной меры эмиссии сделан вывод о незначительном вкладе оптически тонкой корональной плазмы в суб-ТГц излучение. Получены свидетельства, что генерация суб-ТГц излучения происходит в переходной области Солнца. Обсуждается возможность использования суб-ТГц наблюдений для краткосрочного прогноза солнечных вспышек.

Работа выполнена при поддержке грантов РНФ No.22-12-00308 (Ю.Т. Цап, А.С. Моргачев) и госзадания, темы № 122022400224-7 (В.В. Смирнова), FFUG-2024-0002 (Г.Г. Моторина).

Литература

1. Alissandrakis C.E., Patsourakos S., Nindos A., Bastian T.S. Center-to-limb observations of the Sun with ALMA. Implications for solar atmospheric models // A&A.V. 605. id. A78. 2017.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Наговицын Ю.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия
Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия
nag-yury@yandex.ru

Темой доклада является обзор подходов к изучению изменений солнечной активности на различных временных шкалах и – в широком смысле – ревизия этих подходов. Приводится краткая историческая справка и современные фактические данные. Специальное внимание уделяется индексам активности и надежности их продолжительных наблюдательных рядов. Обозначается цель исследований солнечной активности на длительных временах: поиски ключевых фактов для построения адекватной физической теории магнитной цикличности и суждение о связях Солнце – климат Земли.

Рассматриваемые вопросы, как представляется, могут иметь непосредственное отношение к прогнозам солнечной активности различной срочности.

К ВОПРОСУ О ВЫСОТЕ 25 ЦИКЛА

Обридко В.Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
obridko@mail.ru

Обсуждаются прогностические индексы, которые по наблюдениям крупномасштабного магнитного поля позволяют дать прогноз предстоящего цикла. Прогностическое значение высоты 25 цикла составил 125. Проводится сопоставление с реальными наблюдениями.

ПРОГНОЗЫ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Рагульская М. В., Обридко В. Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ra_mary@mail.ru

Рассматриваются данные о разномасштабных циклах солнечной активности. Отмечено, что за редким исключением [1 -3], основная часть работ посвящена прогнозам 11-летнего цикла солнечной активности (СА). При этом статистические прогнозы по числам Вольфа оказываются неубедительны. В работе [4] процитировано 77 прогнозов СА по числу пятен высоты 24 цикла, среднее значение составило 163.1 ± 42.2 (SSN), а реально измеренное значение по сглаженным среднегодовым значениям оказалось 116.4. Более удачны прогнозы по динамо Солнца и ГМП. В [5] для прогнозов времени наступления максимума 25-го 11-летнего цикла СА и его амплитуды предложено использовать динамику полярного поля Солнца и его пятой зональной гармоники. Однако гелиофизических предикторов экстремумов более длинных циклов СА пока не выявлено.

Дополнительным предиктором глобальных изменений СА могут служить эпидемиологические процессы. Так, число вирусных пандемий в 19-21 веках утраивалось вблизи квази-столетнего минимума СА [6], а начало эпидемий кори развивается за год до наступления экстремумов 11-летнего цикла СА. Качественные изменения динамики вирусных эпидемий происходят до существенных изменений в числах Вольфа, но после изменений долгосрочной динамики глобального магнитного поля Солнца. Максимум бактериальных инфекционных заболеваний совпадает с 11-летним максимумом СА. Прогнозируется, что при низких нескольких следующих циклах, вирусные эпидемии ближайших циклов СА будут происходить и в максимумах, и в минимумах 11- летних циклов, и могут служить предикторами экстремумов разномасштабных циклов СА.

Литература

1. Si Chen et al. Correlation analysis between the occurrence of epidemic in ancient China and solar activity. Science China Earth Sciences, V. 66, I 1: 161 - 168.2023
2. Nagovitsyn Yu.A., Osipova A.A. Average annual total sunspot area in the last 410 yr: the most probable values and limits of their uncertainties // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. V. 505, I. 1, P.1206-1212.2021
3. Ишков В.Н. Экстремальные события космической погоды в первые циклы эпох. Геомагнетизм и аэрономия, Т.61, №6, 2021, С. 704-711
4. Nandy D// Solar Phys. V. 296. P.54. 2021
5. Obridko, Vladimir; Sokoloff, Dmitry; Katsova. Astronomy Reports. V. 100, №12, 1-11.2023
6. Рагульская М. В. Циклы солнечной активности и парадоксы пандемии Covid-19// Геомагнетизм и аэрономия. Т.63, №7,С. 984. 2023

СУБТЕРАГЕРЦОВЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО МНОГОВОЛНОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Смирнова[1] В.В., Цап[1] Ю.Т., Моторина[2,3] Г.Г., Моргачев[2] А.С.

[1]ФГБУН Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия

[2]ФГБУН ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

[3]ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

vvsvid.smirnova@yandex.ru

Предвспышечный нагрев активных областей, наблюдаемый в различных спектральных диапазонах, на протяжении многих десятилетий вызывает большой интерес в свете проблемы краткосрочного прогноза солнечных вспышек. Однако лишь сравнительно недавно было показано, что в предимпульсной фазе вспышек могут наблюдаться высокотемпературные (~ 10 МК) рентгеновские источники излучения, расположенные в основаниях корональных петель [1]. Это предполагает, что субтерагерцовое излучение тепловой природы должно также наблюдаться в переходной области/хромосфере Солнца перед началом основной фазы вспышечного энерговыделения.

В настоящей работе на основе результатов многоволновых наблюдений, известных из литературных данных, проведен статистический анализ вспышечных событий на предмет усиления субтерагерцового излучения в период от нескольких минут до нескольких часов перед началом вспышек. Полученные оценки свидетельствуют, что субтерагерцовые источники вспышечного энерговыделения могут быть использованы для краткосрочного прогноза солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ No. 22-12-00308 (Ю.Т. Цап), Минобрнауки НИР № 1021051101548-7-1.3.8 (Ю.Т. Цап, В.В. Смирнова) и ГЗ №0040-2019-0025 (Г.Г. Моторина).

Литература

1. Hudson H.S., Simoes P.J.A., Fletcher L., Hayes L.A., Hannah I.G. Hot X-ray onsets of solar flares // MNRAS. V. 501. I. 1, P. 1273–1281. 2021

ЕСТЬ ЛИ ПРЕДВЕСТНИКИ У ГЛОБАЛЬНЫХ МИНИМУМОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ?

Д.Д.Соколов
МГУ и ИЗМИРАН, Москва
Sokoloff.dd@gmail.com

Задача прогнозирования глобальных минимумов солнечной активности, как кажется, требует иных методов, чем задача прогнозирования свойств нормального цикла солнечной активности. В настоящее время не вполне ясно, насколько эта задача выполнима, однако представляется, что наличие предвестников у таких глобальных минимумов очень способствовало бы ее выполнимости. Поэтому вопрос о том, были ли предвестники у минимума Маундера, т.е. единственного глобального минимума, о котором мы знаем из современных ему инструментальных наблюдений, особенно важен. Состояние имеющихся наблюдательных данных не позволяет полностью и однозначно решить этот вопрос, но обсуждение его, тем не менее, кажется полезным. В докладе рассказывается о спектре мнений, опирающихся на сохранившиеся наблюдательные данные, по этому вопросу.

СОГЛАСУЕТСЯ ЛИ ПРОГНОЗ 25-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ?

Стожков Ю.И. [1], Охлопков В.П. [2]
[1]ФИАН, [2]НИИЯФ МГУ

На прошлогоднем симпозиуме 2023 нами был предложен достаточно простой способ прогнозирования солнечной активности текущего 11-летнего солнечного цикла. Метод основан на найденной нами почти функциональной связи линейной связи максимальной индукции солнечного полярного магнитного поля, наблюдаемого в начале цикла и максимумом числа солнечных пятен данного цикла.

В работе проведено сравнение реальных данных и данных прогноза.

ЭНЕРГИЯ ПЕРВЫХ ПРИШЕДШИХ ПРОТОНОВ И ВРЕМЯ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ДО 100 кэВ

Струминский А.Б.[1], Садовский А.М.[1], Григорьева И.Ю.[2]
[1]ИКИ РАН, г. Москва, Россия
[2]ГАО РАН, Пулково, г. Санкт-Петербург, Россия
astrum@cosmos.ru

Метод анализа дисперсии по скоростям (VDA – *velocity dispersion analysis*) широко используется для определения момента выхода протонов в межпланетное пространство (МП) по времени регистрации первого прихода протонов различных энергий [1, 2]. При этом VDA предполагает, что энергетический спектр к моменту выхода в МП уже сформировался, а выход всех протонов происходит одновременно, независимо от их энергии. Однако длительность ускорения может превышать время дисперсии по скоростям, а выход в МП может быть не одновременным. Для двух групп энергий протонов: малых (10-30-50-100 МэВ) и средних (100-300-500-1000 МэВ), сделаны оценки минимального темпа их ускорения (МэВ/с) для прихода к наблюдателю протонов больших энергий раньше, чем меньших. В группе средних энергий такой темп ускорения (0.42-1.15 МэВ/с) соответствует временам ускорения электронов до 100 кэВ (238-87 мс), которые не противоречат наблюдениям. Если время первого протонного возрастания запаздывает более чем на время дисперсии относительно первой регистрации излучения солнечных электронов >100 кэВ (жесткий рентген или микроволны), то возникают жесткие ограничения на темп ускорения протонов (т.е. на энергию первых пришедших протонов) и, следовательно, на применение метода VDA. В группе малых энергий такого жесткого ограничения на темп ускорения протонов не возникает, и метод VDA работает без ограничений [2].

Литература

1. Мирошниченко Л.И. Солнечные космические лучи: 75 лет исследований // УФН. Т. 188. № 4. С. 345–376.2018. https://doi.org/10.3367/UFNr1017.03.038091
2. Paassilta M., et al. Catalogue of 55-80 MeV solar proton events extending through solar cycles 23 and 24 // JSWSC. V. 7. A14. 2017. DOI:10.1051/spwsc/2017/13

РЕНТГЕНОВСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ И УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Цап Ю.Т.[1], Мельников В.Ф.[2]
[1]*ФГБУН «КрАО РАН, Научный*
[2] *ФГБУН ГАО РАН, г. Санкт-Петербург*
yur@craocrimea.ru

Исследовано влияние температуры максвелловской плазмы на эффективность ускорения квазитепловых электронов на предимпульсной фазе солнечных вспышек. Показано, что с ростом температуры характерное время кулоновских потерь довольно быстро увеличивается. Это объясняется МГД равновесием плазмы и уменьшением кулоновских потерь с ростом энергии частиц. Проведен критический анализ механизмов ускорения электронов в условиях солнечной короны. В предположении быстрой изотропизации ускоряемых частиц получено необходимое условие для генерации убегающих электронов в солнечных вспышках. Сделан вывод, что регулярные механизмы ускорения ответственны за инжекцию быстрых электронов в область вспышечного энерговыделения. Обращено также внимание на резкий (несколько порядков) рост относительного числа квазитепловых частиц, способных преодолеть кулоновский барьер потерь энергии в результате увеличения температуры максвелловской плазмы. Полученные результаты свидетельствуют, что только предварительный нагрев плазмы до температуры около 10 МК может обеспечить эффективное ускорение квазитепловых электронов регулярными механизмами ускорения в короне Солнца. Это хорошо согласуется с наблюдениями рентгеновских предвестников. В свете проблемы краткосрочного прогноза солнечных вспышек обсуждаются следствия полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ No. 22-12-00308 (В.Ф. Мельников) и ГЗ, проект № 122022400224-7 (Ю.Т. Цап).

ФЛЮЕНС ФАЗЫ СПАДА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЛЕСКОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНА КАК КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВСПЫШЕЧНОГО ПОСТЭРУПТИВНОГО ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ

Абунин А.А.[1], Черток И.М.[1]
[1]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ichertok@izmiran.ru

При рассмотрении солнечных вспышек следует различать кратковременные импульсные явления (impulsive flares, IFs) и long duration events (LDEs). IFs происходят низко в короне благодаря локальному взаимодействию и магнитному пересоединению между малыми всплывающими петлями и более крупными существующими структурами, в результате чего формируются компактные вспышечные источники и коллимированные джеты, иногда в комбинации с относительно узкими coronal mass ejections (CMEs). LDE вспышки с обширными аркадами в крайнем УФ и мягком рентгеновском диапазонах тесно связаны с эрупцией крупных CMEs, вызываемыми ими крупномасштабными возмущениями магнитосферы над активными областями, за которыми следует релаксация магнитных полей к новому квазиравновесному состоянию через пересоединение в возникающих вертикальных токовых слоях, сопровождаемое длительным постэруптивным (ПЭ) энерговыделением и ускорением частиц. Сложные эруптивные вспышки становятся LDEs именно потому, что в них имеют место крупные CMEs и вызываемое ими ПЭ энерговыделение.

В настоящей работе продемонстрировано, что интегральный поток фазы спада мягких рентгеновских всплесков (decay fluence, Φ_d), регистрируемых на спутниках серии GOES в канале 1–8 Å, может служить подходящим количественным параметром, характеризующим ПЭ энерговыделение. Анализ нескольких сотен вспышек рентгеновского класса ≥M3 в циклах 23, 24 из прилимбовых и центральной зон солнечного диска и связанных с ними CMEs показал, что флюенс Φ_d хорошо коррелирует с такими параметрами CMEs как скорость, масса и кинетическая энергия. Это означает, что чем мощнее CMEs, тем более сильным и продолжительным является вызываемое ими ПЭ энерговыделение. Указанные закономерности важны для прояснения широко дебатируемого вопроса о происхождении солнечных протонов с энергией от десятков МэВ до ГэВ-ов, составляющих solar energetic particles (SEPs) и ground level enhancements (GLEs), в том числе ответственных за sustained gamma-ray emission (SGRE).

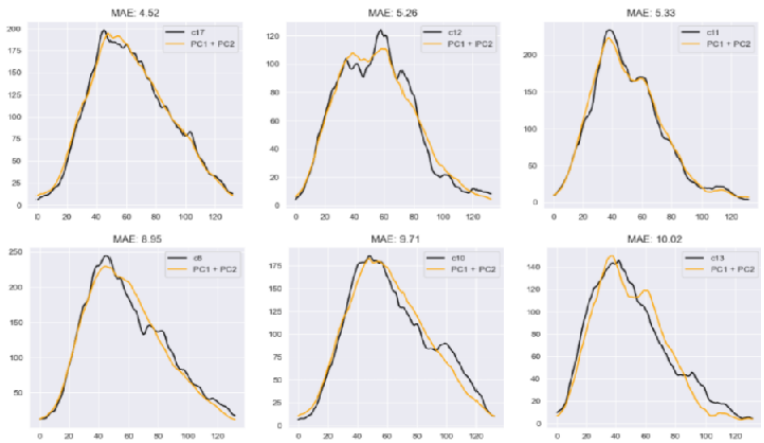
ВОЗМОЖНОСТЬ КОРРЕКЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Шибаев[1] И.Г., Шибаев[2] А.И.
[1]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
[2]МГУ, г. Москва, Россия
ishib@izmiran.ru

Из восстановленной части ряда чисел Вольфа наименее искажена область, что примыкает к достоверной части ряда, т. е. область 8 и 9 циклов. Также, из-за перехода к новой версии, была прервана регистрация 24-го цикла. В работе, для старой версии ряда чисел Вольфа v.1., предложены:
– вариант восстановления ветви спада цикла 24;
– коррекция характеристик циклов 8 и 9.
Это позволит увеличить статистику достоверных циклов.

Метод главных компонент или PCA (Principal component analysis) положен в основу данной работы. То есть в исходном пространстве объектов выделяются такие направления, вдоль которых дисперсия проекций объектов максимальна. Каждое следующее направление должно быть ортогонально всем предыдущим. Теперь каждый объект можно выразить как в исходной системе координат, так и в новой – сформированной. Если N - размерность пространства объектов, тогда, при наличии линейных связей между компонентами объектов, PCA позволяет найти новую систему координат размерностью K (K<< N), в которой, почти без потери информации, объекты хорошо различаются.

В нашем случае циклы 10 ÷ 23 ряда WSN выступают объектами, по которым выделяются главные компоненты, и PCA оказался эффективен, так как всего первых двух главных компонент PC1 и PC2 (K=2) оказалось достаточно для хорошего приближения цикла i в виде: $W_i=W_{mean} + c_{1i}*PC1 + c_{2i}*PC2$ (учитывается > 90% дисперсии данных). Ряд примеров такого представления приведено ниже. Опираясь на свойства коэффициентов c_{1i}, c_{2i} ($10 \le i \le 23$) и дополнительные соображения можно проводить необходимые оценки.



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 24 И 25 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПЕРВЫХ 50 МЕСЯЦАХ РАЗВИТИЯ

Язев[1,2] С.А., Исаева[1] Е.С., Иванов[1] К.И., Томозов[2] В.М., Хос-Эрдэнэ[1,3]

[1]*ФГБОУ «Иркутский государственный университет», г. Иркутск, Россия*

[2]*ФГБУН ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

[3]*Институт астрономии и геофизики МАН, г. Улаан-Баатар, Монголия*

syazev@gmail.com

Выполнено сравнение параметров 24 и 25 циклов солнечной активности на протяжении первых 50 месяцев от начала указанных циклов. Сопоставлены среднемесячные значения Международного числа солнечных пятен R. На фазе роста (до 44-го месяца от начала) характер роста R был сходным (в 25 цикле несколько быстрее). Затем ход развития стал различаться: в 24 цикле на 46 – 48 месяцах наблюдался мощный всплеск активности в северном полушарии. В 25 цикле всплеск был на 51 – 55 месяцах синхронно в обоих полушариях, высота, всплеска в 25 цикле на 20 единиц превышала высоту всплеска в 24 цикле. На следующем этапе (55 – 65 месяцы) значения R в 25 цикле в среднем на 40 единиц (почти в 1,5 раза) превышали соответствующие значения 24 цикла.

Существенно более высокой была вспышечная активность в 25 цикле [1]. За первые 51 месяц в 25 цикле отмечено 6917 вспышек (в 24 цикле – 3194), в том числе соответственно вспышек класса C 6198 (2912), класса M 690 (267), класса X – 29 (15). Суммарный вспышечный индекс в 25 цикле за указанный интервал времени составил 410 (в 24 цикле – 172).

Результаты. Пятенная активность Солнца в 25 цикле на протяжении первых 50 месяцев на 15 – 40% превышает соответствующие значения в 24 цикле. Общее число вспышек в 25 цикле превысило число вспышек в 24 цикле более чем в 2 раза, суммарная энергетика вспышек – в 2,4 раза. В 24 цикле отмечена существенная северно-южная асимметрия, максимум в южном полушарии достигнут спустя 15 месяцев после максимума в северном, тогда как активность в 25 цикле развивается квазисимметрично. Это позволяет предположить, что цикл будет одновершинным, вторичного максимума активности в 2025-2026 году не будет, и к этому времени можно ожидать окончательного перехода к фазе спада цикла.

Работа выполнена на УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», поддержана Минобрнауки России (соглашение ЕВ-075-15-2021-675, гос. задание FZZE-2020-0024, FZZE-202-0004).

Литература

1. Язев С.А., Исаева Е.С., Хос-Эрдэнэ. 25-ый цикл солнечной активности: первые три года. // Солнечно-земная физика, 2023, т. 9, № 3, С.5-11. DOI: 10.12737/szf-93202301

ВАРИАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В 22-24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Якунина Г.В.

ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия
yakunina45@yandex.ru

Целью настоящей работы является изучение эволюции солнечной цикличности в 22-24 циклах согласно исследованию крайнего ультрафиолетового (КУФ) излучения Солнца. Были использованы архивные данные наблюдений Solar Dynamics Observatory SDO/EVE. Эксперимент по изменению КУФ излучения SDO/EVE обеспечивает интегрированное солнечное излучение всего диска с высокой частотой и разрешением. Приборы EVE измеряют солнечное КУФ-излучение от 0.1 до 105 нм со спектральным разрешением в 0.1 нм и с временным интервалом 10 с. Формирование ультрафиолетовых линий происходит на различных уровнях в солнечной атмосфере. Оценено изменение интенсивности КУФ-линий. Исследуются данные ежедневных измерений потоков, не связанных со вспышками, в четырех УФ-линиях HeI 58.4 нм, HeII 30.4 нм, CIII 97.7 нм и FeXVIII 9.4 нм. Линии HeII 30.4 нм (lgT ~ ~ 4.75) и CIII 97.7 нм (lgT ~ 4.68) образуются в переходной области, линия HeI 58.4 нм (lgT ~ 4.25) – в хромосфере и линия FeXVIII 9.4 нм (lgT ~ 6.7– 7.0) – в короне. Изучение вариаций КУФ-излучения (ежедневных и долгопериодических в 11-летнем цикле) важно, так как они несут в себе информацию о солнечной хромосфере и короне, а также о процессах, происходящих во время солнечных вспышек. Поток излучения от Солнца в УФ-области составляет малую часть в общем потоке излучения Солнца, но при этом играет заметную роль в формировании верхней атмосферы Земли. КУФ-излучение Солнца является основным источником нагрева и ионизации верхних слоев земной атмосферы. Оно полностью поглощается атмосферой Земли и определяет основные параметры ее верхней атмосферы.

Линии гелия по-разному изменяются в 24-м цикле. Поток в линии He I (λ=58.4 нм) уменьшился ~ на 45%, в линии He II (λ=30.4 нм) ~на 25% от величины в максимуме активности. Линия He II (λ=30.4 нм) является второй по яркости хромосферной эмиссионной линией в спектре Солнца и важнейшей по степени воздействия на ионосферу Земли. Число солнечных пятен и поток в линии FLα сильно уменьшились уже в 23 цикле по сравнению с циклом 22. Все остальные индексы активности в 22 и 23 циклах имеют примерно одинаковые амплитуды и уменьшаются примерно в 2 раза в 24 цикле.

Секция 2
«Прогнозирование нестационарных процессов в гелиосфере»

ПРЕДСКАЗАНИЕ НЕЛОКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

Думин Ю.В.[1,2]
[1]*ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия*
[2]*ИКИ РАН, г. Москва, Россия*
dumin@yahoo.com

Предсказание основных явлений солнечной активности, таких как солнечные вспышки и корональные выбросы массы (КВМ), является комплексной задачей, требующей для своего решения различных методов. Одним из перспективных подходов, потенциал которого ещё недостаточно осознан вплоть до настоящего времени, является использование так называемых топологических критериев магнитного пересоединения [1,2].

Вышеупомянутая методика позволяет предсказывать возникновение пересоединения не за счёт локальной системы электрических токов, а в результате специфической суперпозиции возмущений от удалённых источников (солнечных пятен). При этом оказывается, что место пересоединения может находиться как внутри области источников, так и на значительном удалении от неё (см. рис. 1). Тем самым, удаётся спрогнозировать такие явления солнечной активности, как например “КВМ-невидимки”, возникающие на значительном удалении от области порождающих их источников магнитного поля.

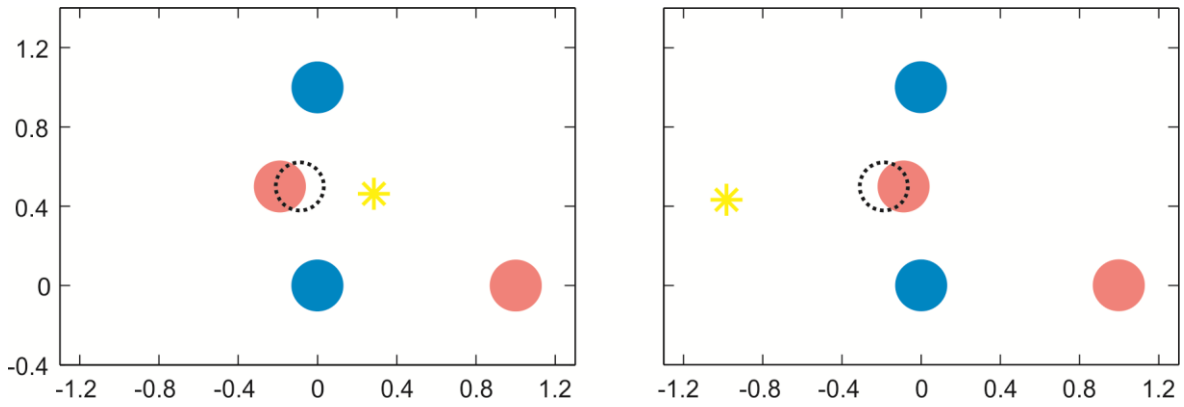


Рис. 1. Пример топологически неустойчивой конфигурации магнитных источников, когда малое смещение одного из них (показанное пунктиром) приводит к зарождению магнитного пересоединения (обозначенному звёздочкой) в значительно удалённой точке пространства, вне области локализации источников.

Литература

1. Горбачев В.С., Кельнер С.Р., Сомов Б.В., Шварц А.С. Новый топологический подход к вопросу о триггере солнечных вспышек // Астрон. журн. Т. 65. С. 601–612. 1988.
2. Сомов Б.В. О топологическом триггере больших эруптивных вспышек на Солнце // Письма в Астрон. журн. Т. 34. С. 702–713. 2008.

МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОЙ СЪЕМКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА В 2023-2024 ГОДАХ

Зверев А.С., Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю.
ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия
ZverevAS@ikfia.ysn.ru

Приведена методика прогноза больших геоэффективных возмущений солнечного ветра, основанная на анализе изменений пространственно-углового распределения космических лучей. Параметры распределения космических лучей определяются по данным международной базы NMDB при помощи метода глобальной съемки в реальном времени [1]. Используя такой подход в ИКФИА СО РАН с 2013 г. производится непрерывный мониторинг геомагнитной обстановки за каждый час измерений. Как уже раннее было показано [2], перед началом большинства интенсивных геомагнитных бурь с амплитудой Dst < -50 нТл, происходит резкое увеличение положительных значений зональных компонент распределения космических лучей, которое может служить предвестником возмущения. На основе проведенных исследований, представлены результаты прогноза геомагнитных бурь за период с мая 2023 по март 2024 г. Эффективность прогноза за этот период составила около 70%.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FWRS-2021-0012). Авторы благодарны за предоставленные данные NMDB [www.nmdb.eu] при поддержке программы Европейского союза FP7 (контракт № 213007).

Литература

1. https://www.ysn.ru/~starodub/SpaceWeather/global_survey_real_time.html
2. Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг геомагнитных возмущений на основе метода глобальной съемки в реальном времени // Солнечно-земная физика, Т. 5, №3, С.110-115, 2019. (Grigoryev V.G., Starodubtsev S.A., Gololobov P.Yu. Monitoring of geomagnetic disturbances using the global survey method in real time // Solar-terrestrial physics, V.5, no. 3, P. 93-97, 2019).

ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРРА

Зуев Н.В., Сухарева Н.А., Королев В.Ю., Хайдарпашич Р.С.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
zuev.nv17@physics.msu.ru

Предлагаемый доклад не об адаптации моделей теории рисков к космофизическим процессам, а о параметрическом описании статистических свойств многокомпонентного, многомодального и мультипериодического случайного процесса, отображаемого на временных рядах ММП и СВ. На временных рядах мониторинга для центрованных знакопеременных, не центрованных знакопеременных и знакопостоянных параметров проведено тестирование достижимой точности аппроксимации для прореженных экстремальных интервальных выборок. Рассмотрены статистические распределения значений ММП и СВ, зарегистрированные аппаратом WIND за период 2023-2024гг. Проведена оценка статистических параметров экстремальных состояний комплекса регистрации на основе распределения Берра типа XII. Обсуждаются методики прореживающих распределений, оптимальный отбор окна и шага разрежения. Представлены результаты аппроксимации эмпирических гистограмм распределением Берра типа XII и соответствующих им трехпараметрических распределений. Обсуждаются реализации статистик и аппроксимаций для величины модуля ММП и трех проекций. Обсуждается статистика межсекторных переходов магнитного поля Солнца, проход магнитных облаков и развитие магнитных бурь и их влияние на структуру статистически параметров, реализуемые статистические распределения. Для всех исследованных временных рядов подход оказался корректным, и на его основе можно создать инструмент для оценки экстремальных состояний параметров временного ряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lewis, A. W. The Burr Distribution As a General Parametric Family in Survivorship and Reliability Theory Applications. – PhD Dissertation. Chapel Hill: Department of Biostatistics, University of North Carolina at Chapel Hill. 1981.
2. Grigor’eva, M. E.; Korolev, V. Yu.; Sokolov, I. A. A limit theorem for geometric sums of independent nonidentically distributed random variables and its application to the prediction of the probabilities of catastrophes in nonhomogeneous flows of extremal events // Informatics and Its Applications, 2013. Vol. 7. No. 4. P. 11–19. DOI: 10.14357/19922264130402

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАСС С ПОМОЩЬЮ DRAG BASED MODEL

Капорцева К.Б.[1,2], Шугай Ю.С.[1], Вахрушева А.А.[1,2], Калегаев В.В.[1,2], Еремеев В.Е.[1], Ширяев А.О.[1,3]

[1]НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия
[2] Физ. фак. МГУ, г. Москва, Россия
[3] ФИТ БГТУ, г. Брянск, Россия
kb.kaportceva@physics.msu.ru

Моделирование распространения корональных выбросов масс (КВМ) – одна из важных задач космической погода, потому что именно КВМ и взаимодействующие с ними потоки являются источниками наиболее сильных геомагнитных возмущений.

Одой из часто применяемых для прогнозирования прихода КВМ моделей является Drag Based Model (DBM). Эта модель основана на предположении, что ведущим фактором, влияющим на скорость КВМ на расстоянии более 20 радиусов солнца является аэродинамическое сопротивление среды, и скорость КВМ стремиться к скорости фонового солнечного ветра по мере распространения выброса в гелиосфере (Vršnak et al., 2013). Мы используем комбинацию одномерной DBM и модели прогноза высокоскоростных потоков солнечного ветра, что позволяет в качестве скорости фонового солнечного ветра использовать не эмпирическую, а модельную скорость ВСП. Результаты такого прогноза за 2015-2017 гг описаны в работе (Shugay et al., 2022).

В настоящей работе произведён анализ результатов прогнозирования времени и скорости прихода корональных выбросов масс (КВМ) к Земле в зависимости от начальной скорости КВМ. Рассмотрены особенности прогнозирования медленных КВМ (со скоростями до 300 км/с), а также сверхбыстрых КВМ (со скоростями более 900 км/с). Предложены варианты усовершенствования модели, основанные на выборе значения параметра сопротивления среды в зависимости от начальной скорости выброса.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №12-34-567890).

Литература

1. Vršnak, B., et al. Propagation of Interplanetary Coronal Mass Ejections: The Drag-Based Model // Solar Physics. V. 285. N. (1–2). P. 295–315. 2013.
2. Shugay, Y.S. et al. Modeling of Solar Wind Disturbances Associated with Coronal Mass Ejections and Verification of the Forecast Results // Universe. V. 8. P. 11. 2022.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ТОКОВЫХ СЛОЁВ В ПОЛЯРНОЙ ГЕЛИОСФЕРЕ И ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА ИХ ВИДИМОЙ КОРОТАЦИИ С ИСТОЧНИКОМ ВНУТРИ КОРОНАЛЬНОЙ ДЫРЫ

Кислов Р.А.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Россия, Москва, Троицк 108841
kr-rk@bk.ru

Высокоширотные конические токовые слои были обнаружены по данным Ulysses в 2017 году [1]. Они наблюдались во время минимумов солнечной активности в 1994 и в 2007 годах во время пролётов аппарата над полюсами. Высокоширотные токовые слои выступали в роли границ регионов, выделяющихся на фоне окружающей плазмы пониженной более чем на 100 км/с скоростью солнечного ветра и противоположной полярностью магнитного поля. Эти регионы имеют форму узких конусов с углом раствора около 20. Конусы наклонены по отношению к оси вращения Солнца и вращаются вокруг неё с угловой скоростью, близкой к Кэррингтоновской.

В данном исследовании представлена усовершенствованная МГД модель полярных конических токовых слоёв. Новая модель является двумерной и применима на разных гелиоцентрических расстояниях, позволяя описать форму конического токового слоя. Исследовано влияние температуры и угловой скорости собственного вращения структуры на центральный максимум плотности плазмы вблизи её оси. Объяснён механизм коротации конического токового слоя как целого и его источника на Солнце.

Литература

1. Khabarova, O.V.; Malova, H.V.; Kislov, R.A.; Zelenyi, L.M.; Obridko, V.N.; Kharshiladze, A.F.; Tokumaru, M.; Sokół, J.M.; Grzedzielski, S.; Fujiki, K. High-Latitude Conic Current Sheets in the Solar Wind. The Astrophysical Journal, 836, 108, 2017. doi: 10.3847/1538-4357/836/1/108

КОРОТИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНАЯ БУРЯ 1-2 ДЕКАБРЯ 2023 Г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ БСА ФИАН

Лукманов В.Р., Чашей И.В., Тюльбашев С.А., Субаев И.А.
ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Московская обл., Россия
lukmanov@prao.ru

Рассмотрены данные наблюдений межпланетных мерцаний, полученных на радиотелескопе Большая Синфазная Антенна (БСА) Физического института им. П.Н. Лебедева (ФИАН) перед началом, в период и после магнитной бури, произошедшей 1 – 2 декабря 2023 г. Проводилось сравнение данных наблюдений с модельными расчетами для распространяющихся коротирующих возмущений. В день перед началом магнитной бури наблюдались признаки распространяющейся коротирующей структуры. Однако затем наблюдаются признаки распространяющегося выброса корональной массы, распространяющегося после вспышки M9.8 28 ноября 2023 г., проводились также соответствующие сравнения наблюдательных данных с модельными расчетами для данного выброса корональной массы. По-видимому, имело место наложение крупномасштабных возмущений солнечного ветра двух видов, которые и привели к магнитной буре.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ WSA И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МГД-МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ОСНОВЕ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ СЕТИ GONG И КИСЛОВОДСКОЙ ГАС ГАО РАН

Павлов Д. А. [1,2], Кодуков А. В. [1], Арутюнян С. Н. [1], Березин И. А. [3], Субботин М. О.[1], Тлатов А. Г. [3]

1 Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)
2 Санкт-Петербургский государственный университет
3 Кисловодская горная астрономическая станция ГАО РАН
d.a.pavlov@spbu.ru

Представлена методика расчёта прогноза плотности и скорости частиц солнечной плазмы в околоземном пространстве на основе МГД-моделирования, граничные условия для которого построены по ежедневным синоптическим картам радиального магнитного поля фотосферы, получаемым в Кисловодской ГАС ГАО РАН. Выполняется расчёт магнитного поля по моделям PFSS (на 2.5 Rs) и SCS (2.5 - 21.5 Rs) в реализации пакета POT3D. Карта радиальной скорости частиц на сфере радиусом 21.5 Rs считается по модели WSA с использованием пакета streamline для трассировки линий поля. Проведено сравнение полученных карт с аналогами (CCMC, SWPC) для избранных дат.

Применяется методика вычисления карт электронной плотности, температуры и долготной составляющей магнитного поля на 21.5 Rs по известным инвариантам (что необходимо для МГД-симуляции), а также эмпирические поправки и ограничения, используемые в SWPC.

МГД-моделирование производится с помощью пакета PLUTO на диапазоне 0.1 - 1.7 а.е. по расстоянию и -60° - 60° по широте. Проведено сравнение полученных прогнозов с аналогами: SWPC (МГД-модель на основе синоптических карт GONG), ГАС ГАО РАН (модель Hux) и измерительными данными в околоземном пространстве (OMNI).

Исследование Д. А. Павлова выполнено в Санкт-Петербургском международном математическом институте имени Леонарда Эйлера при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075–15–2022–287 от 06.04.2022)..

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ГЕЛИОСФЕРЫ

Антонов Ю.А., Захаров В.И., Королев В.Ю., Сухарева Н.А., Цыганов М.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
SuharevaNA@my.msu.ru

Топологический анализ данных — активно развивающаяся область исследований на границе слияния алгебраической топологии, статистики, теории вычислений, имеющая мощный и уникальный набор методов для извлечения качественной и количественной информации из базовой структуры данных [1-3]. Один из сильных инструментов топологического анализа, – метод исследования персистентной гомологии, особенно в сочетании со статистическими линейными и нелинейными методами. Основные используемые методики – синтез многомерных вложений с временной задержкой и подход скользящего окна. Эти методики позволяют преобразовывать временные ряды в последовательности облаков точек, что необходимо для применения разрабатываемых инструментов.

Динамика движения потоков заряженных частиц межпланетной плазмы характеризуется нелокальностью процессов взаимодействия с электромагнитными полями и сопутствующими потоками частиц, длительным последействием, что отражается на стохастических и динамических свойствах регистрируемых временных рядов. При анализе временных рядов отдельной проблемой является анализ многомерных структур, содержащих скрытую информацию в разных временных масштабах. В работе предложена и апробирована методика анализа многомасштабных метастабильных процессов, в которых изменение основных параметров модели происходит гораздо медленнее, нежели изменение регистрируемых значений. Разработанный подход основан на свойствах наследования топологических признаков в динамическом отклике при наличии долговременной памяти у системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Umeda Y., Kaneko J., Kikuchi H. Topological data analysis and its application to time-series data analysis //Fujitsu Scientific & Technical Journal. – 2019. – Т. 55. – No. 2. – С. 65-71.
2. Karan A., Kaygun A. Time series classification via topological data analysis //Expert Systems with Applications. – 2021. – С. 115326.
3. Gao Y. et al. Exploring spatio-temporal correlation and complexity of safety monitoring data by complex networks //Automation in Construction. – 2022. – Т. 135. – С. 104115.

Секция 3
«Прогноз состояния ионосферы и условий распространения радиоволн»

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПУЗЫРИ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Л.Н. Сидорова
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
lsid5@yandex.com

Неоднократно делались попытки исследовать влияние геомагнитной активности на генерацию экваториальных плазменных пузырей (EPB). На сегодняшний день известно, что геомагнитная активность стремится подавить генерацию и развитие EPB в дополуночном секторе. Что касается послеполуночного сектора, то полагают [1], что вероятность наблюдать EPB после полуночи будет расти по мере роста геомагнитной активности. Однако эта гипотеза нуждается в подтверждении, в достаточном количестве наблюдательных данных. Для этой цели наилучшим образом подходят наблюдения EPB, зарегистрированные в дополуночном и послеполуночном секторах на борту спутника ISS-b (~972−1220 км) за полтора года наблюдений (август 1978 –декабрь 1979). Данные рассматривались в двух широтных регионах: экваториально-низкоширотном ±(0°-20°) и среднеширотном ±(20°–52°). Для обеих групп были рассчитаны LT- и *Kp*-вариации вероятности наблюдения EPB. Выявлено, что (1) EPB, регистрируемые на экваторе и в низких широтах, имеют максимум вероятности наблюдения в дополуночном секторе. Вероятность их наблюдать на этих широтах убывает по мере роста *Kp*-индекса, взятого за 9 часов до регистрации EPB. Выявлено, что (2) EPB, регистрируемые на средних широтах, имеют максимум вероятности наблюдения в послеполуночном секторе. Вероятность их наблюдать растет по мере роста *Kp*-индекса, взятого за 9 часов до регистрации EPB. Таким образом, получено подтверждение гипотезы [1] о влиянии на генерацию EPB механизма ионосферных возмущений (IDD), который "включается" после нескольких часов повышенной геомагнитной активности.

Литература

1. *Abdu M.A.* Outstanding problems in equatorial ionosphere-thermosphere electrodynamics relevant to spread F // J. Atmos. Solar. Terr. Phys. V. 63. P. 869-884. 2001.

ИЗЛУЧЕНИЕ РИДБЕРГОВСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ДАЛЬНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

Степанов И.Г., Голубков Г.В., Голубков М.Г.
ФИЦ ХФ РАН, г. Москва, Россия
ilyastep91@mail.ru

В последние годы в ФИЦ ХФ РАН проведены теоретические исследования оптических квантовых свойств D и E слоев ионосферы Земли, которые проявляются в периоды сильных геомагнитных возмущений ионосферы при повышении солнечной активности [1,2]. В этих условиях формируются некогерентное сверхфоновое излучение в дециметровом (СВЧ) и терагерцовом (ИК) диапазонах. Физической причиной образования такого излучения служат переходы между орбитально вырожденными ридберговскими состояниями, которые заселяются в неравновесной двухтемпературной плазме под действием ионосферных электронов и в результате прямого радиационного воздействия солнечных вспышек [2]. Основой теории, описывающей это явление, является учет взаимодействия ридберговских атомов и молекул с молекулами нейтральной среды.

В результате наземных, атмосферных и спутниковых измерений было обнаружено интенсивное ИК излучение в диапазоне длин волн от 15 мкм до 50 мкм [3,4]. Предполагается, что источником этого излучения являются ридберговские комплексы в атмосферном слое 80-120 км. Это связано с тем, что тепловое ИК излучение с поверхности Земли полностью поглощается в нижней атмосфере вплоть до высоты 45 км. Прямым подтверждением этого факта могут служить баллонные измерения, в которых аппарат может подниматься на высоту до 60 км. Более того, этот метод измерения позволяет регистрировать ИК излучение, приходящее сверху.

В докладе показано, что мониторинг и прогноз изменения параметров плазмы D и E слоев ионосферы можно осуществлять по спектру длинноволнового ИК излучения, опираясь на результаты баллонных и прямых измерений, полученных с помощью низкоорбитальных спутников.

Литература

1. Голубков Г.В., Голубков М.Г., Манжелий М.И. Микроволновое и инфракрасное излучения верхней атмосферы в периоды повышения солнечной активности // Доклады Академии наук. Т. 447. № 5. С. 503–506. 2012.
2. Kuverova V.V. et al. Chemical physics of D and E layers of the ionosphere // Adv. Space Res. V. 64. № 10. P. 1876–1886. 2019.
3. Mlynczak M.G. et al. First light from the Far-Infrared Spectroscopy of the Troposphere (FIRST) instrument // Geophys. Res. Lett. V. 33. № 7. L07704. 2006.
4. Farrah D. et al. Review: Far-infrared instrumentation and technological development for the next decade // J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. V. 5. № 2. P. 1–35. 2019.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ FOF2 И TEC

Харахашьян А.М., Мальцева О.А.
НИИФ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия
aharahashyan@sfedu.ru

Как показано в [1], нейросетевые методы стали в последние годы преобладающими в прогнозах параметров ионосферы, и очень широко использовались для прогноза полного электронного содержания TEC. Однако, критическая частота не теряет своего значения для теоретических и практических приложений, поэтому исследование эффективности нейросетевых прогнозов для данного параметра также представляет интерес. В работе [2], на примере прогноза TEC для меридиана 30° E и 2015 года с использованием 10 разработанных методов показано, что в соответствии с набором архитектур и соответствующим уровнем эффективности, эти методы можно разделить на 3 группы. В данной работе, 2 группы наиболее эффективных методов 1) BiLSTM-FRF, 2) BiLSTM-RFF, 3) BiGRU-FRF, 4) BiGRU-RFF, 5) BiTCN) подверглись дополнительной модификации и использовались для прогноза foF2 и TEC, причем прогноз проводился как с привлечением входных индексов космической погоды (F10.7, Kp, Np, Vsw, Dst), так и без них. В отличие от результатов [2] наименьшие значения метрик получены для случая прогноза без учета индексов. Для иллюстрации в Таблице приводятся результаты для станции Moscow. В первом столбце указывается метод, обеспечивший наибольшую точность, во втором столбце показан период прогноза, остальные столбцы дают соответствующие метрики.

		foF2			TEC			
	τ	MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE	*
		MHz	MHz	%	MHz	MHz	%	
BiTCN	2 h				0,21	0,5	2,75	RS[2]
BiTCN	1 d	0,05	0,062	1,14	0,15	0,21	1,72	
BiGRU-FRF	7 d	0,68	0,86	17,5	2,12	2,7	23,09	

Предварительно можно отметить, что наилучшие методы прогноза для foF2 и TEC совпадают.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание ГЗ110/23-10-ИФ).

Литература

1. Radicella, S.M. New Ways to Modelling and Predicting Ionosphere Variables // Atmosphere. V.14. 1788. P. 1-13. 2023.
2. A. Kharakhashyan, O. Maltseva, Comparison of the Forecast Accuracy of Total Electron Content for Bidirectional and Temporal Convolutional Neural Networks in European Region // Remote Sens. V.15. 3069. P. 1-26. 2023.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ И ИХ РОЛЬ В МОДЕЛИРОВАНИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Бахметьева Н.В.[1], Григорьев Г.И. [1], Жемяков И.Н.[1], Калинина Е.Е. [1]
[1]НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия
nv_bakhm@nirfi.unn.ru

При расчете траекторий радиоволн важнейшую роль играет распределение электронной концентрации по высоте и во времени. Приведены результаты измерения высотного N(h) профиля электронной концентрации методами, основанными на обратном рассеянии радиоволн естественными и искусственными неоднородностями ионосферной плазмы на высотах 60–180 км. Подчеркнута роль межслоевой E-F впадины (долины), что особенно важно при реализации дальнего волноводного распространения радиоволн КВ диапазона. Высотный профиль электронной концентрации измерялся в D-области методом частичных отражений в диапазоне высот 60–90 км и методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы, создаваемых мощным радиоизлучением нагревного стенда СУРА. Объединение этих методов позволяет измерить N(h) профиль во всей толще ионосферы от начала D-области до максимума F-слоя. Исследованы основные особенности распределения электронной концентрации в долине. Основными факторами, влияющими на долину, являются динамические явления: атмосферные волны и турбулентность, спорадические слои ионизации (слои E_s). Приведены сведения об экспериментальном определении ширины и глубины долины. Большой разброс значений этих параметров и значительные вариации электронной концентрации обусловлены образованием и движением спорадических слоев. Показано, что тонкая структура межслоевой E-F впадины тесно связана с динамикой нижней термосферы.

Работа выполнена в рамках контракта № FSWR-2023-0038 по базовой части государственного задания Минобрнауки РФ.

Литература

1. Беликович В.В. и др. Новый способ определения электронной концентрации в E-области ионосферы по временам релаксации искусственных периодических неоднородностей // Известия вузов. Радиофизика. Т. 49. №. 9. С. 744–750. 2006.
2. Бахметьева Н.В. и др. Результаты определения электронной концентрации в E-области ионосферы по временам релаксации искусственных периодических неоднородностей с разными масштабами // Известия вузов. Радиофизика. Т. 51 № 6. С. 477–485. 2008.
3. Беликович В.В. и др. Исследование ионосферы методом частичных отражений // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 44. № 2. С. 189–194. 2004.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОСФЕРЫ НА ИОНОСФЕРНЫЙ ОТКЛИК ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ

Белюченко К.В.[1,2], Клименко М.В.[1], Ратовский К.Г.[2], Клименко В.В.[1]

[1]Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

[2]Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

kdei@list.ru

Основой данного исследования являются результаты расчетов проведенные на Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) для геомагнитной бури 17 - 23 марта 2015 года, для геомагнитных бурь с различными моментами начала по UT. При реализации модельных расчетов эффектов геомагнитных бурь с другими моментами начала по UT мы использовали поведение AE и AL индексов со смещением. Нами были рассмотрены 4 сценария абсолютно одинаковых геомагнитных бурь с моментами начала в 00, 06, 12 и 18 UT. На основе результатов моделирования мы проанализировали концепцию термосферной бури и ее влияния на отклик F-области ионосферы в зависимости от рассматриваемой долготы и локального времени геомагнитных возмущений. Для всех рассматриваемых геомагнитных бурь формирование положительных возмущений NmF2 в субавроральных и средних широтах в главную фазу бури связано с дополнительным ветром к экватору. Наиболее интенсивные положительные возмущения NmF2 приходятся на долготы Американского (270°E) и Тихоокеанского (180°E) секторов, что связано с наибольшим смещением возмущений в ветре к экватору и наибольшей эффективности ветра в этих секторах. На фазе восстановления и после окончания геомагнитной бури возмущения в n(O)/n(N2) вносят наибольший вклад в формирования возмущений NmF2 и определяют их долготную зависимость. Согласно результатам моделирования интенсивность и широтная протяженность эффектов последействия в NmF2 больше для Азиатского (90°E) и Тихоокеанского (180°E) секторов.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-77-10004).

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ

Бессараб Ф.С.[1], Суходолов Т.В.[2], Клименко В.В.[1], Клименко М.В.[1], Розанов Е.В.[3]

[1]КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
[2]WRC/PMOD, Давос, Швейцария
[3]СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
bessarabf@wdizmiran.ru

Метеорологические возмущения являются постоянным источником атмосферных волн. Распространяясь из нижней атмосферы, они могут достигать высот верхней атмосферы и, вследствие процессов диссипации, существенно влиять на вариации термосферных и ионосферных параметров. В настоящее время считается, что атмосферная изменчивость обеспечивает 10 – 15 % вариаций Полного Электронного Содержания (ПЭС).

Одним из эффективных инструментов изучения роли нижней атмосферы в формировании ионосферно-термосферной изменчивости являются модели всей атмосферы, простирающиеся от поверхности Земли до верхней границы термосферы (WAM, WACCMX, CCM3-TIMEGCM, GAIA). В представленной работе мы рассмотрели эффекты бури Святого Патрика (17-18 марта 2015 года) в верхней атмосфере и ионосфере с помощью модели всей атмосферы EAGLE. Исследователи неоднократно обращались к геомагнитной буре 17-18 марта 2015 года, поскольку она была одной из самых сильных в 24-м цикле солнечной активности. Особенность нашего исследования состояла в том, что при рассмотрении эффектов геомагнитной бури, мы учитывали атмосферную изменчивость с помощью регулярной шестичасовой корректировки модельных полей от поверхности Земли до 60 км данными метеорологической базы ERA Interium. Модельные исследования проводилось для периода с 1 по 31 марта 2015 года, который включает в себя бурю Святого Патрика.

Результаты расчетов EAGLE сравнивались с данными численных экспериментов на Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы, Протоносферы (ГСМ ТИП), нижняя область которой начинается от 80 км и, следовательно, атмосферная изменчивость в ГСМ ТИП может учитываться только посредством граничных условий. Показано, что вариации полного электронного содержания в моделях заметно различаются как в спокойных геомагнитных условиях, так и во время бури.

ВОЛНОВАЯ АКТИВНОСТЬ ВГВ В НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЕ В ПЕРИОД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ШТОРМА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ SABER/TIMED

Борчевкина О.П.[1], Бессараб Ф.С.[1], Тимченко А.В.[1], Карпов И.В.[1]
[1] Калининградский филиал ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
olga.borchevkina@mail.ru

Рассмотрено влияние метеорологического шторма в октябре 2018 г. в Балтийском море на состояние мезосферы и нижней термосферы. Проведен анализ волновой активности внутренних гравитационных волн по данным спутника TIMED/SABER и определены эффекты метеорологического шторма на высотах 80–100 км. Результаты анализа 186 температурных профилей, отобранных из массива экспериментальных данных SABER/TIMED, для исследуемой области позволили определить эффекты метеорологического шторма на высотах мезосферы и нижней термосферы. Так, в дни метеорологического шторма отчетливо видно увеличение температуры на высотах от 80–88 км и ее уменьшение на высотах 93–104 км.

Для расчета плотности потенциальной энергии внутренних гравитационных волн и выделения возмущений температуры, обусловленных их распространением на высотах нижней термосферы, был адаптирован метод на основе модовой декомпозиции из данных SABER. Проведенный вейвлет-анализ возмущений температуры выявил два диапазона вертикальных длин волн 5–8 км и 14–18 км. В области метеорологического шторма амплитуда ВГВ с вертикальными длинами волн 5−8 км возрастает, а область их максимума расширяется и смещается вверх на высоты ~90 км, в то время как в метеорологически спокойные дни данные волны наблюдаются на высотах 65–70 км и с меньшими амплитудами. Над областью метеорологического шторма на высотах 90–100 км значительно увеличиваются значения плотности потенциальной энергии внутренних гравитационных волн по сравнению со спокойными днями до и после шторма, а также увеличиваются пространственные размеры области возмущения.

Повышенное выделение потенциальной энергии ВГВ в периоды метеорологического шторма может приводить к изменению вертикальной структуры температуры, что отчетливо заметно в измерениях SABER/TIMED. Можно предположить, что такие изменения обусловлены усилением турбулентных процессов вследствие повышения волновой активности ВГВ в нижней термосфере.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10004, https://rscf.ru/project/23-77-10004/.

ПРОГНОЗ НЕЙТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ГЛОБАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В МАКСИМУМЕ СЦ25

Гуляева[1] Т.Л., Лукьянова[2] Р.Ю.
[1]*ИЗМИРАН, Москва, Россия*
gulyaeva@izmiran.ru
[2]*ИКИ, Москва, Россия*
renaluk71@gmail.com

Для оценки ожидаемых параметров космической погоды в максимуме текущего 25го солнечного цикла выполнен анализ геофизических условий во время запусков 130 спутников Starlink в 2019–2023гг. Исследовались вариации нейтральной плотности в термосфере (*Nn*) по данным измерений на спутниках Swarm и глобальное электронное содержание (*GEC*) по картам JPL GIM-TEC. Вариации *Nn* и *GEC* оценивались в течение 24-ч периода времени, центрированного на момент запуска, в зависимости от солнечной и геомагнитной активности. Параметры *Nn* и *GEC* показывают синхронное увеличение с ростом солнечной активности. Построена аналитическая модель изменений указанных параметров в зависимости от фазы солнечного цикла *Ф* для прогноза *GEC* и *Nn* в максимуме СЦ25. Развитие фазы цикла *Ф* определяется в соответствии с ожидаемым моментом максимума СЦ25 [1]. Сравнение прогнозируемых значений рассматриваемых параметров *Nn* и *GEC* в максимуме СЦ25 при $\Phi = 1$ с наблюдаемыми значениями при аварийном запуске Starlink 3 февраля 2022г [2] при $\Phi = 0.4$ показало превышение ожидаемых максимальных значений *GEC* в 2.1 раз, *Nn_SwA* в 2.6 раз и *Nn SwB* в 3.5 раза. Такие высокие максимальные значения нейтральной и заряженной компонент необходимо учитывать при планировании запусков спутников в максимуме СЦ25 во избежание риска нештатных ситуаций при увеличении торможения спутников на низких орбитах LEO.

Литература

1. Gulyaeva, T.L. Predicting indices of the ionosphere response to solar activity for the ascending phase of the 25th solar cycle. Adv. Space Res., 63, Is.5, 1588-1595. https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.11.002, 2019.

2. Gulyaeva T.L., Lukianova R.Yu., Haralambous H. Ionosphere heterogeneities at dawn-dusk terminator related to the Starlink satellites launch disaster on 3-8 February 2022. J. Geophys Res. Space Physics 128, Is.11, e2023JA031577. https://doi.org/10.1029/2023JA031577. 2023.

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИИ 427.8 НМ 1NG N_2

Дашкевич Ж.В.[1], Иванов В.Е.[1]
Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
zhanna@pgia.ru

В работе предложена методика оценки средней энергии потока высыпающихся электронов по измерению интенсивности излучения эмиссии λ427.8нм. В основу предложенной методики положена экспериментальная зависимость отношения интенсивностей излучения эмиссий I(λ630.0нм) и I(λ427.8нм) от интенсивности эмиссии I(λ427.8нм) и результаты модельных расчетов зависимости отношения I(λ630.0нм)/I(λ427.8нм) от средней энергии потока авроральных электронов. Приведены численные оценки влияния на данную зависимость трех факторов, а именно: формы энергетического спектра авроральных электронов, модели нейтральной атмосферы и концентрации нечетного азота NO. Рассчитана зависимость средней энергии потока авроральных электронов от интенсивности излучения эмиссии λ427.8нм и представлена ее аналитическая аппроксимация.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ИОНОСФЕРНЫХ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Деминов М.Г.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
deminov@izmiran.ru

Представлены первые результаты выделения долговременных изменений (трендов) средних за год ионосферных индексов ΔIG_{12} и ΔT_{12}, которые получены после исключения из IG_{12} и T_{12} зависимости этих индексов от индексов солнечной активности. В данном случае индексами солнечной активности были $F10$ и $F30$ – потоки радиоизлучения Солнца на 10.7 и 30 см. Получено, что для интервала 1957-2023 гг. все анализируемые линейные тренды отрицательны, т.е. величины ΔIG_{12} и ΔT_{12} уменьшаются со временем, и эти тренды значимы. По абсолютной величине они максимальны для ΔIG_{12} с учетом зависимости IG_{12} от $F10_{12}$ и минимальны для ΔT_{12} с учетом зависимости T_{12} от $F30_{12}$. Представлены соотношения, которые позволяют по данным трендов ионосферных индексов (ΔIG_{12} или ΔT_{12}) судить о характере тренда $\Delta foF2$ над конкретным пунктом. Для этого по модели IRI для $foF2$ получен коэффициент, который дает связь между трендом ионосферного индекса и трендом $\Delta foF2$ над данным пунктом. На основе сопоставления с экспериментальными данными на средних широтах получено, что тренды ионосферных индексов позволяют правильно определить знак тренда $\Delta foF2$ и общую тенденцию изменения этого тренда, но вычисленная величина тренда над конкретным пунктом может заметно отличаться от экспериментальных данных. По трендам ионосферных индексов получено, например, что на средних широтах (ст. Juliusruh) для интервала 1957-2023 гг. средние за год тренды $\Delta foF2$ изменялись от –0.003 до –0.007 МГц/год. Их учет в задачах вычисления $foF2$ не имеет практического значения, но может стать важным для аэрономии. Дополнительный учет индексов солнечной активности Mg II и LαH для решения данной задачи в целом подтвердил полученные выводы.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА ПОГЛОЩЕНИЯ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ С НАБЛЮДЕНИЯМИ НА СЕТИ ИОНОЗОНДОВ ААНИИ

Дмитриев А.В.[1], Долгачева С.А.[2], Трошичев О.А.[2], Пулинец М.С.[1]
[1]НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия
[2]ААНИИ, г. Санкт-Петербург, Россия
dalex@srd.sinp.msu.ru

Эллиптическая модель [1] широты обрезания солнечных космических лучей (СКЛ) применяется для предсказания эффектов рассеяния и поглощения сигналов ионозондов в полярной шапке (ППШ) во время событий СКЛ и геомагнитных бурь в феврале, марте сентябре 2014г., июне 2015г. и сентябре 2017г. Результаты расчетов сравниваются с наблюдениями эффекта ППШ на ионозондах ААНИИ, расположенных на севере России в широкой области долгот от 30° до 170° и геомагнитных широт от 56° до 64°. Рассматривается зависимость широты обрезания от интенсивности магнитной бури, а также эффект дополнительной ионизации протонами и электронами СКЛ ночной и дневной ионосферы. Модель демонстрирует удовлетворительную статистическую точность со средней вероятностью правильных предсказаний до 0,83. Обсуждаются перспективы дальнейшего совершенствования эллиптической модели, такие как расширение динамического диапазона угла наклона диполя, учет воздействия СКЛ более высоких энергий и включение в модель PC индекса потока энергии в полярную шапку.

Литература

1. Dmitriev A.V., Jayachandran P.T., Tsai L.-C. Elliptical model of cutoff boundaries for the solar energetic particles measured by POES satellites in December 2006 // *J. Geophys. Res.* V. 115. P. A12244. 2010. doi:10.1029/2010JA015380.

ПОЛНАЯ КАРТИНА ЛОКАЛИЗАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ ПРОВАЛОВ В ЗИМНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ

Карпачев А.Т.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
karp@izmiran.ru

Построена полная картина локализации провалов ионизации для всех суток. Она включает в себя высокоширотный (ВИП), главный (ГИП), кольцевой (КИП) и низкоширотный (НИП) ионосферные провалы, а также квази-провалы. Использовались данные спутника CHAMP, полученные в южном полушарии для спокойных геомагнитных условий при высокой солнечной активности. Разделение ВИП и ГИП основано на модели авроральных диффузных высыпаний [1]. Эта модель описывает зону I диффузных высыпаний на экваториальном крае аврорального овала и зону II диффузных высыпаний на его полярном крае. Чтобы различить ГИП и КИП, анализировалась динамика обоих провалов во время всех, даже слабых геомагнитных возмущений. Поскольку положение всех ионосферных структур, включая авроральный овал, зависит от долготы, анализ в каждом секторе местного времени проводился в рамках долготного эффекта. Каждый сектор местного времени имеет свою специфику. Ионосфера, освещенная солнцем в полдень, находится под сильным влиянием дневного каспа и связанного с ним ВИП; ГИП образуется только на долготах тени. Днем наблюдаются плазменные пики на широтах диффузных высыпаний в зоне I. В дневном/вечернем секторе плазменные пики часто наблюдаются экваториальнее аврорального овала. Оба пика иногда сопровождаются квази-провалом. Вечером на долготах Америки и Атлантики формируется широкий минимум электронной концентрации намного экваториальнее аврорального овала, что делает положение минимума ГИП неопределенным. КИП редко наблюдается в дневное время. НИП также отсутствует в течение дня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vorobjev V.G. et al. Auroral Precipitation Model and its applications to ionospheric and magnetospheric studies // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., V. 102. P. 157–171. 2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВЧ РАДИОВОЛН НА ТРАССЕ КИПР - МОСКВА

Ким В.Ю., Браницкий А.В., Горохов Ю.В., Полиматиди В.П., Щирый А.О.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
vkim@izmiran.ru

Представлены результаты наблюдений влияния солнечных вспышек X-класса на ионосферное распространение ВЧ радиоволн в феврале 2024 г. Экспериментальные исследования проводились в ИЗМИРАН на трассе наклонного зондирования Кипр-Москва с помощью аппаратуры ЛЧМ-зондирования ионосферы для регистрации ионограмм НЗ. Одновременно проводилось доплеровское зондирование ионосферы путем регистрации сигналов станции точного времени РВМ (Москва). Это позволяло исследовать влияние вспышек на Солнце на модовую структуру ионограмм НЗ, а также исследовать быстрые изменения ионосферных параметров. На рис. 1 представлены две последовательные ионограммы НЗ, полученные в утренние часы 22 февраля 2024 г. На рис 1*а* представлена ионограмма, зарегистрированная в момент 09:25 LT, на которой видна сложная многомодовая структура отраженных от ионосферы радиосигналов. После этого в момент ~ 09:30 LT произошла солнечная рентгеновская вспышка X-класса и результат воздействия этой вспышки на ионосферу представлен на ионограмме, полученной в 09:35 LT, рис. 1*б*. Видно, что модовая структура ионограммы значительно изменилась - наблюдаются лишь два отражения от *F*2-слоя ионосферы,
отражение от *E*-слоя исчезло и минимальная наблюдаемая частота НЗ выросла до ~ 12 Мгц. Эти эффекты связаны с резким ростом ионизации в нижней ионосфере и соответствующим ростом поглощения радиоволн.

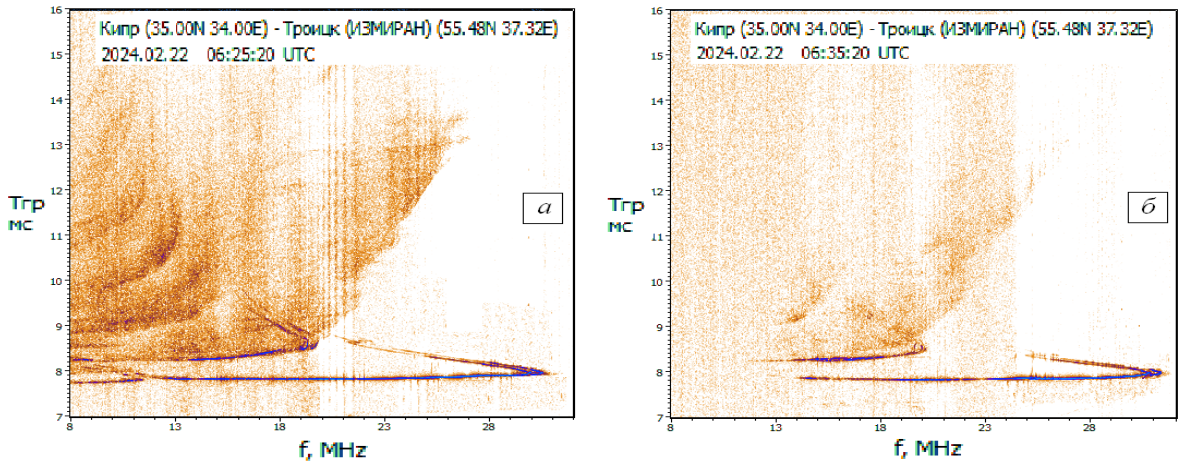


Рис. 1

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Клименко М.В.[1], Клименко В.В.[1]
[1]КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
mvklimenko@wdizmiran.ru

Изучение изменений климата и погоды верхней атмосферы и является актуальным научным направлением, имеющим большое прикладное значение. Это связано с тем, что распределение различных термосферных и ионосферных параметров (концентрации, скорости движения и температуры нейтральных и заряженных частиц) оказывает существенное влияние на: (1) движение и торможение спутников; (2) условия прохождения радиосигналов, знание которых важно для бесперебойной работы систем связи, загоризонтной радиолокации и глобальных навигационных спутниковых систем. Современные эмпирические модели верхней атмосферы, которые нередко используются для решения различных прикладных задач, воспроизводят только некоторое среднее климатическое состояние среды и по большому счету не учитывают возмущений, связанных с различными явлениями космической погоды и событиями в нижележащей атмосфере. Кроме того, эти модели не учитывают климатические изменения верхней атмосферы, связанные с беспрецедентными изменениями климата нижней атмосферы за последние десятилетия. В связи с этим развитие методов прогнозирования параметров верхней атмосферы с использованием ассимиляционных и взаимосвязанных самосогласованных моделей верхней атмосферы является актуальным прикладным и научным направлением. В данной работе представлены важнейшие проблемы, возникающие при попытках решения задач долгосрочного и краткосрочного прогноза, а также оперативной коррекции параметров верхней атмосферы. Обсуждаются ближайшие планы развития и перспективы в области численного моделирования системы атмосфера-ионосфера-магнитосфера. В докладе обсуждаются модельные оценки изменчивости параметров верхней атмосферы в периоды кратковременных явлений космической погоды и атмосферных возмущений.

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ СИНХРОННЫХ ПАР СНИМКОВ НОЧНОГО НЕБА И КАРТ ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ НА УНУ СТЕНД СУРА В 2021-2023 ГГ.

Когогин Д. А.[1], Емельянов В. В.[1], Максимов Д. С.[1], Насыров И. А.[1], Белецкий А. Б.[2], Шиндин А. В.[3], Грач С. М.[3], Загретдинов Р. В.[1]

[1] КФУ, г. Казань, Россия

[2] ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

[3] ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия

denis.kogogin@gmail.com

С 2021 гг. на УНУ Стенд СУРА начали проводиться регулярные совместные измерения полного электронного содержания (ПЭС) на сети ГНСС-станций, расположенных в окрестности стенда и искусственного свечения ионосферы в периоды воздействия на ионосферу мощным радиоизлучением. К настоящему моменту накоплен большой объем совместных синхронных данных ГНСС радиозондирования и оптических измерений. В настоящей работе выполнен анализ накопленного банка данных синхронных пар снимков ночного неба и карт вариаций ПЭС одной и той же области пространства за 2021-2023 гг. Методика проведения совместного анализа снимков ночного неба и карт вариаций ПЭС изложена в статье [1].

В экспериментах 2021-2023 гг. явление увеличения интенсивности свечения в красной линии удалось выделить на около ста циклах излучения волны накачки. В большинстве сеансов интенсивность искусственного свечения линейно растёт после начала излучения волны накачки с последующим выходом на плато после 100-120 сек излучения и плавно возвращается к фоновому уровню в паузу. Вариации ПЭС в свою очередь достигают максимального значения примерно после 40 сек с момента начала излучения волны накачки и далее плавно в течение 180-210 сек спадают до минимума, после чего возвращаются к фоновому уровню к концу цикла.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10029. Эксперименты на УНУ стенд СУРА проведены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 20-12-00197.

Литература

1. Когогин Д. А. и др. Динамическая картина стимулированной мощным радиоизлучением области ионосферы, полученная по результатам совместного анализа снимков ночного неба в линии 630 нм и карт вариаций полного электронного содержания // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. - 2020. - Т. 63. № 2. - С. 89-104.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОЗОНОСФЕРЕ И НИЖНЕЙ И ИОНОСФЕРЕ. ВКЛАД СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Криволуцкий А.А.
ЦАО (Долгопрудный), МГУ (Москва)
krivolutsky@mail.ru

Представлены результаты численного трехмерного фотохимического моделирования, с использованием модели CHARM-DE (Chemical Atmospheric Research Model with D and E regions), созданной в ЦАО с высотой верхней границы 130 км. Модель является развитием модели CHARM-I (Chemical Atmospheric Research Model with Ions, Криволуцкий и др., 2015), у которой верхняя граница на высоте 90 км. Фотохимические схемы обеих версий одинаковы. Для расчета нейтральных составляющих используется метод «химических семейств», для расчета заряженных составляющих (электроны, положительные и отрицательные ионы), применена идеология, состоящая в электронейтральности всей суммы заряженных частиц. Всего рассчитывается 50 нейтральных (включая озон) и 24 заряженных компоненты, участвующих в 210 фотохимических реакциях. Пространственное разрешение модели по горизонтали составляет 10^0, вертикальное разрешение составляет 1 км. Фотодиссоциация молекул обусловлена солнечной ультрафиолетовой радиацией. В модели заложена возможность ионизации различными факторами. В данном случае использован вариант с поглощением солнечной УФ радиации в эмиссионной линии водорода Лайман-Альфа (120 нм).

В численном сценарии реализован вариант воздействия на атмосферу, связанный с вариациями потоков солнечного УФ излучения в зависимости от его длины волны в цикле активности Солнца между 2003 г. (год максимума) и 2010 г. (год минимума). Следует отметить, что годы 2008-2010 характеризовались наиболее низкими потоками УФ радиации за последние циклы активности Солнца.

При моделировании были получены климатологические глобальные распределения озона и других малых составляющих земной атмосферы, а также распределения электронной концентрации и ионов. Электронная концентрация достаточно хорошо соответствует имеющимся в литературе ракетным данным.

Были проведены расчеты для разных фаз активности Солнца. Результаты показали, что глобальное распределение озона наиболее сильно меняется в солнечном цикле в мезосфере (порядка 10%) в фазе с активностью Солнца. Был также обнаружен эффект цикла солнечной активности в суточном ходе электронной концентрации (в освещенной области, ночью реакция отсутствует), который может достигать 30%.

МОДЕЛИРОВАНИПЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАУСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР НАКЛОННЫМИ ПЕРЕМЕЩАЮЩИМИСЯ ИОНОСФЕРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Крюковский А.С.[1], Михалёва Е.В.[1], Растягаев Д.В.[1]
[1]АНО ВО «Российский новый университет», г. Москва, Россия
Kryukovsky56@yandex.ru, rdv@rosnou.ru, mihaleva_umu@bk.ru

На основе системы бихарактеристик выполнено моделирование распространения радиоволн декаметрового диапазона на слабонаклонных трассах из источника излучения в приёмник при наличии перемещающихся наклонных ионосферных возмущений (ПИВ) (рис.1). Исследованы: доплеровское смещение частоты [1], время группового запаздывания радиосигнала, а также зависимости углов выхода лучей от положения центра ПИВ при различных частотах и поляризациях радиоволны. Показано, что при движении ПИВ в верхнем ионосферном слое возникает каустическая структура типа «каустическое остриё» (катастрофа $\mathbf{A_3}$), что проявляется на доплеровских кривых в виде S-образных линий, объясняющихся образованием при отражении от ПИВ трёхлучевых областей, а также петель (рис.2). Показано, что при описании зависимости задержек сигналов (группового времени в точке прихода) от расстояния, S-образным кривым соответствуют «петли времени» [2].

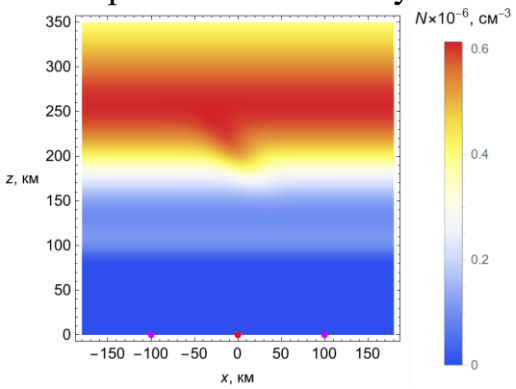


Рис. 1 (модель ионосферы)

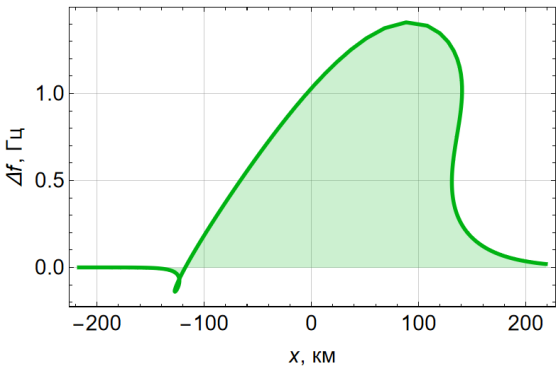


Рис.2 (доплеровский сдвиг)

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 20-12-00299-П).

Литература

1. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Михалёва Е.В., Растягаев Д.В. Влияние перемещающихся ионосферных возмущений на доплеровское смещение частоты // Физические основы приборостроения. 2023. Т. 12. № 3 (49). С. 64-75.
2. Kryukovsky A.S., Mikhaleva E.V., Rastyagaev D.V. Influence of traveling ionospheric disturbances on the caustic structure of radio waves during low inclination sounding of the ionosphere // Journal of Communications Technology and Electronics. 2023. V. 68. No S3. P. 275-283.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ПОЛЯРНЫЙ МЕЗОСФЕРНЫЙ ОЗОН

Куликов Ю.Ю.[1], Балабин Ю.В.[2], Демин В.И.[2], Демкин В.М.[3], Кириллов А.С.[2], Лосев А.Н.[2], Рыскин В.Г.[1]

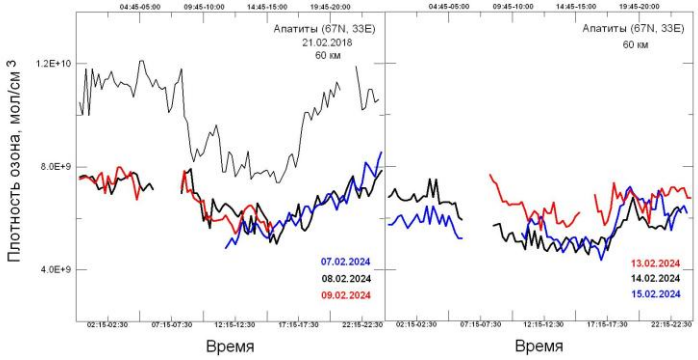
[1]ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

[2]Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия

[3]Высшая школа экономики, г. Нижний Новгород, Россия

yuyukul@appl.sci-nnov.ru

Обсуждаются результаты микроволновых наблюдений озона средней атмосферы в Апатитах (67N, 33E) зимой 2023-2024 гг. во время 25 солнечного цикла. В измерениях использован мобильный микроволновый спектрометр с рабочей частотой 110.8 ГГц. Прибор регистрирует вариации O_3 с 15-ти минутным разрешением на высотах от 22 до 60 км. Ранее в наземных измерениях при низкой солнечной активности обнаружено, что переменность плотности мезосферного озона (60 км), которая возникает из-за фотохимических процессов, может значительно уступать вариациям O_3, которые вызваны динамикой – внезапными стратосферными потеплениями (ВСП) и полярными вихрями [1]. В зимний сезон произошли протонные события (данные GOES-18) первое с 09.02. по 25.02.2024 – три всплеска потока частиц, и второе событие с 23.03. по 01.04.2024, которое сопровождалось форбуш эффектом 24-25 марта. На рисунке приведен пример возможного воздействия протонного события на мезосферный озон в середине февраля 2024 г. Усредненная за трое суток величина уменьшения плотности O_3 составила (11 □ 2)%. Для второго события не отмечено изменений в мезосферном озоне.



Суточный ход плотности мезосферного O_3 до (левая панель) и во время протонных событий в середине февраля 2024 года (правая панель). На левой панели показан также суточный ход O_3 после ВСП зимой 2017-2018 гг. Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН (FFUF-2021-0008).

Литература

1. Куликов Ю.Ю., А.Ф. Андриянов, В.И. Демин и др. Длительные микроволновые наблюдения озона средней атмосферы в Апатитах в течение трех зим. Геомагнетизм и Аэрономия, Т. 63, № 5, С. 644-656, 2023.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ ВСЛЕДСТВИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ИЗ ТРОПОСФЕРЫ

Курдяева Ю.А., Бессараб Ф.С., Борчевкина О.П., Клименко М.В.
Калининградский филиал ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
yakurdyaeva@gmail.com

В работе численно исследовано изменение атмосферных и ионосферных параметров, вызванных распространением и диссипацией атмосферных волн из тропосферы от метеорологического источника. Моделирование проводилось с применением численной региональной модели атмосферы высокого разрешения AtmoSym[1] и Глобальной самосогласованной модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП) [2]. Акустические и внутренние гравитационные волны включены в крупномасштабную модель добавлением дополнительного источника в уравнение теплового баланса без использования параметризации.

Мультимодельное исследование показало, что распространение волн из тропосферы приводит к локальному разогреву термосферы. Разогрев приводит к уменьшению $n[O]/n[N_2]$ над областью генерации волн и формированию дипольно-подобной структуры возмущений полного электронного содержания (ПЭС) с положительными и отрицательными значениями в окрестности источника атмосферных волн. В работе осуждаются механизмы, формирующие подобную диполеподобную пространственную структуру возмущений ПЭС при воздействии атмосферных волн.

Полученные в расчетах результаты демонстрируют возможность наблюдения квазидипольного возмущения в измерениях ПЭС во время сильных метеорологических событий в тропосфере. Такое возмущение ПЭС может индикатором этих и других событий, связанных с распространением АГВ из нижней атмосферы наверх, например, цунами или землетрясение.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10004, https://rscf.ru/project/23-77-10004/.

Литература

1. Gavrilov, N. M., Kshevetskii, S. P. Three-dimensional numerical simulation of nonlinear acoustic-gravity wave propagation from the troposphere to the thermosphere // Earth Planets Space. V. 66. N. 88. 2014.
2. Namgaladze, A.A. et al. Numerical modelling of the thermosphere-ionosphere-protonosphere system // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 53. P. 1113–1124. 1991.

ПОДХОД К ОТБОРУ ДАННЫХ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ MR-ТИПА ИЗ ВОСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

ЛУНДИН Б.В.
ИЗМИРАН, г. Москва, г.о. Троицк, Россия
boblundin@mail.ru

Для прояснения эффективности преобразования восходящих потоков излучения волн ОНЧ диапазона от молниевых разрядов вблизи экватора геомагнитного поля плазмосферы в квазипотенциальные (КП) режимы требуется учет локальной конкуренции градиентов плотности плазмы, магнитного поля и его кривизны. Формирование КП волновых пакетов (ВП) в этой схеме сопровождается локальным разворотом поперечных компонентов их групповых скоростей в сторону меньших L- оболочек , но без разворота их волновых векторов. В дальнейшем возможно устойчивое распространение с уменьшением L-оболочек с квазигидированием вблизи направлений предельных лучей косого резонанса для волн электронного свистового мода [1, 2]. Уточнение режимов подобного квазигидирования позволило описать появление регистраций на частотах между ~0.5 и ~0.25 от экваториальной гирочастоты на L- оболочке регистратора.

С точки зрения прогнозов частоты регистраций такого типа спектров требуется построение адекватных распределений плазмы типа диффузионного равновесия на базе моделей ИРИ до высот плазмапаузы.

Литература

1. Lundin B.V., Krafft C. On the focusing of whistler wave field intensity in the quasiresonant propagation regime // J. Geophys. Res. V. 102. № Al. P. 141-150.1997.
2. Лундин Б.В. О ряде особенностей ОНЧ волн в приземной плазме // Сб. расширенных тезисов докладов. Общерос. открытая научн. конф. «Пушковские чтения – 2019: Магнетизм на Земле и в Космосе». Москва. Троицк. 15-16 мая 2019. ИЗМИРАН. Троицк: С. 110 - 113. 2019.

НОВАЯ ВЕРСИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ APM_GEO ДЛЯ ПЛАНЕТАРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ВЫСЫПАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

О.В. Мингалев[1,2], В.Г. Воробьев[1], О.И. Ягодкина[1], М.Н. Мельник[1]
[1]*Полярный геофизический институт, г. Апатиты (Мурманская обл.)*
[2]*Мурманский арктический университет, филиал в г. Апатиты (Мурманская обл.)*
mingalev_o@pgia.ru

Представлено описание новой версии эмпирической модели высыпаний электронов и протонов для северного полушария APM_GEO, в которой границы зон высыпаний, а также средние энергии и плотности потока энергии высыпающихся электронов и протонов рассчитываются как в исправленных геомагнитных координатах, так и в географических на сетке, регулярной по долготе и с фиксированным числом точек по широте в зонах высыпаний. Входными параметрами модели являются дата, время по UT и значения геомагнитных индексов Dst и AL. Границами применимости модели являются условия Dst ≥ -200 нТл и AL ≥ -1500 нТл. По сравнению с ранее опубликованными версиями модели, в которых в географических координатах рассчитывались только границы зон высыпаний, добавлено вычисление в этих зонах распределений средней энергии и плотности потока энергии высыпающихся электронов в географических координатах, а также добавлено вычисление распределений средней энергии и плотности потока энергии высыпающихся протонов как в исправленных геомагнитных координатах, так и в географических координатах. Кроме того, внутри области аврорального овала улучшено описание границ зоны ускоренных электронных высыпаний между дневным и ночным секторами. Модель реализована в виде комплекса программ на языке FORTRAN, в котором применяются параллельные вычисления и используется созданная Н.А. Цыганенко программа RECALC-08, а также используется перепрограммированная для применения параллельных вычислений программа модели IGRF.

АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЫЗВАННЫЕ ВЫСЫПАНИЕМ ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА

Миронова И.А.[1], Гранкин Д.В.[1], Розанов Е.В.[1], Калегаев В.В.[2], Базилевская Г.А.[3], Иванова А.Р.[2], Яхнина Т.А.[4], Демехов А.Г.[4]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Институт ядерной физики им. Скобельцына МГУ, г. Москва, Россия*
[3]*Физический институт им. Лебедева РАН, г. Москва, г. Москва, Россия*
[4]*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*
i.a.mironova@spbu.ru

В данной работе исследуется атмосферный и ионосферный отклик на высыпания энергичных электронов (ВЭЭ) во время геомагнитных возмущений в период 10-16 октября 2017 г. Данные ВЭЭ были зарегистрированы с помощью аэростатных наблюдений в районе Апатитов, а также с помощью низкоорбитальных спутников, таких как Метеор-М2 и NOAA POES. По спутниковым измерениям, ВЭЭ охватывают большую широтно-долготную область в двух полушариях. Для восстановления энергетических спектров использовались энергетические каналы спутников от десятков кэВ до МэВ. Для определения атмосферно-ионосферного отклика, изменения химического состава атмосферы, содержания озона и электронной концентрации была использована одномерная радиационно-конвективная фотохимическая модель с интерактивной нейтральной и ионной химией. В качестве входных модельных параметров использовались расчетные скорости ионизации на основе спектров, полученных как со спутников, так и при аэростатных наблюдениях.

Работа поддержана грантом РНФ № 22-62-00048 в рамках задачи «Атмосферные эффекты высыпаний энергичных электронов из внешнего радиационного пояса: Часть III».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНОГРАММ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ОБОБЩЕННОЙ СИЛЫ

Носиков И.А.[1], Клименко М.В.[1], Носикова В. В. [1], Падохин А.М.[2,3], Крашенинников И.В.[3]

[1]КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
[2]МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
[3]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ianosikov@wdizmiran.ru

В работе представлена методика моделирования ионограмм наклонного зондирования в трехмерной неоднородной анизотропной ионосфере. Предложенная методика основана на решении граничной задачи о расчете траекторных характеристик радиотрасс вариационным методом, где положения передатчика и приемника зафиксированы в процессе расчета луча. Представленный ранее вариант прямого вариационного метода – метод обобщённый силы [1], показал принципиальные возможности в определении верхних и нижних лучей в результате прямой оптимизации функционала фазового пути без необходимости решения уравнения Эйлера. Особенностью применения метода обобщенной силы в рамках моделирования ионограмм является определение максимальной применимой частоты (МПЧ) с заданной точностью на основе расчета верхних лучей с минимальной вычислительной нагрузкой и последующий расчет нижних и верхних лучей от МПЧ до наименьшей применимой частоты (НПЧ) для соответствующих мод (1E, 1F2). На примере массива ионограмм наклонного зондирования среднеширотной трассы показано, что предложенный алгоритм успешно осуществляет потоковые расчеты ионограмм с различной модовой структурой.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-77-10004).

Литература

1. Nosikov I. A. et al. Generalized force approach to point-to-point ionospheric ray tracing and systematic identification of high and low rays // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. V. 68. I. 1. P. 455-467. 2019.

СОПОСТАВЛЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ОБРАТНОГО ИОНОСФЕРНОГО РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ КВ-РАДАРОВ С МОДЕЛЯМИ ИОНОСФЕРЫ

Ойнац А.В.[1], Клименко М.В.[2], Клименко В.В.[2], Шубин В.Н.[3]
[1]*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*
[2]*Западное отделение ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия*
[3]*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*
oinats@iszf.irk.ru

В докладе приводятся результаты наблюдения ракурсного рассеяния радиоволн на ионосферных неоднородностях декаметрового масштаба, вытянутых вдоль линий геомагнитного поля, полученные с использованием российских (EKB и MGW, ИСЗФ СО РАН [1]) и зарубежных КВ-радаров (сеть SuperDARN [2]). Обсуждаются динамика и пространственная локализация зон ракурсного рассеяния во время отдельных геомагнитных возмущений и статистические закономерности, полученные за период многолетних наблюдений. Проводится сопоставление наблюдаемых эффектов во время геомагнитной бури 17 марта 2015 г. с результатами моделирования, выполненными на основе физической модели ионосферы ГСМ ТИП [3,4]. Для интерпретации статистических закономерностей ракурсного рассеяния приводятся результаты сопоставления с эмпирической моделью ионосферы IRI-2020 [5] и глобальной динамической моделью критической частоты F2 слоя [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Литература

1. Бернгардт О.И., Куркин В.И., Кушнарев Д.С., Гркович К.В., Федоров Р.Р., Орлов А.И., Харченко В.В. Декаметровые радары ИСЗФ СО РАН. Солнечно-земная физика. 2019. Т. 6, № 2.С. 79–92. DOI: 10.12737/szf-62202006.
2. Nishitani, N., Ruohoniemi, J.M., Lester, M. et al. Review of the accomplishments of mid-latitude Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) HF radars. Prog Earth Planet Sci 6, 27 (2019). https://doi.org/10.1186/s40645-019-0270-5.
3. Korenkov, Y. N., V. V. Klimenko, M. Förster, F. S. Bessarab, and V. A. Surotkin (1998), Calculated and observed ionospheric parameters for a Magion 2 passage and EISCAT data on July 31, 1990, J. Geophys. Res., 103(A7), 14697–14710, doi:10.1029/98JA00210.
4. Klimenko, M. V., Zakharenkova, I. E., Klimenko, V. V., Lukianova, R. Y., & Cherniak, I. V. (2019). Simulation and observations of the polar tongue of ionization at different heights during the 2015 St. Patrick's Day storm. Space Weather, 17, 1073–1089. https://doi.org/10.1029/2018SW002143
5. Bilitza D., Pezzopane, M., Truhlik, V., Altadill, D., Reinisch, B. W., & Pignalberi, A. (2022). The International Reference Ionosphere model: A review and description of an ionospheric benchmark. Reviews of Geophysics, 60, e2022RG000792. https://doi.org/10.1029/2022RG000792.
6. Shubin V.N., Deminov M.G. Global Dynamic Model of Critical Frequency of the Ionospheric F2 Layer // Geomagn. Aeron. 2019. V. 59. No. 4. P. 429-440.

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ МОДЕЛИ NeQuick2 ПО ДАННЫМ GNSS ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРИГИНГА

Павлов И.А[1,2], Иванов А. К.[1], Падохин А.М.[1,2]
[1]МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет
[2]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
theevent1115@gmail.com

Надёжная оценка параметров ионосферы важна для многих практических задач, включая спутниковую навигацию, локацию, КВ радиосвязь. Одним из широко используемых для описания состояния ионосферы параметров является TEC (полное электронное содержание), которое может быть оценено с использованием данных глобальных навигационных спутниковых систем GNSS. Вместе с тем для практических задач больший интерес представляет не интегральная характеристика— TEC, а непосредственно пространственно-временное распределение электронной концентрации в ионосфере. В настоящем докладе предлагается оригинальный метод региональной ассимиляции данных TEC в модель NeQuick2, основанный на одностанционных оценках абсолютного вертикального TEC исключительно по двухчастотным фазовым данным GNSS и интерполяции поля эффективного управляющего параметра модели F10.7 с использованием универсального кригинга с учётом пространственной корреляции параметров ионосферы. В докладе приводятся данные сравнения скорректированной модели с результатами вертикального зондирования ионосферы, и данными модели NeQuickG, свидетельствующие об эффективности предложенного в работе подхода.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект 23-17-00157.

MOSGIM2: СВОБОДНОЕ ПО ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ КАРТ TEC И ОЦЕНКИ GEC

Падохин А.М., Андреева Е.С., Павлов И.А.,
Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В.
МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

В докладе представлен оригинальный метод картирования полного электронного содержания (TEC) и оценки глобального электронного содержания (GEC) ионосферы, основанный на фазо-разностном подходе к анализу измерений GNSS на паре когерентных частот на распределенной сети наземных станций. В предлагаемом подходе используется представление ионосферы в виде двух тонких слоев, распределение TEC в каждом слое задается усеченным разложением в ряд сферических гармоник в солнечно-синхронной системе координат. Коэффициенты разложения определяются методом наименьших квадратов с ограничением на положительность TEC для обоих слоев модели, что реализуется путем решения соответствующей задачи линейной дополнительности. Оценка GEC производится на основе нулевых коэффициентов разложения TEC в каждом из слоев. Предложенный метод не требует оценки дифференциальных кодовых задержек спутников и приемников, что позволяет совместно использовать данные различных GNSS. Более того, двухслойный подход позволяет в перспективе объединить различные типы данных TEC, например, GNSS и ионозондов сети GIRO, в рамках одного алгоритма.

Мы представляем реализацию предложенного алгоритма с открытым исходным кодом на языке Python и обсуждаем различные типы возможных конфигураций и выбора параметров, включая, предварительный выбор станций, однослойной или двуслойной модели с произвольным заданием высоты слоев, а также количества коэффициентов сферических гармоник для каждого слоя, выбор системы координат (доступны географическая, геомагнитная и MODIP), ограничений на изменчивость ионосферы, шага по времени для восстановленной модели и т. д.

Алгоритм и соответствующее программное обеспечение активно совершенствуются, последняя версия доступна на GitHub (https://github.com/PadArt/). Авторы приглашают коллег - исследователей протестировать представленный алгоритм и использовать его в своих исследованиях.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект 23-17-00157.

МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН ОНЧ/НЧ ДИАПАЗОНА

Сорокин В.М.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
sova@izmiran.ru

Аномалии регистрируемых ОНЧ/НЧ сигналов передатчиков наблюдаются в том случае, когда трасса их распространения расположена вблизи сейсмически активной области. При этом, точка отражения сигналов расположена в эпицентральной области готовящегося землетрясения. Наблюдаются колебания амплитуды и фазы регистрируемых радиоволн. Опубликованные результаты исследования спектральных характеристик этих колебаний свидетельствуют о том, что усредненный спектр имеет явно выраженные максимумы [1]. В сейсмически спокойных условиях наименьший период максимума спектра составляет величину порядка 30 минут. В условиях активизации сейсмической активности появляются максимумы спектра с более короткими периодами порядка 10 и 20 минут. Рассмотрено влияние ветра в ионосфере на характеристики внутренних гравитационных волн (ВГВ). Показано, что взаимодействие ветра в ионосфере с геомагнитным полем приводит к появлению силы Ампера в проводящем слое, вертикальный градиент которой модифицирует свойства фоновых ВГВ. Эти волны распространяются вверх из нижней атмосферы до ионосферных высот. В результате такого взаимодействия возникает дискретный спектр колебаний ионосферы с основным периодом порядка 30 минут. Увеличение силы Ампера за счет электрического поля сейсмического происхождения приводит к появлению в спектре колебаний ионосферы максимумов с более короткими периодами порядка 10 и 22 минуты. Наблюдения возмущения фазы и амплитуды отраженной от ионосферы радиоволны в период роста сейсмической активности согласуются с выводами рассмотренной модели.

Работа выполнена в рамках ГР № 1021060808637-6-1.3.8

Литература

1. Rozhnoy A.A. et al. Anomalies of LF signal during seismic activity in November–December 2004 // Natural Hazards and Earth System Sciences. V. 5. P. 657-660. 2005.

ПОЛОЖЕНИЕ ПОЛЯРНОЙ СТЕНКИ ГЛАВНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА В МАГНИТО-СПОКОЙНЫХ УСЛОВИЯХ

Степанов А.Е.[1], Халипов В.Л. [2]

[1] *ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, a_e_stepanov@ikfia.ysn.ru*

[2] *ИКИ РАН, г. Москва, Россия, khalipovvictor@mail.ru*

По данным высокоширотных ионосферных станций Якутской меридиональной цепочки, были проанализированы положения полярной стенки главного ионосферного провала (ГИП) в утреннем секторе (00 - 06 MLT). Как показали статистические исследования, проведенные по большому массиву данных, в утреннем секторе в периоды очень спокойных геомагнитных условий (Kp = 0-1) положение границы полярной стенки ГИП имеет две ветви, расходящиеся к полюсу и экватору от общей для них линии аппроксимации.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕНИЙ ТЕРМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ В МАРТЕ 2020 ГОДА ВО ВРЕМЯ ШТОРМА ЛАУРА

Борчевкина О.П., Тимченко А.В., Бессараб Ф.С., Курдяева Ю.А., Клименко М.В., Носиков И.А., Карпов И.В.

Калининградский филиал ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия

olga.borchevkina@mail.ru, timchenko.leks@gmail.com

Метеорологические штормы являются источником широкого спектра атмосферных гравитационных волн (АГВ). Распространяясь до высот термосферы и ионосферы, АГВ влияют на динамические процессы в верхних слоях атмосферы и ионосфере, и, как следствие, на радиосвязь, радиолокацию, и позиционирование.

В работе был выполнен комплексный анализ состояния системы термосфера-ионосфера во время европейского шторма Лаура 12 марта 2020 года. Данный метеорологический шторм, сформировавшись в северной Атлантике быстро достиг за несколько часов южной Балтики. Порывы ветра превышали 25 м/с.

Исследование вариаций ионосферных параметров в условиях возмущений проводился с применением дистанционного зондирования ионосферы (ионозонд “Парус”, предназначенный для диагностики состояния ионосферы в автоматическом и ручном режимах методом вертикального зондирования) и с использованием данных ГНСС. При анализе пространственно-временных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) над метеорологически возмущенным регионом использовались карты ПЭС CODE с пространственным разрешением от -175° до 180 с шагом 5° по долготе и от -87,5° до 87,5° широты с шагом 2,5° и временным разрешением 1 ч. Также были использованы данные долготной цепочке станций в метеорологически активном регионе получены по данным системы мониторинга и исследования ионосферы по данным ГНСС SIMuRG.

Для дополнительного анализа было проведено моделирование процессов в ионосфере проведено с помощью Глобальной Самосогласованной Модели Термосферы, Ионосферы и Протоносферы (ГСМ ТИП). Для учета эффектов волн в ГСМ ТИП, в уравнение теплового баланса нейтрального газа добавлялся приток тепла, который определяется диссипацией энергии АГВ, распространяющихся от источника метеорологического возмущения.

Выявлены характерные особенности изменения параметров в системе термосфера-ионосфера по результатам численного моделирования распространения волн от модельного источника и доступных экспериментальными данными.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10004, https://rscf.ru/project/23-77-10004/.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВНЗ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА РАБОЧИХ ЧАСТОТ НА СВЯЗНЫХ КВ РАДИОЛИНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Тихонов В.В. [1,2], Тихонов М.В. [1]
[1]*НИИДАР, г. Москва, Россия*
[2]*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*
tih-vlad49@yandex.ru

Недостатками метода ВНЗ при использовании его для мониторинга ионосферы является сложность определения профиля электронной концентрации - $N_e(h)$, существенное влияние подстилающей поверхности (коэффициенты поглощения, отражения) - Kus. Значение $N_e(h)$, необходимое для диагностики рабочих частот на радиолинии определялось с использованием методов решения некорректных задач Тихонова А.Н. [1]. Характеристики подстилающей поверхности - Kus выбирались на основании статистических данных для различной видов поверхностей [2].

Технология моделирования сигнала ВНЗ рассмотрена в [2] и в общем случае принятый сигнал представляет собой свертку зондирующего сигнала и функционала среды распространения, зависящего от многих параметров.

Обратная задача согласно [1] сводится к нахождению минимума невязки наблюдаемых и модельных данных, описываемых функционалом невязки – I. Близость наблюдаемых и модельных данных достигается путем минимизации функционала - $M_\alpha = I + \alpha\Omega$, где α параметр регуляризации, Ω – стабилизирующий функционал. Оптимальное значение α должно обеспечить равенство невязки погрешностям наблюдения. При этом $\Omega = \sqrt{(\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} k_n (p_n - p_n^0)^2 / \sum_{n=1}^{N} k_n}$, где p_n^0 – измеренные параметры, p_n – подбираемые параметры модели, k_n - коэффициент степени доверия подбираемым модельным параметрам, N – общее число взятых параметров из n возможных. Полученные значения $N_e(h)$ по сигналам ВНЗ при сравнении с данными вертикального зондирования показали хорошее совпадение для спокойного состояния ионосферы на среднеширотных радиолиниях различной ориентации. Сравнение осуществлялось при ретро анализе данных за 1984-1986 годы.

Литература

1.Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач: Учебное пособие. Изд. 4-е – ЛЕНАНД. 2022. – 288 с.

2. Волков Д.М., Злуницын О.И., Тихонов В.В., Талалаев А.Б., Шишковская К.Г., Кочерова М.К. Технология моделирования сигналов возвратно-наклонного зондирования в многослойной ионосфере. ЗАО «РТИС ВКО», г. Тверь в сб. Вестник Тверского Государственного Университета № 2, 2016 г. с.123-139

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ И ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Фетисова Н.В. [1], **Мандрикова О.В.** [1]

[1] *ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край, Россия*

nv.glushkova@yandex.ru, oksanam1@mail.ru

Представлены результаты моделирования и анализа вариаций критической частоты ионосферы (данные *foF2* ст. Паратунка, ИКИР ДВО РАН, Камчатка) в периоды магнитных бурь 2018-2024 гг. и сильных землетрясений на Камчатке (анализировались события с магнитудой M > 5). Использовалась разработанная авторами обобщенная многокомпонентная модель параметров ионосферы (ОМКМ) [1]. ОМКМ включает компоненты АРПСС и непараметрические составляющие в вейвлет-базисе. Применение ОМКМ направлено на обнаружение аномальных изменений в вариациях *foF2*, характеризующих состояния ионосферы в месте регистрации данных (рис.1 а, б). В работе показана эффективность ОМКМ для обнаружения аномалий разной интенсивности и продолжительности. Выделены аномалии в вариациях *foF2*, наблюдаемые на подготовительной фазе магнитных бурь. Выполнено их сравнение, по интенсивности, с ионосферными аномалиями в периоды сильных землетрясений на Камчатке. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

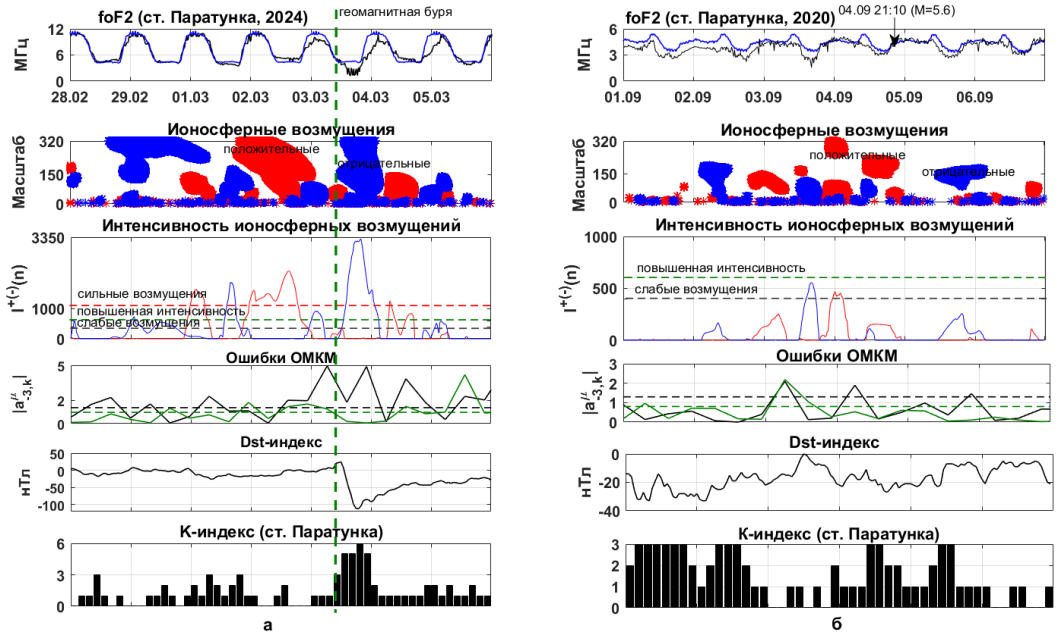


Рисунок 1 – Анализ *foF2* в период: а) – магнитной бури, б) землетрясения

Литература

1. Mandrikova O., Fetisova N., Polozov Y. Hybrid model for time series of complex structure with ARIMA components // Mathematics. V. 9. No. 10. P. 1122. 2021.

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ foF2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ LSTM ДЛЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Филатов Г.С.[1], Мерзлый А.М.[1], Янаков А.Т.[1], Моисеев И.А.[1], Никифоров О.В.[1], ШубинВ.Н.[2]

[1] *ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

[2] *ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

fgs0907@mail.ru

Рассмотрены некоторые результаты оценки применения нейросети LSTM для решения задач оперативного прогноза состояния высокоширотной ионосферы. Целью использования нейросети для прогнозирования состояния высокоширотной ионосферы является получения необходимых данных для обеспечения радиолокации в высоких широтах. Проведено прогнозирование foF2 на час вперёд для высокоширотной ионосферы и сравнение с экспериментальными данными.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ШИРОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ

Черняков С.М., Романова Н.Ю.
ПГИ, г. Мурманск, Россия
smcherniakov@gmail.com

Рассмотрено поведение широтных профилей вертикального полного электронного содержания (ВПЭС), полученных при разнесенном приеме сигналов низкоорбитальных спутников, во время спокойных геомагнитных условий, суббури и сильной геомагнитной бури от авроральной области до среднеширотной зоны. Для анализа поведения широтных профилей ВПЭС проводилось их сравнение с данными вертикального зондирования ионосферы и магнитовариационной станции.

В спокойных условиях дневные профили ведут себя похоже: монотонное уменьшение значений ВПЭС к северу. На рассматриваемых профилях для спокойных суток уровень ночной ионизации практически одинаков во всем диапазоне широт. Необходимо отметить, что среднеширотные участки спокойных профилей ВПЭС испытывают более существенные изменения в течение суток, чем авроральные.

Во время развития суббури отмечено возникновение возмущений, которые привели к существенному возрастанию ионизации в авроральной зоне с образованием четкого максимума аномальной ионизации в F-области. Между авроральной областью и среднеширотной ионосферой образуется провал электронной плотности, со временем смещающийся к югу. Наиболее существенное различие профилей возникает на участке авроральных широт, для которых характерно частое возникновение возмущений, влияющих на дрейфы и токи в ионосфере.

Показано, что в момент развития рассмотренной геомагнитной бури типичные для авроральной зоны суббуревые структуры проявились в среднеширотной части ионосферы, при этом провал достиг Москвы.

Использование разнесённого приёма сигналов низкоорбитальных спутников даёт возможность определять широтный профиль ВПЭС и, тем самым, структуру ионосферы в различных геомагнитных условиях в большом диапазоне широт: от средних до полярных. По профилю ВПЭС можно определять типичные структуры ВПЭС и границы геофизических зон. Рассмотренное поведение ионосферы с точки зрения ВПЭС показывает, что использование метода разнесенного приема согласуется с данными наземных наблюдений и оказывается в хорошем соответствии с существующими представлениями о развитии геомагнитных и ионосферных возмущений. Типичное поведение широтных профилей ВПЭС во время различных геомагнитных условий позволяет использовать их для прогноза развития состояния ионосферы.

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ GEC В ОПЕРАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ BDGIM И NEQUICKG

Чуаньфу Чэнь[1,a], А.М. Падохин[2,b]

[1,2]Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра физики атмосферы . Россия,119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

E-mail: [a] chuanfu.chen@physics.msu.ru, [b] padokhin@physics.msu.ru

Знание параметров ионосферы играет важную роль в различных практических задачах, связанных с распространением радиоволн, спутниковой навигацией, локацией и связью. При этом в для ускорения рассчетов во многих прикладных задачах оказывается достаточно использовать простые операционные модели. К такому классу относятся модели BDGIM и NeQuickG, хорошо зарекомендовавшие себя при решении задач PPP с использованием навигационных систем Compass/Beidou и Galileo, соответственно. В данной работе представлено исследование возможности описания ионосферы, как целого, с помощью данных моделей. Для этого проанализированы и сопоставлены с данными реальных наблюдений (глобальными ионосферными картами CODG) оценки глобального электронного содержания (GEC) — полного числа электронов в ионосфере, полученные в рамках этих моделей на фазе спада солнечной активности 24го цикла (2015-2020гг). Показано, что основной вклад в ошибки обоих моделей вносят приэкваториальные широты (область экваториальной аномалии). В среднем отклонение TEC по модели от карт CODG для BDGIM обладает меньшим смещением, по сравнению с NeQuickG, но большей дисперсией. Обе модели достаточно хорошо описывают изменчивость GEC в 11-летнем цикле солнечной активности, при этом для обеих моделей наблюдается недооценка GEC по сравнению с CODG. По сравнению с NeQuickG, модель BDGIM недооценивает амплитуду 27-дневных вариаций GEC, особенно в период максимальной солнечной активности. Недооценка GEC в модели BDGIM по сравнению с CODG больше в северном полушарии, чем в южном, при этом распределение отклонений в северном полушарии более симметричное, чем в южном, где доминируют отрицательные отклонения. Результаты работы указывают на потенциальные направления для уточнения модели BDGIM, в частности, необходимость разделения горбов экваториальной аномалии и улучшения представления 27-дневных вариаций, вызванных солнечной активностью, что может быть реализовано за счёт увеличения числа вещаемых коэффициентов модели.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОТЫ E-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ

Шубин В.Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
shubin@izmiran.ru

Разработана глобальная эмпирическая модель высоты максимума E-слоя ионосферы. Эта модель предназначена для расчета высоты максимума E-слоя ионосферы в любой географической точке Земли, включая высокие широты. При построении модели использованы данные наземных ионосферных станций, а также электронные профили, полученные радиозатменным методом с помощью спутников CHAMP, COSMIC и FY за период 2001–2023 гг. Построенная эмпирическая модель дает информацию о высоте максимума E-слоя в зависимости от географического положения, сезона, времени суток и солнечной активности.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ясюкевич Ю.В. [1], **Быков А.Е.** [3], **Салимов Б.Г.** [3]
[1]*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*
yasukevich@iszf.irk.ru

Полное электронное содержание (ПЭС) является одним из ключевых параметров для одночастотной навигации и коррекции интегральных параметров радиотехнических систем. Несмотря на то, что имеется существенный тренд на переход к двухчастотной навигации, в настоящее время большинство потребителей использует одночастотную аппаратуру, требующую осуществление ионосферной коррекции. Существует ряд различных типов прогнозирования. Принципиальные различия моделей: 1) наличие истории измерения целевого параметра (ПЭС), 2) наличие оценок для драйверов модели (как правило, индексов солнечной и геомагнитной активности) на момент прогнозирования. В работе получены результаты прогнозирования ионосферного ПЭС с использованием ряда методов машинного обучения (случайный лес, метод опорных векторов, градиентный бустинг, нейронные сети) [1]. Основное направление последних работ – это краткосрочный прогноз ПЭС на горизонт 1-3 дня используя текущие значения измерений F10.7. Вследствие того, что индексы идут с запаздыванием, такие модели позволяют получать модельное распределение ПЭС на текущий момент и осуществлять коррекцию навигации [2]. Результаты показывают, что на горизонте прогноза 1-3 дня использование прошлых индексов F10.7 не приводит к существенному ухудшению точности моделирования. При этом, использовании длительной истории измерений F10.7 повышает точность (хотя налагает на пользователей дополнительные требования на имеющийся входной набор данных).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00157, https://rscf.ru/project/23-17-00157/.

Литература

1. Zhukov A.V. et al. GIMLi: Global Ionospheric total electron content model based on machine learning // GPS Solutions. V. 25. 19. 2021. https://doi.org/10.1007/s10291-020-01055-1.
2. Yasyukevich Y.V. et al. Klobuchar, NeQuickG, BDGIM, GLONASS, IRI-2016, IRI-2012, IRI-Plas, NeQuick2, and GEMTEC Ionospheric Models: A Comparison in Total Electron Content and Positioning Domains // Sensors. V. 23, N 10. 4773. 2023. https://doi.org/10.3390/s23104773.

Секция 4
«Вариации геомагнитного поля и магнитных полей в магнитосфере Земли»

ГЛОБАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СУББУРЬ, ПОДОБНЫХ ПО AL-ИНДЕКСУ

Клейменова[1] Н.Г., Громова[2] Л.И., Громов[2] С.В., Малышева[1] Л.М.

[1]ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

[2]ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия

kleimen@ifz.ru

Исследованы глобальные пространственные особенности и динамика развития двух последовательных интенсивных суббурь 13 марта 2022 г. на основе анализа глобальных карт ионосферных и продольных токов проекта AMPERE, построенных по измерениям магнитного поля на 66 низко орбитальных спутниках. Обе суббури были близкой интенсивности (AL-индекс ~ -1500 нТл) и продолжительности (~2 ч), развивались при By и Bz ММП <0, их разделял 2-часовой экскурс ММП к северу. Однако эти внешне похожие суббури по-разному развивались в глобальном масштабе. Первая суббуря (13-15 UT) наблюдалась в начальной фазе магнитной бури при большом динамическом давлении солнечного ветра (Psw ~18 нПа) после часа небольших отрицательных Bz ММП, что привело к усилению конвективного электроджета в утреннем и послеполуденном секторах.) Неожиданной чертой этой суббури был огромный магнитный вихрь с центром около 18 MLT, что привело к глобальному усилению и расширению восточного электроджета в 15-21 MLT. Вторая суббуря (17-19 UT) наблюдалась в начале главной фазы бури при вдвое меньшем Psw и после резкой смены знака Bz ММП с +15 до -20 нТл. В отличие от первой суббури усиленный западный электроджет наблюдался в дневном секторе полярной шапки. Необычным было появление «слоистой» структуры (по широте) продольных токов в околополуночном секторе, а также резкий сдвиг послеполуночного западного электроджета к полюсу. Измерения высыпающихся ионов и электронов на спутниках DMSP позволили уточнить пространственные особенности электроджетов во время этих суббурь. Обсуждаются условия в межпланетном магнитном поле и солнечном ветре как возможная причина пространственных различий двух внешне похожих суббурь.

ПРОЯВЛЕНИЕ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С 4 ПО 12 НОЯБРЯ 2023 Г. НА ЯКУТСКОМ МЕРИДИАНЕ

Макаров Г.А.
ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия
gmakarov@ikfia.ysn.ru

Рассмотрены магнитные вариации в период с 4 по 12 ноября 2023 г. по данным магнитометров на станциях Якутск (Ф'≈54.5º; Л'≈201.3º), Жиганск (Ф'≈61.4º; Л'≈194.1º) и Тикси (Ф'≈68.0º; Л'≈199.4º - станция ААНИИ). Выявлено, что в этот период произошли 2 магнитные бури: умеренная буря 4-5 ноября и сильная буря 5-12 ноября. Анализ межпланетной обстановки в период 4-12 ноября 2023 г. показал, что умеренная и сильная магнитные бури были обусловлены последовательными усилениями динамического давления Pd солнечного ветра (СВ) вследствие резкого роста плотности протонов. Усиление Pd 4 ноября произошло без изменения скорости СВ и величины межпланетного магнитного поля (ММП), но сопровождалось сильным ростом плазменного параметра β. Второе усиление Pd было 5 ноября и сопровождалось возрастаниями скорости СВ, модуля ММП и резкими изменениями направлений компонент ММП, значения β при этом были меньше 1. Установлено, что магнитные вариации 4-5 ноября в Якутске, Жиганске и Тикси в период умеренной бури были обусловлены интенсивной авроральной электроструей западного направления, которая в полуночно-утреннем секторе 0÷6 MLT (или 15:30-21:30 UT 4 ноября) располагалась севернее Жиганска, но южнее Тикси. По данным Якутска, Жиганска и Тикси установлено, что 5-6 ноября в течение главной фазы сильной магнитной бури в ионосфере развивалась двухвихревая токовая система с интенсивными авроральными электроструями восточного и западного направлений. Восточная электроструя располагалась в вечерне-полуночном секторе от 18 до 24 MLT (09:30-15:30 UT 5 ноября) на широте между Жиганском и Якутском, а западная – в полуночно-утреннем секторе 6 ноября от 00:30 до 07 MLT (16:00-22:30 UT 5 ноября) и располагалась южнее Жиганска, смещаясь даже южнее Якутска, в секторе 02-07 MLT она располагалась между Жиганском и Якутском. Показано, что сведения об эквивалентных токовых системах, полученные по магнитным измерениям в Тикси, Жиганске и Якутске в периоды умеренной и сильной геомагнитных бурь 4-6 ноября, вполне соответствуют картинам ионосферных токовых систем, рассчитанных по проекту AMPERE (https://ampere.jhuapl.edu/). Магнитные данные Жиганска и Якутска дополняют экспериментальный материал проектов AMPERE.

Работа выполнена в рамках государственного задания (номер госрегистрации 122011700182-1).

КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ, ПРЕДШЕСТВОВАВШИЕ ТУРЕЦКОМУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ 06.02.2023:ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА СЕТИ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Бадин В.И., Канониди К.Х., Хегай В.В.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

badin@izmiran.ru

Турецкое землетрясение 06.02.2023 г. с магнитудой M=7,8 началось в 01:17:35 UT. Эпицентр землетрясения находился на глубине 17,9 км и имел географические координаты 37,2°N и 37,0°E. Приблизительно за четверть часа до начала землетрясения появились хорошо выраженные квазигармонические вариации геомагнитного поля с частотой около 12 мГц. Эти вариации наблюдались на магнитовариационных станциях Карпогоры, Москва, Воронеж, Симеиз, а также на станции Гюлагарак в Армении. Вариации наблюдались во всех составляющих магнитного поля, но были выражены сильнее в зональной составляющей.

Первые усилия данного исследования были направлены на проверку гипотезы о прямой причинно-следственной связи между двумя явлениями, т.е. на подтверждение предположения о том, что сигнал магнитной вариации распространялся от эпицентра землетрясения. Однако подтвердить эту гипотезу не удалось. Оказалось, что магнитные вариации, наблюдавшиеся в магнитосопряженных областях, демонстрировали хорошую синхронность, несмотря на то, что расстояния от эпицентра до этих станций различались на многие тысячи километров. Хорошую синхронность демонстрировали также сигналы, наблюдавшиеся на других станциях. По результатам проведенного анализа был сделан вывод о том, что источник низкочастотных квазигармонических вариаций магнитного поля, скорее всего, находился в магнитосфере (предположительно в хвосте магнитосферы).

Дальнейшие усилия данного исследования были направлены на то, чтобы найти аналогичные магнитные вариации, наблюдавшиеся за несколько месяцев до турецкого землетрясения 06.02.2023 г. Были найдены такие вариации, наблюдавшиеся за три месяца и за девять месяцев до землетрясения. Для сигналов, наблюдавшихся на всех станциях во всех исследуемых событиях, проведен спектральный анализ и узкополосная фильтрация вблизи максимумов спектральной мощности. Проведен сравнительный анализ сигналов после фильтрации. Обсуждаются возможные перспективы прогноза землетрясения.

РОСТ ГИТ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2023 ГОДА: РОЛЬ ИОНОСФЕРНЫХ ТОКОВЫХ СИСТЕМ И КОНФИГУРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Белаховский В.Б.[1], Пилипенко В.А[2], Селиванов В.Н.[3], Сахаров Я.А.[1]
[1]Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
[2]Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, Россия
[3]Центр физико-технических проблем энергетики Севера, г. Апатиты, Россия
belakhov@mail.ru

Подробно рассмотрен рост геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) в линиях электропередач (ЛЭП) на Кольском полуострове во время двух сильных магнитных бурь 2023 года: 23-24 марта и 23-24 апреля. Регистрация ГИТ проводилась на авроральной станции Выходной (VKH) и субавроральной станции Кондотога (KND). Хотя величина геомагнитных возмущений и вариабельность магнитного поля dB/dt (~ 400-600 нТл/мин) на станции Лопарская (LOP) были сопоставимы для обеих бурь, во время бури в апреле величина ГИТ на станции VKH была значительно больше (~40 А), чем во время бури в марте (10-15 А). Мы связываем эту разницу с вкладом вихревых ионосферных токов (связанных с Pi3/Ps6 пульсациями), которые вызывают более сильный отклик ГИТ для ЛЭП, ориентированной в направлении север-юг. Необходимо учитывать, что станция VKH является узловой: к ней подходят и ЛЭП, ориентированные в направлении запад-восток. Компенсация ГИТ от разных ЛЭП на станции VKH также может приводить к различным значениям ГИТ для рассмотренных магнитных бурь.

Напротив, на станции KND величина ГИТ для обеих бурь была пропорциональна значениям dB/dt. Станция KND является проходной. На широте станции KND вклад в рост ГИТ вносит как западный электроджет, расширяющийся на более низкие широты во время экстремальных магнитных бурь, так и вихревые ионосферные токи.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МАГНИТУДОЙ 7.3 И 6.6 В РЕГИОНЕ ИНДОНЕЗИИ

Вольвач А.Е.[1], Коган Л.П.[1], Канониди К.Х.[2], Вольвач Л.Н.[1], Боборыкина О.В.[3]

[1]*Отдел радиоастрономии и геодинамики ФГБУН «КрАО РАН», Ялта Крым*

[2] *ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

[3]*ИФЗ, г. Москва, Россия*

volvach@bk.ru

На основе методики изучения изменений свойств мелкомасштабных флуктуаций плотности вероятности при измерении X-компоненты магнитного поля выявлены кратковременные предвестники двух землетрясений магнитудой 7,3 и 6,6, произошедших в регионе Индонезии в декабре 14 января 2021 г. и 14 января 2022 г. соответственно (Рис.1).

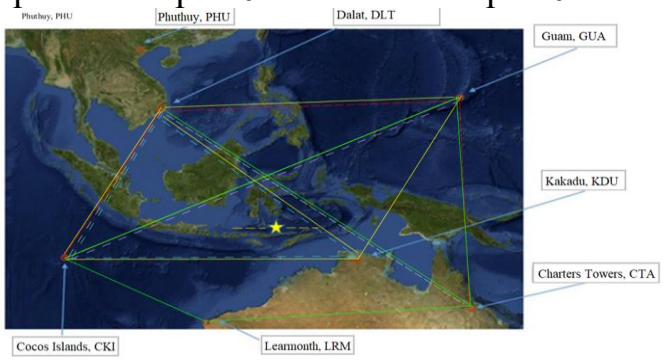


Рис. 1. Расположение эпицентра и региональных магнитометров.

В обоих случаях примененный подход позволил идентифицировать ансамбль этих предвестников на интервале порядка суток-часа до указанных событий. Для рассматриваемых землетрясений были обнаружены явления одновременного или квазиодновременного возникновения групп предвестников, а также выявлены моменты времени, которые могли соответствовать критическим явлениям в процессе «окончательной подготовки» землетрясений.

Примененный подход связан с эффектом значительного изменения амплитуды мелкомасштабных вариаций плотности вероятности любого случайного процесса при появлении в его составе даже малого дополнительного слагаемого, которое является независимым или слабо зависимым от фонового шума. Последний термин относится к совокупности обычно наблюдаемых стохастических процессов (включая, в частности, шумы измерительной аппаратуры), которые считаем не связанными или слабо связанными с возмущениями, которые генерируются при разломе литосферных плит.

Литература

1. Volvach, A., Kogan, L., Volvach, L. et al. The group of statistical precursors of 7.3 and 6.6 magnitude earthquakes in the region of Indonesia. // Nat Hazards 120, 5601–5616 (2024). https://doi.org/10.1007/s11069-024-06439-x

ДЛЯ ЧЕГО ВАЖНО ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНЫХ ВЕКТОРОВ ИНДУКЦИИ

Григорян А. Г. [1], **Канониди К. Х.** [2]

[1]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН), г. Москва,*

[2]*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) г. Троицк*

ag-grig@ifz.ru

Определение районов подготовки и выявление предвестников сильных землетрясений в сейсмоопасных регионах является одной из главных задач современной науки, окончательного решения которой еще не найдено.

Показано, как с помощью изучения изменения магнитных векторов индукции, в определенных случаях, можно решить эту задачу. Предлагаемые методы применимы для низких широт, где вариации переменного геомагнитного поля хорошо выделяются.

Представлены результаты изучения изменения магнитных векторов, на территории Армении, Италии и Турции перед местными сейсмическими событиями. Эти изменения являются развитием геодинамических процессов в земной коре и связаны с изменением физических свойств геологической среды (электропроводность). Показаны способы выявления среднесрочных предвестников следующих землетрясений: Парванийского (1986г., M=5.4); Спитакского (1988г., M=7.0); итальянского (г. Л,Акуили, 06.04.2009г. M=5.4).

С помощью изучения изменений переменного геомагнитного поля по Приэльбрускому геолого-геофизическому профилю, подтверждено наличие области аномально высокой электропроводности на глубинах 5–10 и 35–50км под вулканической постройкой Эльбруса [1,2], которое обусловлено возможным присутствием магматических расплавов.

Изучение магнитных векторов индукции позволяет рассматривать развитие геодинамического процесса на протяжении длительного периода (годы), а также выделять наиболее активные сейсмоопасные зоны в районах исследования. Практика показывает, что геофизические исследования по выявлению предвестников землетрясений будут результативны, только при непрерывном мониторинге в сейсмоопасных регионах. Ярким примером тому являются работы в Армении 1986г. под руководством профессора Ю.П. Сковородкина [3].

Литература

1. Собисевич Л.Е., Лиходеев Д.В., Локальные тепловые и резонансные аномалии в разломно блоковых средах // Экологический вестник научных центров ЧЭС №3 2007. С.47-54
2. Гурбанов А.Г. Приповерхностные магматические камеры «спящего» вулкана Эльбрус (Россия) // «Вестник Владикавказского научного центра» 2009г.
3. Григорян А. Г., Сковородкин Ю. П. Магнитовариационный мониторинг на территории Армении за 1986-1988гг.// Научно-практическая конференция. Опыт Комплексного Изучения Геофизических полей для целей сейсмопрогноза 13-15 мая 1998г. Геоинформмарк, Москва, 1998, с. 39-40

УМЕРЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ БУРИ КАК ТИПИЧНО ОЖИДАЕМЫЕ В ЭПОХУ ПОНИЖЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Громова Л.И.[1], Клейменова Н.Г.[2], Громов С.В.[1], Малышева Л.М.[2]
[1]*ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия*
[2]*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия*
gromova@izmiran.ru

Текущий 25 цикл солнечной активности (СА) является вторым циклом в эре СА, которая согласно прогнозам (например, [1]), может продлиться до середины 70-х годов XXI века. В такую эпоху снижается уровень геомагнитной активности и уменьшается число интенсивных магнитных бурь. Именно умеренные магнитные бури (< 50 $|SymH|$ <100 нТл или, по другой классификации, бури класса G2), могут стать наиболее типичным явлением космической погоды в эпоху пониженной солнечной активности В качестве примера представлены глобальные пространственно-временные характеристики умеренной ($SymH \approx$ -80 нТл) магнитной бури 12 сентября 2023 г., в главную фазу которой наблюдалась интенсивная магнитосферная суббуря (~-1400 нТл), что типично для более сильных магнитных бурь. Начальная фаза рассматриваемой бури развивалась при южной *Bz*-компоненте ММП, а главная - при ее отрицательных значениях, меняющихся от -20 до -10 нТл. Показано, что в начальной фазе бури наблюдалась дневная отрицательная магнитная бухта в *X*-компоненте поля, зарегистрированная на нескольких приполярных станциях Скандинавии. Эта бухта сопровождалась высыпанием электронов и ионов в ионосферу, а также развитием ионосферного вихря и усилением продольного тока. Одновременно в раннеутреннем секторе развивалась суббуря на MLAT-широтах ~65°. Главная фаза бури характеризовалась интенсивной магнитосферной суббурей в послеполуночном секторе авроральных широт (BRW, COL), сильным восточным электроджетом и развитием положительных среднеширотных магнитных бухт. Подобная картина наблюдалась и во время ряда других умеренных магнитных бурь 25 цикла СА. Можно предположить, что именно умеренные магнитные бури будут преобладать и в ближайшем будущем. Исследование базировалось на планетарных картах ионосферных и продольных токов, построенных по данным магнитных измерений на 66 низкоорбитальных спутниках проекта AMPERE и измерениях высыпающихся электронов и ионов по данным спутников DMSP. Кроме того, рассмотрены наземные магнитные возмущения на скандинавском профиле IMAGE и сети среднеширотных станций ИЗМИРАН, расположенных в том же долготном секторе.

ЛИТЕРАТУРА

1.Ишков В.Н. Итоги и уроки 24 цикла – первого цикла второй эпохи пониженной солнечной активности // Астрономический журнал. Т. 99. № 1. С. 55-69. 2022. https://doi.org/10.31857/S0004629922020050

ГИТ ВО ВРЕМЯ СЛОЖНЫХ СОБЫТИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: ОТДЕЛЬНЫЕ СЛУЧАИ

Дэспирак И.В.[1], Сецко П.В.[1], Любчич А.А.[1], Сахаров Я.А.[1], Селиванов В.Н.[2]

[1] *ПГИ, г. Апатиты, Россия*

[2] *ЦЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

despirak@gmail.com

Проведен детальный анализ сложных событий космической погоды, наблюдавшихся 23–24 апреля 2023 года и 3-4 ноября 2021 года: явлений в солнечном ветре, анализа геомагнитной обстановки, развития интенсивных магнитных бурь и суббурь, появления интенсивных ГИТ на подстанциях Северо-Запада России. Используя прямые измерения ГИТ в нейтралях трансформаторов, расположенных в нескольких точках регистрации на Карело-Кольской линии электропередачи (Выходной, Лоухи, Кондопога) и на газопроводе в районе Мантсала (юг Финляндии), удается проследить меридиональный профиль появления интенсивных ГИТ на разных широтах. Развитие сильных возмущений в магнитном поле во время магнитных бурь, суббурь и суперсуббурь контролировалось по данным сетей магнитометров IMAGE и SuperMAG, данные по солнечному ветру и ММП были взяты из базы данных OMNI. Мы обнаружили, что GIC в предполуночном секторе вызваны началом и развитием суббури, тогда как GIC в утреннем секторе производятся геомагнитными пульсациями Ps 6, и предположительно могут быть связаны с омега-группами. Помимо пульсаций Ps6, в утреннем секторе сопоставимый по интенсивности ГИТ (~ 44 А) был связан с локальным суббуреподобным возмущением, вызванным структурой высокой плотности в солнечном ветре. А в дневном секторе интенсивные ГИТы наблюдались на станциях Кондопога и Выходной во время развития суперсуббури над Аляской, и это связано с характерной чертой развития суперсуббурь - усилением восточного электроджета.

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ВНЕЗАПНОГО НАЧАЛА МАГНИТНОЙ БУРИ ПО ДАННЫМ С СЕКУНДНЫМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

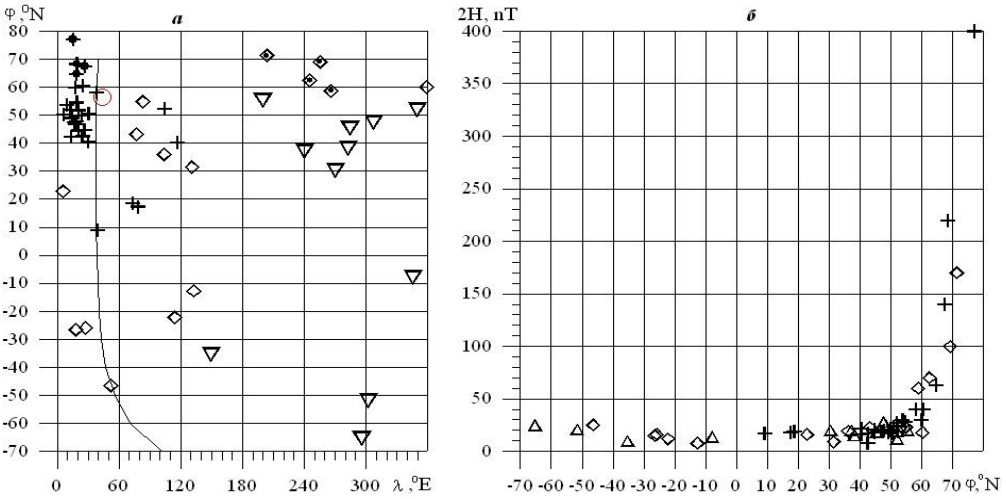
Ю.С. Загайнова[1,*], С.В. Громов[1], Л.И. Громова[1], В.Г. Файнштейн[2]
[1]Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Троицк
[2]Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск
**e-mail: yuliazag@izmiran.ru, yuliazagainova@mail.ru*

В работе обсуждаются особенности изучения внезапного начала магнитной бури по данным с секундным временным разрешением. Перечислены основные отличия при работе с данными с минутным и секундным временным разрешением. Предложен подход к определению моментов времени регистрации SC по данным с секундным временным разрешением. Сделан вывод, что время регистрации *SC* по данным с 1-сек временным разрешением может отличаться на время от нескольких секунд до более одной минуты на магнитных обсерваториях, расположенных на разных географических широтах и долготах.

ВОЗМУЩЕНИЯ МПЗ ПРИ РАБОТЕ СТЕНДА “СУРА”, А ТАКЖЕ ВО ВРЕМЯ ВСПЛЕСКА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Капустина О. В., Гайдук В. И.
ИЗМИРАН, Москва, РОССИЯ
olkap@izmiran.ru

Представлены результаты мониторинга магнитного поля Земли (МПЗ) на сети станций INTERMAGNET при работе стенда “Сура” 25.10.2010 в 20-22 UT. На рисунке слева показана сеть станций, на которых замечено изменение МПЗ, отличающееся от естественного, кружок – стенд “СУРА”, черные точки - станции, на которых двойная амплитуда колебаний более 50 нТл. Справа приведена зависимость двойной амплитуды сигнала от географической широты станции.



Ранее работы со стендом проводились Котиком (на расстояниях от источника до 20 км) [1] и Ружиным (ст. Карпогоры) (более 500 км) [2].

14.06.2012 в 18:00 UT обнаружены гармоники, связанные с солнечной активностью. Их периоды колебаний (~2-3 с) близки к PC5 [3].

Показано подобие временной формы возмущения H-компоненты в экспериментах на Земле и в космосе при наличии токовых струй [4].

Литература

1 *Котик Д.С., Рябов А.В., Ермакова Е.Н., Першин А.В., Иванов В.Н., Есин В.П.* Свойства УНЧ/ОНЧ сигналов, генерируемых стендом "СУРА" в верхней ионосфере // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2013. Т.56. № 6. С. 382-394.

2 *Ружин Ю.Я., Кузнецов В.Д., Пластинин Ю.А.* Эффекты, стимулированные излучением стенда СУРА по программе геофизических экспериментов на МКС в 2017 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2018. Т. 58. № 5. С. 630-637.

3 *Клейменова Н.Г.* Модель космоса // Геомагнитные пульсации. Т.1. М. Изд-во МГУ. 2007. С. 611-627.

4 *Mikhailov Yu.M., Oraevsky V.N., Sobolev Ya.P., Dokoukin V.S., Kapustina O.V., Shibaev I.G., Afonin V.V.* Waves generated in the vicinity of Xenon plasma gun in the APEX-experiment // Phys. Chem. Earth. 2000. Vol. 25. No. 1-2. P. 67-70.

КОМПЛЕКСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ ВО ВРЕМЯ ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ МАГНИТНОЙ БУРИ В НОЯБРЕ 2023 ГОДА

Ковалев А.А.[1], Белинская А.Ю.[1].
[1]ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия
kovalevaa@ipgg.sbras.ru

На Геофизической обсерватории лаборатории Солнечно-земной физики (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск) ведутся комплексные геофизические наблюдения за вариациями потока космических лучей, магнитного поля Земли и ионосферы. В докладе обсуждаются результаты этих наблюдений во время возмущений, возникших в околоземном пространстве после ряда событий на Солнце в ноябре 2023 года.

3 ноября 2023 года Солнце выбросило плазменное облако в сторону Земли, это событие было обнаружено космическими коронографами LASCO. Событие было определено, как слабая солнечная вспышка, уровень которой относится к низкому классу. Выброс рассматривался как штатный. Судя по скорости плазменного облака, приход к земле ожидался 6 ноября. В прогнозах мировых агентств значился как малая магнитная буря (G1). Прогнозы были даны не верно, так как 5 ноября произошла буря класса G3, которая оказалась наиболее сильной за прошедший год. На средних широтах Северного полушария наблюдались полярные сияния [1].

В Новосибирске были зарегистрированы: очень большая геомагнитная буря с постепенным началом, которая наблюдалась около 13 часов. Величина H изменилась на 275 нТл, D на 68° и Z на 380 нТл. Величина наблюдаемого в Новосибирске Форбуш-эффекта космических лучей составила для нуклонной компоненты 12%. В ионосфере наблюдались незначительные возмущения в момент максимума магнитной бури.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FWZZ-2022-0019).

Литература

1. Обзор космической погоды в период с 01.11.2023г. по 07.11.2023г. [Электронный ресурс]. URL: https://xras.ru/project_diary.html?post_id=2527 (дата обращения 13.03.2017)

ПРОГНОЗ ГЕОМАГНИТНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ НЕЛОКАЛЬНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

С.М. Коротаев[1], В.О. Сердюк[1], Е.О. Киктенко[1], И.В. Попова[1], Н.М. Буднев[2], Ю.В. Горохов[3]

[1]ЦГЭМИ ИФЗ РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
[2]ИПФ ИГУ, г. Иркутск, Россия
[3]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
korotaev@gemrc.ru

Согласно абсорбционной электродинамике, квантовые нелокальные корреляции между случайными диссипативными процессами имеют запаздывающую и опережающую компоненты. В макроскопической области, вследствие асимметрии эффективности поглощения запаздывающей и опережающей компонент поля Уилера-Фейнмана в среде, предсказанной Хойлом и Нарликаром, опережающая корреляция может превышать запаздывающую. При этом, благодаря диффузионному обмену запутыванием, результирующее запаздывание и опережение могут быть очень велики. В экспериментах по изучению нелокальных корреляций крупномасштабных случайных диссипативных процессов мы опирались на уравнение макроскопической запутанности, которое связывает производства энтропии в пробном процессе-детекторе и в процессе-источнике с положительным и отрицательным временными сдвигами. В 1995 г. на лабораторной установке в Троицке был начат первый долговременный эксперимент, задача которого заключалась в установлении корреляций между природными процессами-источниками и полностью изолированными от классических локальных воздействий пробными процессам в детекторах различных типов. С 2012 г. параллельно ведется аналогичный, но более широкий эксперимент на глубоководной установке на базе Байкальской нейтринной обсерватории. Число природных диссипативных процессов-источников, вызывающих заметный отклик детекторов, благодаря свойству моногамности квантовых корреляций, невелико. Доминирующим источником оказалась солнечная активность, более слабым, но хорошо выделяемым – геомагнитная активность. Во всех случаях опережающая компонента корреляции выше запаздывающей. Величина опережения глобального максимума корреляции в различные годы и по различным индексам активности находится в пределах от 1.5 до 11 месяцев (при уровне корреляции до 0.97). Это дает возможность прогноза случайных компонент вариаций. Вычислены длительные серии демонстрационных долгосрочных прогнозов геомагнитной активности (Dst-индекс) и солнечной активности (поток радиоизлучения) с точностью достаточной для всех практических целей.

ВАРИАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПОПЕРЕК МАГНИТНОГО ХВОСТА ЗЕМЛИ

Г.А. Котова, В.В. Безруких
ИКИ РАН, г. Москва, Россия
kotova@cosmos.ru

Одной из основных характеристик солнечного ветра, определяющих состояние магнитосферы и происходящие в ней катаклизмы, является давление солнечного ветра. Полное давление солнечного ветра, складывающееся из напорного или динамического давления потока солнечного ветра, теплового давления в этом потоке и давления магнитного поля, обычно на больших временных масштабах пропорционально плотности плазмы солнечного ветра. В результате взаимодействия солнечного ветра с геомагнитным полем формируется магнитный хвост магнитосферы. Очевидно, что давление поперек магнитного хвоста должно сохраняться и быть равным внешнему давлению солнечного ветра.

В конце 90-х годов прошлого века Дж. Боровский с соавторами [1] по данным спутника ISEE-2 обнаружили, что плотность плазмы в центральном плазменном слое Земли пропорциональна плотности солнечного ветра. При анализе зависимости различных параметров околоземного плазменного слоя от параметров солнечного ветра авторы также показали, что тепловое давление плазмы и полное давление в центральном плазменном слое определяются величиной напорного давления солнечного ветра. Эта последняя зависимость и условие баланса давлений на границе магнитосферы и внутри магнитного хвоста Земли позволяют получить связь между плотностью ионов плазменного слоя и плотностью набегающего потока солнечного ветра, которая повторяет полученную ранее пропорциональность этих величин. Таким образом, по величине плотности ионов солнечного ветра возможно предсказание крупномасштабных вариаций плотности плазменного слоя, знание которых важно для понимания изменений в околоземном кольцевом токовом слое, которые, в свою очередь, могут привести к развитию магнитных бурь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borovsky J. E., Thomsen M. F., Elphic R. C. The driving of the plasma sheet by the solar wind // J. Geophys. Res. V. 103. No. A8. P. 17617 –17639. 1998. https://doi.org/10.1029/97JA02986 .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА ВО ВРЕМЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ

Лаврухин А.С., Алексеев И.И.
НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия
lavrukhin@physics.msu.ru

Используя данные о положении приэкваториальной границы полярного овала, полученные со спутника IMAGE за 2000-2002 гг. и значения параметров солнечного ветра со спутника ACE и геомагнитных индексов SYM-H и AL во время магнитных бурь в этот период, мы строим модель экваториальной границы аврорального овала в зависимости от различных индексов. Результаты аппроксимации полученной зависимостью наблюдаемых широт экваториальной границы сравниваются с моделями аврорального овала [1] и [2].

Литература

1. Xiong, C. et al. An empirical model of the auroral oval derived from CHAMP field-aligned current signatures – Part 2 // Ann. Geophys., V. 32, P. 623–631, 2014.
2. Старков, Г. В., Математическое описание границ аврорального свечения // Геомагнетизм и аэрономия, Т. 34, № 3, С. 80-86, 1994.

ГЛОБАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И ИХ СВЯЗЬ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Любушин А.А.[1], Родионов Е.А.[1,2]

[1]Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, Россия

[2]Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, г. Москва, Россия

lyubushin@yandex.ru

Рассматриваются 3-компонентные записи напряженности магнитного поля с шагом по времени 1 минута на 153 станциях сети INTERMAGNET в течение 31 года, 1991-2021. Анализ данных основан на вычислении парных коэффициентов корреляции между вейвлет-коэффициентами в последовательных временных окнах длиной 1 сутки (1440 минутных отсчетов). Для описания состояния магнитного поля выбраны максимумы средних значений всех парных коэффициентов корреляции между станциями, вычисленные по всем уровням детальности вейвлет-разложения и по всем компонентам вектора напряженности магнитного поля. Ежесуточный временной ряд таких максимумов назван вейвлет-корреляцией. Рассматривается разбиение сети станций на 7 кластеров и для каждого кластера вычисляется временной ряд вейвлет-корреляций. В скользящем временном окне длиной 365 суток вычисляются корреляционные меры синхронизации вейвлет-корреляций из разных кластеров, которые сопоставляются с сильнейшими землетрясениями с магнитудой не ниже 8.5. Для глобального временного ряда вейвлет-корреляций методом матриц влияния исследуется связь максимальных откликов корреляций на изменение длины суток с последовательностью землетрясений с магнитудой не ниже 7. В результате анализа выделены предвестниковые эффекты, а также показана важная роль землетрясения Мауле в Чили 27.02.20210 в поведении отклика магнитного поля на подготовку сильных сейсмических событий.

Работа выполнена в рамках государственного задания FMWU-2022-0018 Института физики Земли РАН.

О ПРИРОДЕ ДНЕВНЫХ ВЫСОКОШИРОТНЫХ МАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Сафаргалеев В.В.

Санкт-Петербургский филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail:Vladimir.safargaleev@mail.ru

Дневные высокоширотные геофизические явления несут наземному наблюдателю информацию о процессах на дневной магнитопаузе и/или в примыкающих к ней магнитосферных доменах. Предполагается, что эти явления инициируются изменением параметров межпланетной среды и поэтому могут использоваться как инструмент для исследования способов проникновения энергии солнечного ветра через магнитопаузу. К таким явлениям относятся магнитные импульсы, представляющие собой изолированный цуг затухающих колебаний из 2-3 всплесков с периодом следования 8-12 минут. По данным скандинавской сети магнитометров IMAGE исследовано восемь событий магнитных импульсов, для которых спутники DMSP пролетали над областью наблюдений во время, незадолго до и сразу после импульса, пересекая при этом границы нескольких доменов. По наземным данным и данным спутников DMSP показано, что ассоциируемый с импульсами втекающий продольный ток располагается вдали от магнитопаузы. Это означает, что импульс не может рассматриваться как ионосферный след пересоединившейся силовой трубки (*flux transfer event*, FTE) и/или как *travelling convection vortices*, TCV. На бОльшей статистике установлено, что импульсу предшествуют заметные изменения By и Bz компонент ММП, в то время как вклад в генерацию импульса скачка давления и скорости солнечного ветра, а также Bx компоненты ММП, не очевиден. Обсуждается возможный сценарий инициации магнитного импульса вариациями ММП.

ПРИРОДА ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ВЕКОВОГО ХОДА, ОБНАРУЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Симонян А.О., Оганян М.В.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, г. Гюмри, Армения

anahit.iges@gmail.com

С целью выявления природы локальных аномалий векового хода геомагнитного поля, обнаруженных по временным сериям данных наблюдений модуля полного вектора геомагнитного поля (T) на станциях режимных наблюдений “Бавра” и “Гюлагарак”, действующих на территорию Армении, проанализированы геологическая и тектоническая структура, а также сейсмическая активность региона наблюдений. Изучение геологического строения показало, что в земной коре территории исследований залегают в основном вулканогенные лавы, образовавшиеся в разные геологические периоды и обладающие высокой остаточной намагниченностью. Сильная намагниченность пород создает благоприятную основу для формирования пьезомагнитного эффекта, регистрируемого в виде аномалий геомагнитных вариаций при изменении поля тектонических напряжений в литосфере Земли.

Территория геомагнитных исследований, находящаяся в Ашоцк-Джавахетской области Армянского вулканического нагорья, рассечена серией разломов кавказского и анти-кавказского направлений, обусловливающих высокую сейсмичность региона. Мозаичность блокового строения территории приводит к образованию сложной системы действующих тектонических напряжений. Оказалось, что станция “Бавра” находится в районе напряжений сжатия, тогда как в районе пункта “Гюлагарак” преобладают напряжения растяжения.

Комплексный анализ пространственно-временных особенностей геомагнитного поля и его вековых вариаций в свете обнаруженных особенностей геологической и тектонической структуры земной коры терртории исследований, а также сейсмической активности региона, позволил выявить, что локальная аномалия векового хода, обнаруженная по данным станции “Бавра” за период исследований, вызвана сейсмической активностью региона и имеет пьезомагнитную природу. Несмотря на небольшую величину, аномалия, выделенная по данным станции “Гюлагарак”, по характеру проявления соответствует полю тектонических напряжений растяжения, действующих в районе пункта наблюдений, и ее тоже следует интерпретировать как проявление пьезомагнитного эффекта. При этом учитывается также, что эффект обнаруживается в пункте с умеренными значениями остаточной намагниченности залегающих горных пород, который к тому же, находится на большом эпицентральном расстоянии.

ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТНИТНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКИХ НЕДР ПЛАНЕТ

С. В. Старченко, А. Ю. Смирнов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук

sstarchenko@mail.ru

Численно исследованы суммарная кинетическая и магнитная энергии планеты, представленные далее среднеквадратичным магнитным полем b и среднеквадратичной скоростью u посредством интегральной системы

$$u\mathrm{d}u/\mathrm{d}t = A - Aub^2 - u^2,\ b\mathrm{d}b/\mathrm{d}t = ub^2 - b^2. \qquad (1, 2)$$

Здесь A – типичное отношение суммарной магнитной энергии к суммарной кинетической энергии. Время измеряется временем магнитной диффузии T, которое совпадает со временем вязкой диффузии, поскольку считаем, что система находится в состоянии развитой турбулентности. В качестве пространственного масштаба L выбирается масштаб магнитного поля, поделенный на типичный синус угла между магнитным полем и скоростью. Это позволяет исключить L из безразмерной системы (1-2) при ее выводе. Магнитное поле (после деления на корень из произведения плотности на магнитную проницаемость) измеряется в единицах скорости L/T и фактически выражается через мощность работы силы Архимеда.

Получено что, вне зависимости от начальных условий, среднеквадратическое магнитное поле и скорость стремятся к устойчивым стационарным точкам u=1 и b^2=1–1/A. По отношению к начальным условиям это может выглядеть и как усиление, и как ослабление.

В геодинамо системе $A \approx 10^4$, что позволяет постулировать A>>1 для геодинамо подобной системы. При этом физически обосновываем известные характерные гармонические вариации с периодами около нескольких десятилетий и экспоненциальные времена порядка нескольких месяцев, которые дают минимальное характерное время системы и возможно, как-то соотносятся с джерками.

Обсуждаются приложения к Юпитеру и Сатурну, для которых можно оценить (и даже точнее, чем для Земли) определяющую мощность работы силы плавучести Архимеда. Также в этих планетах доступны для оценок магнитные вариации посредством сравнения различных спутниковых миссий туда. Менее точно, но удовлетворительно можно оценить мощность плавучести и поле в недрах Урана, Нептуна и Меркурия.

В окрестностях частично устойчивой стационарной точки b=0 и u^2=A системы (1-2) возможно катастрофическое уменьшение всей магнитной энергии практически до нуля. Такое событие может быть намного более разрушительно по сравнению с известными инверсиями/экскурсами, связанными лишь с относительно малой дипольной составляющей.

ДИПОЛЬНАЯ И НЕДИПОЛЬНАЯ ГЕОМАГНИТНАЯ ЭНЕРГИЯ: СТАТИСТИКА И ЭВОЛЮЦИЯ С 1840г.

С. В. Старченко, С. В. Яковлева

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук

sstarchenko@mail.ru

Проведено эволюционное (с 1840г.) и статистическое исследование энергии, мощности и характерных частот дипольной и недипольной составляющих потенциального геомагнитного поля. Дипольная энергия убывает достаточно медленно и монотонно, тогда как недипольная энергия изменяется быстрее и квазипериодически. Характерные времена диполя и всего поля составляют около тысячи лет. Времена недипольной части поля составляют порядка сотен лет и ранее не были выявлены. Исследованы полная энергия E, ее дипольная E1, недипольная E-E1, суммарная квадрупольная и октупольная E2+E3 части. Производные по времени от всех этих энергий соответственно задают мощности (P, P1, P2, P3), а отношения мощностей к энергиям – частоты (S, S1, S2, S3).

Среднеквадратическое значение RMS составляет 7,0 ЭДж для E и близко к среднему арифметическому, медианному и наиболее вероятному с небольшим стандартным отклонением Q = 0,3 ЭДж. E1 характеризуется сходными статистическими параметрами и монотонным профилем кумулятивной функции, совпадающим с эволюцией. P и P1 с близкими профилями и RMS~200 МВт согласуются друг с другом еще лучше. Среднеквадратические значения, полученные для S и S1, таковы, что соответствуют характерному времени около тысячи лет. Таким образом, по поведению дипольной компоненты можно оценивать глобальное поле, что весьма положительно для палеомагнитных реконструкций.

Хуже обстоит дело со всей недипольной энергией E-E1. Ее поведение нельзя уверенно оценить по наиболее доступному палеомагнитологам E2+E3. В нашем исследовании для E2+E3 характерно RMS=0,6 ЭДж, что почти в 3 раза меньше, чем для E-E1. Профили кумулятивных функций также существенно различаются, а для полной недипольной мощности P2= d(E-E1)/dt Q=220 МВт, что в два раза превышает среднеквадратичное значение для P3=d(E2+E3)/dt. Мощности диполя и всего поля близки к мощности недипольного поля. При этом Q велико (~200 МВт) для всей P и ее части P3, но в несколько раз меньше для P1 и P2.

Проявления недипольной составляющей энергии поля (как E-E1, так и E2+E3) можно идентифицировать по собственным частотам S2 и S3, которые примерно в четыре раза превышают частоты дипольной составляющей. Соответственно, характерное время для глобальных недипольных компонент составляет порядка 250 лет.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО РАЗРЫВА СКОРОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА КАК ИСТОЧНИК ВЕРТИКАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В АТМОСФЕРЕ И Pc5 ГЕОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Сурков В.В.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
vsurkov@izmiran.ru, surkovvadim@yandex.ru

После некоторых сильных землетрясений синхронно наблюдались продолжительные возмущения (около одного часа) приземного атмосферного давления и геомагнитного поля на частотах 3.5–4.0 мГц [1]. Предполагалось, что этот эффект связан с распространением атмосферных акустико-гравитационных волн (АГВ), возбуждаемых вследствие вибраций земной поверхности. При некоторых метеорологических условиях в атмосфере возможно появление вертикального акустического резонанса (ВАР) вследствие интерференции между поднимающейся вверх и отражённой от термосферы волн. Проникновение АГВ из атмосферы в нижнюю ионосферу сопровождается движениями нейтрального газа, которые захватывают ионосферную плазму, что приводит к возбуждению токов и геомагнитных возмущений на резонансных частотах [2].

В данной работе предлагается иной физический механизм данного явления, связанный с возбуждением ВАР вследствие тангенциальной неустойчивости горизонтального ветрового потока вблизи нижней границы термосферы. На основе упрощённой плоскослоистой модели атмосферы и ионосферы получено дисперсионное уравнение ВАР и рассчитан инкремент тангенциальной неустойчивости. Расчёты показали, что при некоторых значениях горизонтального волнового числа резонансная частота основной моды ВАР близка к частоте, при которой развивается неустойчивость. Таким образом, источник рассматриваемого эффекта может располагаться в верхней атмосфере, а не на поверхности земли. В данном случае атмосферная волна, генерируемая землетрясением, играет роль триггера, возбуждающего тангенциальную неустойчивость скорости ветрового потока. Это позволяют предположить, что при некоторых метеорологических условиях геомагнитные вариации Pc5 могут генерироваться АГВ, возникающей в верхней атмосфере и ионосфере.

Литература

1. Iyemori T. et al. Barometric and magnetic observations of vertical acoustic resonance and resultant generation of field-aligned current associated with earthquakes // Earth Planets Space. V. 65. P. 901–909. 2013.
2. Surkov V.V. et al. Geomagnetic effect of the atmospheric acoustic resonance excited by earthquakes and volcano eruptions // J. Geophys. Res. Space Phys. V. 128. No. 10. e2023JA031872. 2023.

Секция 5
«Вариации потоков частиц в гелиосфере»

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОСАДКАХ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ ПРИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ И БЕЗ

Балабин Ю.В, Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б.
Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
balabin@pgia.ru

Летом 2023 г. в течение двух месяцев проводился мониторинг спектров гамма-излучения в средних широтах. Использовался созданный в ПГИ портативный спектрометр гамма-излучения на диапазон 0.1-4 МэВ. За основу был взят стационарный спектрометр гамма-излучения, несколько лет работающий в Апатитах. Назначение спектрометра: измерение дифференциальных спектров в событиях возрастания потока гамма-излучения, вызываемых осадками, в экспедициях. Запись спектров, а также сопутствующей информации об окружающей среде и параметрах работы аппаратуры производится на съемную флэш-память. Помимо спектров формируется насколько интегральных выходных каналов: >200, >500 и >1000 кэВ, по которым можно контролировать профиль потоков и наблюдать возрастания.

Во время поездки в летний период портативный спектрометр был установлен в ст. Тацинской Ростовской области. Зарегистрировано несколько возрастания гамма-излучения во время гроз, а также ливней без гроз, измерен спектр излучения. Проведение в течение двух месяцев спектральных измерений в ст. Тацинской позволило сравнить спектры событий в двух различных климатических регионах: в Заполярье (Апатиты) и в степной зоне России (Ростовская область).

Проведены сравнение и анализ со спектрами во время возрастаний в Апатитах. Дополнительный поток излучения, вызывающий возрастание, в Апатитах и Тацинской имеет один и тот же верхний энергетический предел ~2.5 МэВ. Зарегистрировано несколько событий «сухих» гроз, которые типичны для степных регионов: грозовая активность высокая, фиксируются десятки молний непосредственно в облаках над местом наблюдения, однако, осадков не выпадает. Во время «сухих» гроз не происходит возрастания гамма-излучения и спектры излучения также не меняются по сравнению с измеренными за 8-2 часа перед грозой. Из чего следует, что непосредственно грозовая активность и сильные электрические поля не обеспечивают возрастание гамма-излучения. Возрастания вызываются осадками, хотя линии радионуклидов при осадках, как следует из спектральных измерений, усиливаются незначительно. Данный результат указывает на то, что возрастание гамма-излучения вызывается неким пока неясным механизмом, не связанным ни с радионуклидами в осадках, ни с электрическими полями в облаках.

НАБЛЮДЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В МАРТЕ 2024 ПАРАМИ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ И МЮОННЫХ ТЕЛЕСКОПОВ

Балабин Ю.В, Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б.
Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Россия
balabin@pgia.ru

В Апатитах и Баренцбурге (арх. Шпицберген) установлены одинаковые детекторы космических лучей: нейтронные мониторы 18-НМ-64 и мюонные телескопы. Нейтронные мониторы имеют значительно различающиеся асимптотическое конусы приема. Асимптотический конус приема Апатитов представляет собой длинную дугу (до 90 градусов по широте), протягивающуюся от Индийского океана до средних широт России. Асимптотический конус приема Баренцбурга в силу особенностей строения магнитосферы большую часть времени занимает область в полярной шапке в пределах 20-30 градусов. Мюонные телескопы принимают потоки частиц из области на небесной сфере, близкой по положению и размеру геометрическому полю зрения телескопа.

Важное значение имеют вариации отношения темпов счета одинаковых приборов на двух станциях. После внесения барометрических и температурных поправок в данные приборов отношения темпов счета являются характеристикой анизотропии космических лучей. В марте 2024 года произошли два форбуш-понижения, отмеченные на нейтронных мониторах: 4 и 24 марта, связанные со вспышками на Солнце. Достигшие Земли выбросы масс с Солнца вызвали оба раза средние по силе магнитные бури. Показания двух разных приборов и отношение их темпов счета показывают, что эти два форбуш-эффекта значительно различаются не только по амплитуде, но и по вызванной ими анизотропии потока космических лучей. Проведен анализ этой пары событий.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Абунина М.А., Белов А.В.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
abunina@izmiran.ru

Говоря о космической погоде, обычно имеется в виду радиация и электромагнитные условия в околоземном пространстве. Вариации космических лучей непосредственно определяют радиационную обстановку. И они также связаны с вариациями электромагнитной обстановки в межпланетном пространстве и магнитосфере Земли. Это делает вариации космических лучей одним из важных ресурсов для проверки состояния космической погоды и прогнозирования ее изменений.

ПРОГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ТЕКУЩЕЕ СТОЛЕТИЕ

Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Белов А.В., Гущина Р.Т., Янке В.Г.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
kosmos061986@yandex.ru

Для диагностики и прогноза состояния гелиосферы, а также космической погоды и климата необходимы знания временных изменений потока космических лучей на орбите Земли и на Земле.

Целью работы является прогнозирование потока космических лучей на ближайшее столетие на основании ретроспективных данных о связи модуляции галактических космических лучей с характеристиками солнечной активности.

Для долговременного прогноза строилась однопараметрическая модель вариаций космических лучей на основе единственного прогнозируемого на столь далекую перспективу параметра солнечной активности – числа солнечных пятен.

Исходя из анализа десятка независимых моделей поведения солнечной активности был получен климатический прогноз потока космических лучей на ближайшее столетие.

Проведенный анализ позволяет предположить, что, вопреки более ранним прогнозам, вероятность большого солнечного минимума в конце 21 века невелика. Минимум, сравнимый с минимумом Дальтона, в окрестностях 2100 года не просматривается. Это показывают все опубликованные и рассмотренные нами прогнозы солнечной активности. Ожидается почти двукратное повышение солнечной активности к середине века с возвращением приблизительно к текущему уровню в конце века. На орбите Земли к середине века ожидается пониженный поток космического излучения.

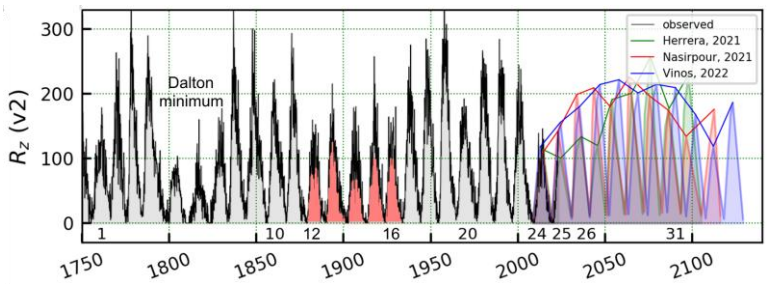


Рис. 1 Наблюдаемый и прогнозируемый индекс солнечной активности по данным нескольких авторов.

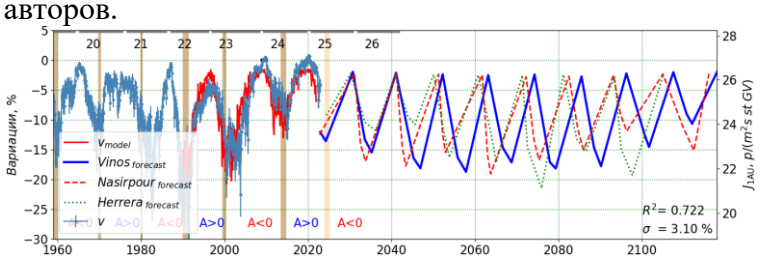


Рис. 2 Ожидаемые вариации космических лучей (левая шкала) в текущем столетии и соответствующие им интенсивности космических лучей 10 ГВ на орбите Земли (правая шкала)

ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ РАЗРЫВОВ В ПРЕДФРОНТЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАДТЕПЛОВЫХ ЧАСТИЦ ВБЛИЗИ ФРОНТА ГОЛОВНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЗЕМЛИ

Кропотина Ю.А.[1,2], Быков А.М.[1]
[1]*ФТИ им. А.Ф. Иоффе*
[2]*СПбПУ*
juliett.k@gmail.com

Исследовано влияние вращательных разрывов в предфронте головной ударной волны Земли на распределение надтепловых ионов, ускоряющихся по механизму Ферми 1 порядка. Показано, что в случае прохождения хотя бы одного вращательного разрыва через ударную волну максимальная энергия частиц и нормировка надтепловой части спектра возрастают. При этом разрыв влияет и на пространственное распределение надтепловых частиц, ограничивая их распространение в область перед фронтом, что также видно из наблюдений спутника MMS [1,2].

Для оценки влияния разрывов на ускорение частиц были проанализированы траектории индивидуальных частиц, изначально имевших ту же энергию, что и остальные частицы перед фронтом, а затем инжектированных в процесс ускорения Ферми 1 порядка. Оказалось, что 30-50 процентов частиц захватываются вращательным разрывом и сносятся к фронту. Поскольку эффективность механизма Ферми 1 порядка определяется частотой рассеяний, а также вероятностью ухода частицы в область далеко перед фронтом, наличие вращательных разрывов в предфронте приводит к более эффективному ускорению. В момент захвата разрывом или отражения от него происходит прирост энергии частицы, в то время как пересечение разрыва не приводит к изменению энергии.

Концентрация надтепловых частиц на разрыве падает скачком, что также указывает на их эффективное удержание между разрывом и фронтом. Таким образом, в момент прохождения разрыва в локальной окрестности головной ударной волны Земли может повышаться содержание высокоэнергичных ионов.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №21-72-20020). Моделирование проводилось с использованием ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН и суперкомпьютерного центра Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (scc.spbstu.ru).

Литература

1. Kropotina J.A. et al. Interaction of rotational discontinuities with energetic ions in the precursor of the Earth's bow shock // Journal of Physics Conference Series. №2103(1). article id 012015. 2021.
2. Kropotina J.A. et al. Solar Wind Discontinuity Transformation at the Bow Shock // ApJ. V. 913. №2. P. 142. 2021.

ВОЗРАСТАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗМУЩЕНИЯМИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Крякунова О.Н.[1,2*], Сейфуллина Б.Б.[1], Белов А.В.[3], Абунина М.А.[3], Абунин А.А.[3], Цепакина И.Л.[1], Николаевский Н.Ф.[1], Шлык Н.С[3], Кутушев Р.В.[1]

[1]*Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан*
[2]*ФИАН, г. Москва, Россия*
[3]*ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*
* krolganik@yandex.ru

Возрастания высокоэнергичных магнитосферных электронов с энергией >2 МэВ на геостационарной орбите связаны с приходом к Земле возмущений из межпланетного пространства. Межпланетные возмущения могут быть обусловлены приходом к Земле высокоскоростных потоков солнечного ветра из корональных дыр, корональных выбросов масс от солнечных вспышек и исчезновений волокон, а также возмущений от смешанных солнечных источников. Для всех событий электронных возрастаний, в которых суточных флюенс магнитосферных электронов превышал 10^8 электронов·см$^{-2}$·стер$^{-1}$·день$^{-1}$ определены солнечные источники возмущений в 1995-2023 гг. Построено распределение событий возрастаний электронов в зависимости от солнечных источников. Показано, что подавляющее большинство электронных возрастаний связано с приходом к Земле высокоскоростных потоков солнечного ветра из корональных дыр. Для событий электронных возрастаний Методом Глобальной Съемки (GSM) рассчитаны плотность и векторная анизотропия галактических космических лучей. Рассмотрены примеры таких событий, характерные для разных классов солнечных источников.

Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP19678078, BR20280979, BR21881941).

ФУНКЦИИ СБОРА, ОТКЛИКА И СВЯЗИ МЮОННОГО ГОДОСКОПА УРАГАН

Кузьменкова П.С., Сухова П.А., Астапов И.И.
[1]*НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия*
pskuzmenkova@mephi.ru

Функции связи, сбора и отклика в совокупности с инструментами теории метеорологических эффектов позволяют сопоставить наземные наблюдения вариаций космических лучей с модуляциями спектра первичного излучения [1].

В работе представлены результаты расчета функций сбора мюонного годоскопа УРАГАН [2] для первичных протонов и ядер гелия. Функции сбора верифицированы по суточным измерениям спектра первичных космических лучей в экспериментах AMS-02 и CALET с учетом вклада тяжелых ядер согласно масштабированию, предложенному в работе [3]. Для этого выполнялось сравнение ожидаемых и наблюдаемых скоростей счета с использованием двух способов коррекции на атмосферные эффекты: методом барометрических и дифференциальных температурных коэффициентов [4] и методом главных компонент [5]. Коэффициенты корреляции между ожидаемой и наблюдаемыми скоростями счета составили 0.67 и 0.82 соответственно. Важно при этом отметить, что ожидаемые амплитуды Форбуш-эффектов и 11-летний тренд совпадают для всех способов коррекции, а несовпадения связаны с неучтенными атмосферными эффектами.

Определены функции отклика и связи для различного состава первичных космических лучей, что позволило оценить вклад гелия и тяжелых ядер в скорость счета и рассчитать эффективные жесткости детектора. Показано, что вклад гелия в скорость счета мюонного годоскопа составляет 19%, а тяжелых ядер – 10%.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №20-72-10170).

Литература

1. Belov A. et al. The global survey method applied to ground-level cosmic ray measurements // Solar Physics. V. 293. P. 1-23. 2018.
2. Barbashina N. S. et al. The URAGAN wide-aperture large-area muon hodoscope // Instruments and Experimental Techniques. V. 51. P.180-186. 2008
3. Koldobskiy S. A. et al. Validation of the neutron monitor yield function using data from AMS-02 experiment, 2011–2017 //Journal of Geophysical Research: Space Physics. V. 124. I. 4. P. 2367-2379. 2019.
4. Dmitrieva A. N. et al. Corrections for temperature effect for ground-based muon hodoscopes //Astroparticle Physics. V. 34. I. 6. P. 401-411. 2011.
5. Savić M. et al. A novel method for atmospheric correction of cosmic-ray data based on principal component analysis //Astroparticle Physics. V. 109. P. 1-11. 2019.

КАЛИБРОВКА НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Лагойда И.А.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия
IALagoida@mephi.ru

Несмотря на появление большого количества орбитальных спутников, ведущих измерения потоков частиц космических лучей (КЛ), нейтронные мониторы уже более 60 лет остаются одним из главных, стабильных инструментов для изучения характеристик КЛ. Научная аппаратура, расположенная на поверхности Земли, регистрирует вторичные частицы КЛ, образовавшиеся после взаимодействия первичных КЛ с земной атмосферой. Вследствие чего, нейтронные мониторы менее чувствительны к различным эффектам в потоках КЛ, особенно в низкоэнергетической компоненте ($R \leq 5$ ГВ). Однако, нейтронные мониторы не подвержены радиационному износу и незаменимы в изучении долгосрочных трендов. На сегодняшний день на поверхности Земли ведут измерения несколько десятков нейтронных мониторов, более 10 из которых находятся в России. В работе представлена процедура калибровки нейтронных мониторов, основанная на данных о потоках космических протонов и ядер гелия [1], зарегистрированных спектрометром AMS-02 в период с 2011 по 2019 г. Изучены возможности ее использования для восстановления дневных значений потоков космических лучей, в том числе во время Форбуш понижений.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Фундаментальные и прикладные исследования космических лучей» № FSWU-2023-0068, при частичной поддержке РНФ (грант №20-72-10170-П).

Литература

1. Aguilar M. et al. Periodicities in the daily proton fluxes from 2011 to 2019 measured by the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station from 1 to 100 GV // Physical review letters V. 127. I. 27. P. 271102. 2022.

МЕТОД АНАЛИЗА ДАННЫХ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СЕТИ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

Мандрикова О.В.[1], Мандрикова Б.С.[1]

[1]*ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край, Россия*

oksanam1@mail.ru

Представлен новый метод анализа данных вариаций интенсивности космических лучей по измерениям наземных станций нейтронных мониторов (www.nmdb.eu). Рассматривается задача обнаружения Форбуш-эффектов и оценки их параметров, реализуемая в масштабе реального времени [1, 2]. Метод основан на комбинации классических статистических методов с современными подходами, включающими элементы машинного обучения и цифровой обработки сигналов. На основе метода выполнен анализ вариаций космических лучей совместно с параметрами околоземной и межпланетной среды в периоды слабых и сильных магнитных бурь 2017-2023 гг. (рис. 1). Приведены результаты обнаружения аномальных изменений в скорости прихода галактических космических лучей на Землю, полученные по данным сети станций нейтронных мониторов, и наблюдаемые накануне и в периоды магнитных бурь разной физической природы. Показана эффективность метода для обнаружения малых Форбуш-эффектов. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

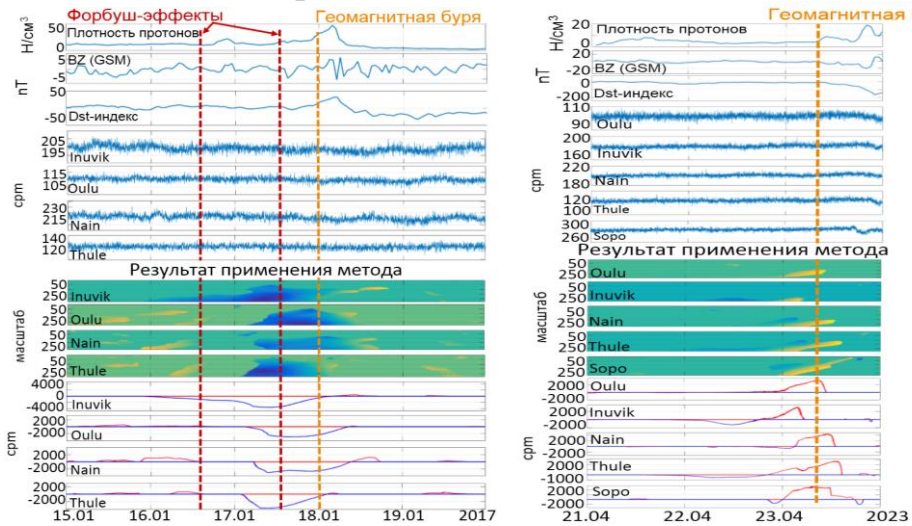


Рисунок 1

Литература

1. Mandrikova O., Mandrikova B. Method of Wavelet-Decomposition to Research Cosmic Ray Variations: Application in Space Weather // Special Issue Cosmic Rays: From Fundamental Symmetry Tests to Civil Applications. Symmetry 13. 2313. 2021.
2. Mandrikova O., Mandrikova B. Hybrid Method for Detecting Anomalies in Cosmic ray Variations Using Neural Networks Autoencoder // Special Issue Cosmic Rays: From Fundamental Symmetry Tests to Civil Applications. Symmetry 14. 744. 2022.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРОТОНАМИ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Маурчев Е.А., Шлык Н.С., Абунина М.А., Диденко К.А., Абунин А.А., Белов А.В.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

maurchev@izmiran.ru

В работе рассматривается моделирование прохождения протонов солнечных космических лучей с энергией >10 МэВ через атмосферу Земли с использованием модели RUSCOSMICS. Для этого были выбраны несколько событий SEP с достаточно большими потоками протонов (P_{10} >100 pfu), поскольку именно при таких значениях может наблюдаться значительный вклад в оставленную частицами энергию в атмосфере (~ 30 – 100 км). Также в работе получены спектры первичных протонов из дифференциальных каналов спутника GOES, которые используются в качестве энергетической характеристики модельного генератора первичных частиц. Приводятся профили скорости ионизации для большого диапазона высот (0 – 100 км). Показано влияние значения жесткости геомагнитного обрезания на эти профили. В случае наличия хорошей прогностической модели протонных возрастаний представленная в работе методика может быть использована для предупредительной оценки влияния протонов на атмосферу высоких широт и объектов в ней.

СОЛНЕЧНОЕ СОБЫТИЕ 23 МАРТА 2024 ГОДА

Петрухин А.А., Мишутина Ю.Н., Шутенко В.В.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия
AAPetrukhin@mephi.ru

У этого события две необычные характеристики: 1) практически одновременное формирование двух вспышек на Солнце; 2) очень большое форбуш понижение, вызванное этим событием. При анализе данных по потоку мюонов, зарегистрированных мюонным годоскопом УРАГАН, был обнаружен небольшой «пик» в 1:41 UT, который совпал с максимумом развития вспышки в 1:33 UT с учетом времени прохождения релятивистских частиц от Солнца до Земли. Рассмотрение мюонограмм этого события показало, что избыток мюонов с одного и того же направления сохраняется, вначале возрастая, а затем убывая, в течение 6 минут. Обсуждается возможность отнесения этого события к GLE 74.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЙ ОТ МОДЕЛЕЙ ВИНТОВОГО ПОЛЯ В МАГНИТНЫХ ОБЛАКАХ

Петухова А.С., Петухов И.С., Петухов С.И.
ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия
i_van@ikfia.ysn.ru

Представлены результаты расчета характеристик форбуш-понижения (ФП), сформированного электромагнитным механизмом в магнитном облаке (МО), в зависимости от моделей винтового поля. Результаты сопоставлены с характеристиками ФП, полученными в базовой модели, в которой МО представлено крупномасштабной петлей, соединенной обоими концами с Солнцем и полностью заполненной винтовым полем. Представлены модифицированные модели: 1) МО не связанное с Солнцем; 2) МО с уменьшенной закрученностью; 3) МО с выпрямленным полем в областях связывающих облако с Солнцем. Проведенные расчеты показали зависимость характеристик ФП от свойств моделей магнитного поля.

В моделях МО соединенного с Солнцем:

1) при уменьшении закрученности винтового поля в МО амплитуда ФП увеличивается;

2) при уменьшении части МО, занятого винтовым полем, амплитуда ФП увеличивается;

В моделях МО не соединенных с Солнцем:

3) амплитуда ФП уменьшается. Эффект более заметен в низких энергиях;

4) усиливается зависимость амплитуды ФП от траектории пересечения МО: при удалении от лобовой области МО амплитуда ФП умеьшается.

Результаты расчета могут быть использованы при интерпретации наблюдаемых характеристик ФП в МО.

Работа проводится при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FWRS-2021-0012).

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ

Петухова А.С., Петухов И.С., Петухов С.И., Готовцев И.С.
ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия
aspetukhova@mail.ru

Предложена модель для описания стадии восстановления спорадических форбуш-понижений, в которой существенную роль выполняет геометрия крупномасштабного магнитного поля. Установлена зависимость длительности восстановления форбуш-понижения от долготного размера возмущения, градиента скорости потока солнечного ветра и гелиодолготы источника выброса. Относительный вклад разных причин в длительность восстановления меняется от события к событию и зависит от значений параметров. Модельная длительность восстановления форбуш-понижения соответствует измерениям. Модель объясняет восточно-западную асимметрию длительности (амплитуды и времена восстановления восточных форбуш-понижений больше, чем в западных), наблюдаемую в измерениях. Анализ наблюдаемых форбуш-понижений с использованием модели показывает ее адекватность. Модель может быть применена для определения долготного размера межпланетного выброса корональной массы (трудноопределимый параметр) с использованием наблюдаемых параметров: длительности восстановления форбуш-понижения, градиента скорости солнечного ветра и гелиодолготы источника выброса корональной массы.

Работа проводится при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FWRS-2021-0012).

О ПРОГНОЗЕ МОДУЛЯЦИИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В 25 ЦИКЛЕ АКТИВНОСТИ

Струминский А.Б.[1], Белов А.В.[2], Гущина Р.Т.[2], Янке В.Г.[2], Григорьева И.Ю.[3]

[1]ИКИ РАН, г. Москва, Россия

[2]ИЗМИРАН, Троицк, г. Москва, Россия

[3]ГАО РАН, Пулково, г. Санкт-Петербург, Россия

astrum@cosmos.ru

Различие модуляции галактических космических лучей (ГКЛ) на фазе спада в четных и нечетных солнечных циклах, связанное с дрейфовым механизмом распространения их в магнитном поле гелиосферы разного знака (A>0 или A<0), хорошо известно [1]. Дрейфовый механизм уменьшает модуляцию в четных циклах (A>0) и увеличивает ее в нечетных циклах (A<0). Величина этого эффекта зависит от модуля глобального магнитного поля Солнца, *proxy* которого мы считаем полярное магнитное поле (B_{pole}). Модуляции ГКЛ в 25-ом цикле рассматривалась на основе много параметрической регрессионной модели в работе [2] .

Наблюдения [3] позволяют качественно предсказать модуляцию ГКЛ на фазе спада 25 цикла и в минимуме 25-26. Общий тренд в модуляции ГКЛ будет аналогичен тому, что наблюдался в 19, 21 и 23 циклах (плато и резкое уменьшение). Отметим, что на фазе роста в нечетных циклах вклад в модуляцию (>5%) относительно общего тренда дают корональные выбросы массы (CME) и приэкваториальные корональные дыры (LCH). Интенсивность ГКЛ в минимуме 25-26 будет зависеть от максимальной величины B_{pole}. Если не произойдет роста B_{pole} , как в это было в минимуме 21-22, то она которая ожидается сопоставимой с наблюдавшейся в минимумах 23-24 и 24-25. Однако предсказание B_{pole} на фазе спада пятенного цикла активности является не решенной задачей Солнечного динамо.

Литература

1. Rankin, J.S. et al., Galactic cosmic rays throughout the heliosphere and in the very local interstellar medium, *Space Sci. Rev.*, vol. 218, p. 42, 2022. https://doi.org/10.1007/s11214-022-00912-4

2. Yanke V.G. et al., Forecast of Modulation of Cosmic Rays with Rigidity of 10 GV in the 25th Solar Activity Cycle // G&A, Vol. 64, No. 2, pp. 201–210. 2024. DOI: 10.1134/S0016793223601072

3. Струминский А.Б. и др., Об изменениях фазы вариаций галактических космических лучей в 21-25 циклах солнечной активности // Тезисы 19-ой конференции «Физика плазмы в Солнечной системе», 5-9 февраля 2024 года, ИКИ РАН, Москва. Стр. 148.

Секция 6
«Вариации климата»

ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ

Бикташ Л.З.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
lilia_biktash@mail.ru

В работе [1,2] нами было показано, что циклические вариации глобальной температуры связаны с солнечной активностью и объясняются механизмом действия потока полной солнечной радиации на атмосферу Земли, модулируемой галактическими космическими лучами, потоки которых регулируются гелиосферным токовым слоем. Кроме того, мощные вулканические извержения способны понизить глобальную температуру на 1–2 года, без нарушения ее цикличности. В отсутствие трендов в космофизических факторах, процесс постепенного роста средней годовой температуры Земли в 21–24-м циклах солнечной активности объясняется антропогенным агентом. Следует отметить, что в настоящее время воздействие вулканов практически не учитывается в большинстве климатических моделей, хотя на Земле находится более 1350 потенциально активных вулканов и реально наблюдаются понижения глобальной температуры при их извержениях. Однако, в [3] с помощью математического моделирования и включения эруптивный шлейфа вулкана в модель, удалось показать влияние вулканических аэрозолей на климат. Их результаты показали, что существующие прогнозы изменения климата преуменьшают значимость вулканических извержений и что вулканы своими выбросами S02 смогут компенсировать от 2,1 до 18,2 процента антропогенного воздействия на климатические показатели.

В предлагаемой работе мы рассмотрели вулканические извержениях аэрозолей в стратосферу за период 2006-2023 гг. Из приведенных вариаций глобальной температуры в циклах солнечной активности, можно сделать вывод о том, что в земной атмосфере происходят сложные конкурирующие процессы: в них вовлечены солнечная активность, вулканические извержения, парниковые газы и многие другие явления, к которым можно отнести метеорные аэрозоли, космические лучи, озоновый слой. Вулканические долгоживущие аэрозоли, особенно стратосферные, приводят к значительным и длительным понижениям глобальной температуры и препятствуют глобальному потеплению.

Литература

1. Biktash L.Z. Long-term global temperature variations under total solar irradiance, cosmic rays, and volcanic activity. J. of Advanced Research. 8, p. 329-332. 2017.
2. Бикташ Л. З. Влияние потока полной солнечной радиации на климат земли. Геомагнетизм и аэрономия, 2019, том 59, № 3, с. 393–399 393. 2019.
3. Chim M.M. et al. Climate Projections Very Likely Underestimate Future Volcanic Forcing and Its Climatic Effects. Geophys. Research Letter. 50, 12 p. 1-10. 2023.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗИМНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Диденко К.А.[1,2], Лифарь В.Д.[1], Коваль А.В.[1], Ермакова Т.С.[1,3]
[1]СПбГУ, г. Санкт-Петербург – Петродворец, Россия
[2]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
[3]РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия
didenko@izmiran.ru

Изучено влияние квазидвухлетнего колебания зонального ветра в экваториальной стратосфере (КДК) и Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) на динамическое состояние стратосферы в зимний период и формирование внезапного стратосферного потепления (ВСП). Был проведен ряд численных экспериментов с помощью нелинейной Модели общей циркуляции средней и верхней атмосферы «МСВА» для условий зимы Северного полушария (январь–февраль) позволивший оценить чувствительность полей зонального ветра, температуры и геопотенциальной высоты к учету в модели определенной фазы ЭНЮК и КДК. В зависимости от комбинации фаз, статистика наблюдаемых ВСП и их эволюция различаются. Например, наибольшее количество ВСП наблюдается при комбинации Эль-Ниньо, восточная фаза КДК, а при комбинации Ла-Нинья, западная фаза КДК Главные ВСП не воспроизводятся моделью. Для комбинаций Эль-Ниньо, восточная фаза КДК; Эль-Ниньо, западная фаза КДК и Ла-Нинья, восточная фаза КДК были усреднены поля гидродинамических параметров, чтобы исследовать характерные особенности модельных «климатических» ВСП. Показано, что наибольшие увеличения температуры в стратосфере и похолодания в мезосфере моделируются при условиях Эль-Ниньо, восточная фаза КДК, но наибольшее ослабление ветра при Эль-Ниньо, западная фаза КДК. Наибольшие амплитуды планетарных волн моделируются при восточной фазе КДК, вне зависимости от фазы ЭНЮК [1].

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №20-77-10006-П).

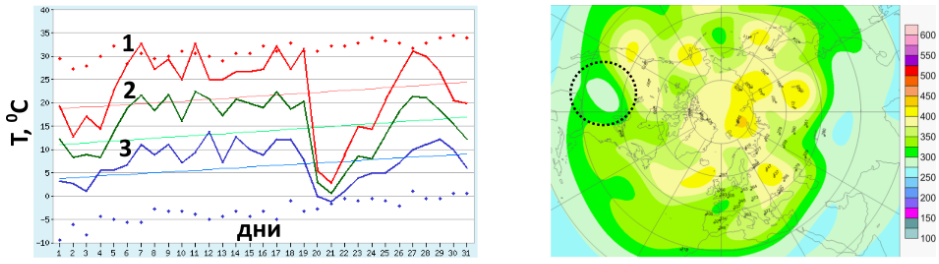
Литература

1. Лифарь В.Д. и др. Численное моделирование влияния фаз КДК и ЭНЮК на распространение планетарных волн и формирование внезапного стратосферного потепления // Оптика атмосферы и океана. Т. 37. № 02. С. 138–144. 2024.

КОСМИЧЕСКАЯ ПЫЛЬ И ПРОГНОЗ АНОМАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ЗЕМЛЕ

Костров А.В.
Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук
г. Нижний Новгород, Россия
kstr@ipfran.ru

В работе на основании экспериментальных и наблюдательных данных рассматривается определяющая роль комической пыль в создании глобальной электрической цепи (ГЭЦ) Земли, образование озона в стратосфере и аномальных погодных явлений на нашей планете. В работе [1] показано, что ГЭЦ Земли создается потоками отрицательно заряженной пыли, которая беспрепятственно проникает через магнитное поле и заряжает поверхность (средний радиус пылинки 4*10^-7 м, масса 5*10^-17 кг, заряд 10^-16 Кл). Стационарное состояние достигается за счет тока положительных ионов из ионосферы - тока «ясной погоды». На фоне квазистационарного потока пыли (2 тонны/с) наблюдаются неоднородные и нестационарные потоки, которые определяют аномальные погодные явления на Земле. Пыль достигает поверхности Земли со скоростью Стокса и за счет вязкого трения увлекает потоки воздуха. Анализ ежедневных карт озона [2] позволил установить связь возмущений концентрации озона на высотах 20-25 км с повышенными потоками космической пыли в локальных областях поверхности Земли и предсказать за 10-12 дней аномальное поведение погоды [3] – похолодание, дожди, торнадо (рис. 1). В зависимости от интенсивности локальных потоков пыли образуются циклоны или антициклоны.



а) б)

Рис. 1. а) месячный ход температуры в г. Колорадо-Спрингс, США в мае 2022 г.: 1 - максимальная, 2 - средняя, 3 – минимальная за сутки температура. б) содержание озона в северном полушарии 10 мая (справа). Место наблюдения обведено на карте пунктиром.

Литература

1. Kostrov A.V. Cosmic Dusty Plasma and the Global Electric Circuit of the Earth // Plasma Physics Reports. V. 46. P. 443-451. 2020.
2. https://exp-studies.tor.ec.gc.ca
3. http://pogodaiklimat.ru/monitor.php

АНАЛИЗ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Рождественский Д.Б., Рождественская В.И., Телегин В.А
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия.
rozhdestvenskayawera@yandex.ru

При решении задачи долгосрочного прогнозирования атмосферных процессов, возникает вопрос о характеристиках солнечно - земных связей и их количественных оценках. Для анализа и сравнения выбраны длинные ряды солнечной активности (СА), например, числа Вольфа $W(t)$ и процессы, протекающие в земной атмосфере, такие как вариации ионосферного параметра $foF2(t)$, изменчивость приземной температуры $T(t)$ и метод спектрального анализа, основанный на преобразование Фурье, которое обладает взаимно однозначным соответствием, т.е. процесс, протекающий во временной области, однозначно определяется в спектральной области. И наоборот – спектр процесса однозначно определяет этот процесс во временной области, т.е. появляется возможность проводить операции над процессом, например, анализ данных, с большей эффективностью в спектральной области, чем во временной [1]. Анализ данных проведен в разных спектральных диапазонах. Разбиение на диапазоны осуществляется с помощью цифровой фильтрации. В качестве цифрового фильтра выбран цифровой фильтр с частотной характеристикой, соответствующей характеристике двух последовательных фильтров – скользящего непрерывного арифметического среднего и идеального фильтра исправленного непрерывного осреднения (ИНО).

В качестве дополнительной информации для решения задачи солнечно-земных связей рассчитан энергетический спектр $S(w)$ приземной температуры на конечной выборке N. Дискретная кривая, полученная путем последовательного интегрирования, определяет изменение «энергии» колебательного процесса приземной температуры. Исследование спектров рассматриваемых процессов, показало, что кратные гармоники присутствуют во всех измеренных рядах и ответственны за отдельные процессы.

Долгопериодная составляющая (для всех рассматриваемых процессов состоит из основной гармоники с периодами от 8 до 12 лет и кратных гармоник. Анализ показал, что долгопериодная или 11-летняя составляющая, вносит меньший вклад в изменчивость приземной температуры и ионосферы, чем ее кратные гармоники (5-ти летние и 3-х летние составляющие).

Литература

1. *Рождественский Д.Б.,* Финитные функции в теории управления. //Датчики и Системы. 2021. №3. С. 12 – 22.

ФРАКТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В АЛЬПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

Рябова С.А.[1,2]
[1]*ИДГ РАН, г. Москва, Россия*
[2]*ИФЗ РАН, г. Москва, Россия*
riabovasa@mail.ru

Климат представляет собой сложный динамический комплекс различных атмосферных факторов, характеризующийся множественными взаимодействиями между различными его компонентами и нелинейным поведением [1]. Такая сложная система, как климат, должна быть дополнительно проанализирована с привлечением развивающихся сейчас методов анализа динамики нелинейных систем [2], в том числе, получившим широкое применение мультифрактального анализа [3, 4]. Цель настоящей работы заключалась в исследовании временных особенностей вариаций среднесуточной температуры воздуха в альпийском регионе на примере обработки и анализа данных продолжительного (с 1 августа 1900 г. по 31 декабря 2023 г.) мониторинга температуры на метеостанции Цугшпитце. При проведении настоящих исследований первичная обработка временного ряда вариаций температуры сводилась к редакции данных, выявлению выбросов и восстановлению пропусков. При исследовании фрактальной структуры временных рядов использовался метод мультифрактального флуктуационного анализа. Установлено, что в целом вариации среднесуточной температуры воздуха демонстрируют мультифрактальное поведение, особенно для малых временных масштабов, примерно до 90 суток, и имеют долгосрочную положительную корреляцию. Спектр сингулярности усечен влево.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях» и ИФЗ РАН.

Литература

1. Rind D. Complexity and climate // Science. V. 284. № 5411. P. 105–107. 1999.
2. Balasis G., Donner R., Potirakis S., Runge J., Papadimitriou C., Daglis I., Eftaxias K., Kurths J. Statistical mechanics and information-theoretic perspectives on complexity in the Earth system // Entropy. V. 15. № 11. P. 4844–4888. 2013.
3. Burgueno A., Lana X., Serra C., Martínez M.D. Daily extreme temperature multifractals in Catalonia (NE Spain) // Physics Letters A. V. 378. № 11–12. P. 874–885. 2014.
4. Garcia-Marin A.P., Jimenez-Hornero F.J., Ayuso-Munoz J.L. Multifractal analysis as a tool for validating a rainfall model // Hydrological Processes. V. 22. № 14. P. 2672–2688. 2008.

О ПРЕДСКАЗАНИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ $M_w \geq 5.7$ ПО ДАННЫМ МЕТЕОПРОГНОЗОВ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Костин[1] В.М., Беляев[1] Г. Г., Овчаренко[1] О. Я., Трушкина[1] Е. П.
[1] *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, Россия*
E-mail: kostin@izmiran.ru

Продолжен ежедневный анализ взаимосвязи тропических циклонов (ТЦ) и землетрясений [1]. Каждому событию – землетрясению $M_w \geq 5.7$ по базе USGS в период с 2000 г рассматриваются аналогичные события в области радиуса 100 км. Если они происходили при развитии близких траекторий ТЦ, то их можно было предсказать за 3 дня по метеопрогнозу ТЦ. Эти прогнозы были подтверждены в дни проведения конференций ИЗМИРАН, ИТПЗ РАН, ИКИ РАН, MedGU 2023 и представлены в соответствующих презентациях [2]. Сложности с прогнозом возникают, если одновременно развивается несколько ТЦ или ТЦ отсутствуют. Отмечено, что в отдельные моменты происходили резкие изменения траектории ТЦ или их сильная интенсификация, и в эти периоды наблюдались землетрясения. Одна из возможных причин таких событий – гипотеза воздействия бозе астероидов темной материи на литосферные плиты [3,4]. Но бозе астероиды могут также воздействовать на ТЦ и проходить сквозь Землю. В частности к категории таких событий можно отнести землетрясение M=7.8 шестого февраля 2023 года в Турции.

Будет представлен прогноз землетрясений в дни проведения конференции Прогноз-24.

Литература

1. Костин В.М., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Особенности воздействия тропических циклонов на литосферные плиты в суперлуние 2023. Краткосрочный прогноз сильных землетрясений // «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий», Прогноз-2023, ИЗМИРАН. 2023.
2. Костин В.М., Беляев Г.Г., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Прогноз сильных землетрясений по данным развития тропических циклонов // 21-я Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ РАН. Москва, 2023. С.350. DOI 10.21046/21DZZconf-2023a
3. https://weekend.rambler.ru/read/52240610/?utm_content=weekend_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink
4. Levkov D.G., Panin A.G., Tkachev I.I. Gravitational Bose-Einstein condensation in the kinetic regime // arXiv: 1804.05857v2 [arstro-ph.CO] 20 Sep 2018. INR-TH-2018-005

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ "ИОНОСФЕРА-АТМОСФЕРА-ЛИТОСФЕРА" И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Новиков В.А.[1,2], Сорокин В.М.[3], Ященко А.К., Мушкарев Г.Ю.[3]
[1]ОИВТ РАН, г. Москва, Россия
[2]ИДГ РАН, г. Москва, Россия
[3]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
novikov@ihed.ras.ru

С использованием разработанной модели генерации пульсаций геомагнитного поля рентгеновским излучением солнечной вспышки (СВ) показано, что сильная СВ класса X может генерировать всплеск теллурических токов в сейсмогенных разломах, сопоставимых по плотности с токами в земной коре, создаваемыми искусственным источником и приводящими к пространственно-временному перераспределению региональной сейсмичности. Для проверки данных численных результатов проведен анализ возможного воздействия 50 сильнейших СВ класса X (1997-2024) как на глобальную сейсмическую активность, так и на зоны подготовки землетрясений (ЗТ), расположенные только на освещенной части земного шара. Методом наложения эпох установлено повышение количества ЗТ с M≥4.5 в течение 10 суток после СВ, особенно в области с радиусом 5000 км вокруг подсолнечной точки (до 68% при классе СВ > X5), по сравнению с аналогичным периодом до неё. Анализ афтершоковой активности сильного Суматра-Андаманского ЗТ (M=9.1, 26.12.2004) показал, что количество афтершоков с магнитудой M≥2.5 возросло более чем в 17 раз после СВ класса X10.16 (20.01.2005) с задержкой 7 суток. Кроме того показано, что СВ класса X2.3 и M3.64, произошедшие после Дарфилдского землетрясения (M=7.1, 03.09.2010, Новая Зеландия), в области подсолнечных точек которых находилась афтершоковая зона, вероятно, вызвали три сильных афтершока (M=6.3, M=5.2 и M=5.9) с одной и той же задержкой 6 суток. С учетом концепции прогноза ЗТ на основе триггерных воздействий, предложенной Г.А. Соболевым, обсуждается возможность использования полученных результатов для краткосрочного прогноза в качестве дополнительной информации наряду с известными предвестниками ЗТ.

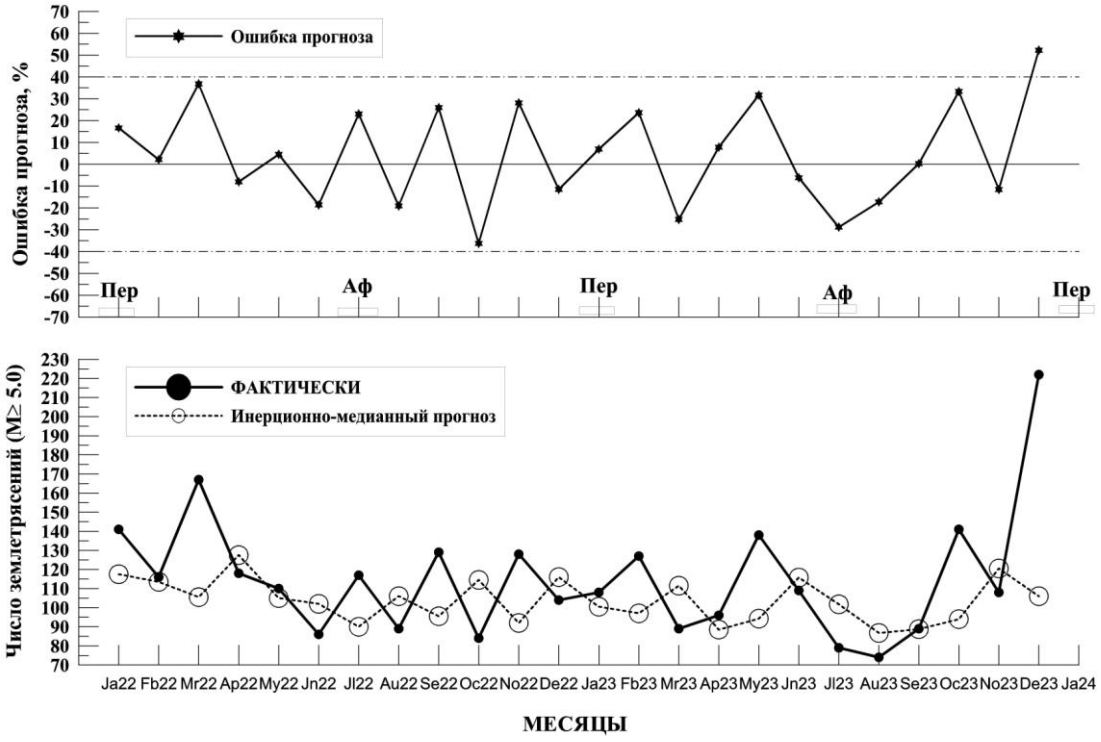
Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания ИЗМИРАН №1021060808637-6-1.3.8, ОИВТ РАН №075-00270-24-00 и ИДГ РАН № 122032900167-1).

ЭМПИРИЧЕСКИЙ ИНЕРЦИОННО-МЕДИАННЫЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМЛИ (САЗ) В 25 ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ОПЫТ ДВУХ ЛЕТ 2022-2023 ГГ.

Пустовалова Л.В.[1], Хегай В.В.[1]
[1]ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
l2000p@mail.ru; hegai@izmiran.ru

Представлены в сравнении два временных ряда оценки ежемесячной интенсивности глобальной сейсмической активности земли (САЗ) с 2022 по 2023 год с интервалом в один месяц: Первый ряд характеризует фактически имевшую место САЗ, а второй – прогнозируемую САЗ. В качестве исходной меры глобальной интенсивности САЗ при ее анализе было выбрано суммарное число сильных (магнитуда $M \geq 5.0$) коровых (глубина гипоцентра $0 \leq h \leq 60$ км) землетрясений по всему миру по каталогу USGS [1] за указанные годы для каждого из индивидуальных месяцев по отдельности. Проведена оценка ошибки прогноза. Среднее ее значение составляет примерно 22% по абсолютной величине.

Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ ГАН Исследование солнечной активности и физических процессов в системе "Солнце-Земля" (No 0037-2014-0003).



Литература

1. https://www.usgs.gov/

Секция 7
«Прикладная сессия – Космическая погода: прогнозирование и использование прогнозов»

О СВЯЗИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И НАРУШЕНИЯХ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ЯКУТИИ

Шадрина Л.П.
Академия наук РС(Я), Якутск, Россия
lushadr@mail.ru

Два наиболее ярких проявления космической погоды – это геомагнитные бури (ГМБ) и Форбуш-понижения космических лучей (ФКЛ). Они могут протекать одновременно, но нередко наблюдаются по-раздельности, что позволило выделить 3 класса геоэффективных событий – так называемую форбуш-буревую классификацию (ФБК) событий [1]. Межпланетные возмущения нередко вызывают на Земле отключения на линиях электропередач, которые обусловлены генерацией геоиндуктивных токов (ГИТ) во время гроз [2]. Одной из причин возбуждения ГИТ принято считать геомагнитные бури. В этой работе приводятся результаты сопоставления грозовых отключений на линиях электропередачи в Якутии с 2012 по 2018 годы с базой данных Форбуш-буревых событий. За эти 7 лет в летний период отмечено 73 грозовых отключения на линиях электропередач, причем только 16 из них совпали с одновременной регистрацией ГМБ и ФКЛ (2-й класс ФБК). В 56 случаях эти отключения происходили во время ФКЛ в отсутствии ГМБ (1-й класс ФБК). И, напротив, в 19 событиях ГМБ без ФКЛ (3-й класс ФБК), которые были за этот период, не было зафиксировано ни одного грозового отключения. Получается, что практически все грозовые отключения на линиях электропередач связаны с понижениями интенсивности КЛ. Во время ГМБ нарушения электропередач бывают в том случае, когда бури происходят одновременно с ФКЛ. По-видимому, это свидетельствует о том, что влияние КЛ на атмосферное электричество, а значит и на ГИТ, более значимо, чем воздействие геомагнитных бурь. Один из возможных механизмов влияния космических лучей на грозовые облака рассмотрен в работе [3].

Литература

1. Шадрина Л.П. Каталог форбуш-буревой классификации событий. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2020621842. Дата регистрации в ФИПС 12.10.2020.
2. Пилипенко В.А. Воздействие космической погоды на наземные технологические системы // Солнечно-земная физика. Т. 7, № 3. С. 72–110. 2021. DOI: 10.12737/szf-73202106.
3. Крымский Г.Ф. Космические лучи и земная атмосфера: факты и гипотезы // Солнечно-земная физика. Вып. 9. С. 44–46. 2006.

РАЗВИТИЕ СПОСОБА ПРОГНОЗА ВРЕМЕНИ РЕГИСТРАЦИИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ПРЕДВЕСТНИКОВ В СОЛНЕЧНОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ

Шейнер О.А., Фридман В.М.
НИРФИ ННГУ им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия
rfj@nirfi.unn.ru

На основе анализа данных за апрель-май 2023 г. в докладе рассмотрены результаты исследований связи между зарегистрированными в этот период на LASCO C2 корональными выбросами массы (КВМ) и возникновением спорадического микроволнового излучения, предшествующего регистрации явлений КВМ, с целью развития методов краткосрочного прогнозирования КВМ по радиоданным.

При исследовании явлений в радиоизлучении, предшествующих первому появлению в поле зрения коронографа конкретного коронального выброса массы, рассмотрен набор, так называемых, изолированных КВМ, поскольку данные о радиоизлучении (сайт Мировой службы Солнца) получены без высокого пространственного разрешения.

Подтверждены основные положения предложенного ранее способа краткосрочного прогноза времени регистрации коронографом находящихся на видимой части диска Солнца корональных выбросов массы [1].

Предложены и продемонстрированы возможности расширения применения указанного способа прогноза для источников КВМ, расположенных на краю солнечного диска или за ним, основанные на сохранении основных положений метода прогноза при наличии предвестников в более узких спектральных интервалах в низкочастотной части спектра радиоизлучения, формируемого в более высоких слоях солнечной хромосферы и нижней короны.

Работа выполнена по проекту FSWR-2023-0038 в рамках базовой части Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

Литература

1. Фридман В.М., Шейнер О.А. Способ краткосрочного прогноза времени регистрации явления корональных выброса массы (КВМ) // Патент на изобретение RU 2630535. 11.09.2017. Заявка № 2016100808 от 12.01.2016.

УЧАСТИЕ В СОЗДАНИИ ТРЕТЬЕЙ ОЧЕРЕДИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ В ЧАСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СЕГМЕНТА ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Диденко К.А., Маурчев Е.А., Шлык Н.С.

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

abunin@izmiran.ru

С 2006 г. ИЗМИРАН привлечен к работам по созданию, при головной роли АО «ЦНИИмаш», отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП). В результате выполнения данных работ на базе Центра прогнозов КП ИЗМИРАН, в соответствии с требованиями технических заданий головного заказчика, создан и эксплуатируется Сегмент по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности (Сегмент РПСГА) АСПОС ОКП.

Сегмент РПСГА обеспечивает в интересах АСПОС ОКП выполнение сбора, обработки, систематизации и хранения информации о космической погоде, а также прогнозирования параметров солнечной и геомагнитной активности (состояния космической погоды) на заданные интервалы временного упреждения, в том числе выдачу предупреждений о резких изменениях основных параметров космической погоды.

В 2015 г. завершено создание второй очереди системы АСПОС ОКП, которая по результатам межведомственных (государственных) испытаний принята в опытную эксплуатацию. На текущий момент, в рамках создания третьей очереди АСПОС ОКП и на основе созданного ранее Сегмента РПСГА, создан и проводятся испытания уже модернизированного сегмента по расчету параметров солнечной и геомагнитной активности (Сегмента РПСГА-М). Ввод в эксплуатацию назначен на 2025 год.

В работе описывается состав и описание функционала Сегмента РПСГА-М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Абаляев[1] А.Ю., Грунская[1] Л.В.

[1]Владимирский государственный университет имени А.Г. Столетова и Н.Г.Столетова, г. Владимир, Россия

grunsk@vlsu.ru

Использование рекуррентных нейронных сетей (РНС) позволяет не только эффективно решать широкий круг задач классификации и прогноза, но и учитывать влияние, в том числе неявное, разного рода дополнительных, как известных, так и неизвестных на момент составления прогноза, факторов на величину прогнозируемого параметра. Данная работа посвящена прогнозированию среднего уровня аварийности на дорогах общего пользования с помощью рекуррентных нейронных сетей с использованием в качестве дополнительных влияющих факторов данные по солнечной активности.

Взаимосвязь дорожно-транспортных происшествий по Владимирской области с гео- и гелиофизическими характеристиками осуществляется на основе результатов мониторинга электромагнитных полей на физическом экспериментальном полигоне и данных солнечной активности.

Для прогнозирования используются рекуррентные нейронные сети (РНС), в частности, создаваемые и обучаемые с помощью пакета Tensor Flow. Для прогнозирования уровня аварийности использовались данные о количестве ДТП из открытых источников. Для решения задачи прогнозирования была создана РНС, состоящая из двух слоёв долгой краткосрочной памяти (LSTM) [1] и выходного слоя из 7 элементов, позволяющая прогнозировать изменение уровня аварийности на следующие семь дней за пределами текущего периода. Для оценки пригодности использования РНС в процессе прогнозирования уровня аварийности на дорогах общего пользования проведено исследование влияния на точность получаемого прогноза не только количества эпох обучения, но и число предъявлений РНС каждой последовательности из набора обучающей выборки (повторов) в течение каждой эпохи.

В целом, исходя из изложенного выше, можно сделать вывод о возможности использования РНС для прогнозирования изменения среднего уровня аварийности с достаточной точностью.

Литература

1. Abalyaev, A.Y., Grunskaya, L.V. et.al. Research and forecasting of the influence of the Earth's electromagnetic field on the accident rate on public roads // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis link is disabled,2021. 853(1). 012033. p.1-8.

О ВЛИЯНИИ НЕ ТОЛЬКО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ, НО И НАПРЯЖЕННОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛНЦА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Демидов М.Л.
ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия
demid@iszf.irk.ru

Прогнозирование физических параметров в околоземном пространстве (космической погоды) является актуальной не только научной, но и практической задачей, поскольку они определяют геомагнитную активность и условия функционирования многих технических систем в космосе и на земле. Существует несколько методов расчета скорости, плотности солнечного ветра, межпланетного магнитного поля. Одной из наиболее широко распространенной, в том числе по причине относительной простоты, является полу-эмпирическая модель WSA (Wang-Sheeley-Arge), основанная на расчетах параметров магнитного поля в ближайшей к Солнцу гелиосфере (до поверхности источника, в приближении PFSS — Potential Field Source Surface) и последующего вычисления скорости солнечного ветра по двум определяемым пространственной структурой магнитных полей параметрам: (1) коэффициент расширения магнитной трубки (FTEF, Flux Tube Expansion Factor), и (2) минимальное расстояние основания силовой трубки от границы корональной дыры (DCHB, Distance from the Coronal Hole Boundary) на фотосферном уровне. Количественное сопоставление модельных расчетов с результатами измерений у орбиты Земли, однако, показывает, что совпадение, как правило, весьма посредственное. Поэтому предпринимаются (с различным успехом) попытки видоизменить стандартную WSA модель, в частности, использовать дополнительные параметры. Сведения об основных работах с такими попытками приводятся в докладе.

В настоящей работе при использовании синоптических магнитограмм четырех обсерваторий (на примере одного кэррингтоновского оборота, CR 2164) показано, что совпадение расчетных и измеренных значений скорости солнечного ветра можно значительно (в некоторых случаях в несколько раз !) улучшить, если особым образом учитывать фотосферную напряженность магнитного поля в корональных дырах. Обсуждается значение полученного результата для улучшения точности прогноза космической погоды.

ИТЕРАТИВНЫЙ ОТБОР СУЩЕСТВЕННЫХ ВХОДНЫХ ПРИЗНАКОВ С УЧЕТОМ ИХ РЕЛЕВАНТНОСТИ И ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОФЕРЫ ЗЕМЛИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Исаев И.В. [1,2], **Щуров Н.О.**[3], **Баринов О.Г.**[1], **Доленко С.А.**[1], **Мягкова И.Н.** [1]

[1]*НИИЯФ МГУ, г. Москва, Россия*

[2]*ИРЭ РАН, г. Москва, Россия*

[3]*Физический факультет МГУ, г. Москва, Россия*

isaev_igor@mail.ru

Магнитосфера Земли представляет собой динамическую систему, состояние которой зависит не только от воздействия на неё со стороны солнечного ветра, но и от её предшествующих состояний. Поэтому при прогнозировании её состояния с помощью методов машинного обучения необходимо учитывать предысторию входных параметров. Если не используются рекуррентные алгоритмы, то учёт предыстории осуществляется с помощью так называемого погружения (топологического вложения) входного многомерного временного ряда – подачи на вход значений входных признаков, соответствующих нескольким предыдущим временным отсчетам. Однако при этом существенно возрастает входная размерность задачи, что является нежелательным в условиях ограниченного количества данных. В то же время входные признаки, соответствующие близким временным отсчетам одной и той же физической величины, несут сходную информацию.

Рассматривается понижение размерности с помощью итеративного алгоритма отбора существенных входных признаков [1], учитывающего одновременно их релевантность и избыточность. Сравниваются между собой и анализируются с физической точки зрения множества признаков, отобранных алгоритмом как существенные, при прогнозировании значений геомагнитного индекса Dst с горизонтом прогноза до 12 часов, геомагнитного индекса Kp – до 24 часов, потока релятивистских электронов (с энергией > 2 МэВ) на геостационарной орбите – до 24 часов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00237, https://rscf.ru/project/23-21-00237/.

Литература

1. Shchurov N.O. et al. Iterative Selection of Essential Input Features under Conditions of their Multicollinearity in Space Weather Time Series Forecasting // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP’2023). Proc. 16th International Conference, October 17–19, 2023, Belarus, Minsk, Belarusian State University. Eds. A.Nedzved, A.Belotserkovsky. Minsk: BSU, 2023, pp.316-319. ISBN 978-985-881-522-6.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЯДОВ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ РЕКУРРЕНТНЫМИ НЕЙРОСЕТЯМИ

Козелов Б. В.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Мурманская область, Россия

boris.kozelov@gmail.com

В моделях ионосферы и верхней атмосферы, важных для многих прикладных вопросов, обычно используются индексы солнечной и геомагнитной активности, которые получаются на основе наблюдений наземными приборами и спутниками в солнечном ветре. Возникающая задача прогнозирования рядов геомагнитной активности вперед с некоторой точностью решается при наличии данных о солнечной активности и о солнечном ветре. Трудно формализуемые связи могут быть включены в модель с помощью нейросетевого подхода.

В имеющихся доступных наборах данных о солнечном ветре (например, база OMNI) имеются пропущенные значения, которые создают проблемы для использования нейросетей. К сожалению, простые стандартные методы заполнение отсутствующих значений, такие как использование медианы или среднего значения, нарушают статистические характеристики рядов и не всегда могут работать успешно.

В докладе на основе базы OMNI обсуждается нейросетевой подход к решения следующих задач:

1. Заполнение отсутствующих значений в рядах данных межпланетного поля (ММП) Btot, Bz, V, Np по информации об этих величинах за несколько дней и зависящих от них рядов индексов геомагнитной активности SYM-H, AL, AU, AE.

2. Прогнозирование рядов индексов солнечной активности (число солнечных пятен и F107) с использованием слоев LSTM.

3. Прогнозирование рядов индексов геомагнитной активности SYM-H, AL, AU, AE на основе данных о предыдущей активности, рядов индексов солнечной активности и параметров солнечного ветра.

Работа поддержана РНФ и Мурманской областью, проект № 22-12-20017. Автор благодарит GSFC/SPDF OMNIWeb за подготовку использованных данных.

“ПРОГНОЗ_ИЗМИРАН” – СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИОКОММУНИКАЦИЙ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Крашенинников[1] И.В.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
krash@izmiran.ru

”Прогноз-ИЗМИРАН” – интегрированная система прогнозирования ионосферного распространения радиоволн декаметрового диапазона, которая лежит в основе прогнозирования (планирования) работы радиокоммуникационных систем, использующих ионосферу, как среду переноса излучения. В настоящее время базовой ионосферной моделью является модель ИЗМИРАН – GDMI (Global Dynamic Model of the Ionosphere). Модель имеет в качестве управляющих параметров: гелиогеофизические данные на данный день (3-х часовые индексы геомагнитной активности) и два дня назад, средневзвешенные данные параметра F10.7 за 27 дней, которые формируют интегральный индекс солнечной активности – F.

Кроме того, в систему поступают данные вертикального радиозондирования ионосферы – ионозонд “Парус-А”, обработка ионограмм которого выполняется автоматически и данные о главном ионосферном максимуме {foF2,hmF2} за последние три часа используются для адаптации модели ионосферы к текущему состоянию ионосферы для расчета текущих условий распространения радиоволн.

Текущим направлением развития является проблема ионосферного прохождения радиоволн в условиях геомагнитной возмущенности и на радиотрассах, которые так или иначе при ионосферных возмущениях могут соприкасаться с полярным овалом. Представлены результаты анализа экспериментальных результаты многочастотного наклонного радиозондирования ионосферы на меридиональной радиотрассе Норильск-Иркутск в период геомагнитной бури низкой интенсивности 22.09.2018 г. Показано как общее соответствие вариаций максимальных наблюдаемых частот - МНЧ 1F2 и расчетных – МПЧ 1F2, так и дано физическое объяснение зарегистрированному явлению полной блокировки прохождения радиоволн в ночных условиях (“blackout”). Основным фактором данного эффекта является наличие генерируемого высыпающимися заряженными частицами сильно неоднородного в продольном сечении радиотрассы аврорального слоя Е ионосферы.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В.А. Ожередов[1], А.Б. Струминский[1], И.Ю. Григорьева[2]

[1]Институт космических исследований РАН, г.Москва, Россия

[2]Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

Для прогнозирования солнечных протонных событий (СПС) важно уметь отличать вспышки, которые могут быть источником СПС (условно, класс 1) от тех, которые не могут (класс 2). В работе [1] на основе физических соображений высказана гипотеза, что в качестве трех первых признаков вспышки оптимально брать значимые превышения радиоизлучения над уровнем фона в трех характерных диапазонах частот. Механизмы излучения в этих диапазонах различаются (гиросинхротронное излучение 1415-15400Мгц, плазменное излучение 245-610Мгц и дрейфующие радио-всплески II-IV типов). При этом вспышка класса 1 должна сопровождаться корональным выбросом массы (КВМ) со скоростью более 618 км/с. Пусть ξ_i обозначает *i*-тый признак Рентгеновской вспышки и b_i^k – некоторое число (also called as «порог срабатывания»), *i=1,2,3,4*. Нами показано, что поиск даже достаточно примитивного решающего правила в виде объединения пересечений

$$\bigcup_k \bigcap_i \left(\xi_i \geq b_i^k\right) \quad (1)$$

приводит к NP-трудной задаче наподобие knapsack problem. Мы построили процедуру интеллектуального перебора, способного отыскать решающее правило (1) за приемлемое время. Для построения обучающей базы данных в качестве выборки вспышек класса 1 были выбраны достоверно идентифицированные вспышки – источники СПС в каталогах НИИЯФ МГУ за 24-25-й циклы (https://swx.sinp.msu.ru/apps/sep_events_cat/). Процедура принятия решений безошибочно классифицирует вспышки, порождающие протоны с рассчитанной квази-максимальной энергией более 200 МэВ как источники СПС, полностью подтверждая гипотезу о достаточных признаках «протонной» вспышки при наблюдении микроволнового излучения 8.8-15.4ГГц [Struminsky at al., 2024]. С уменьшением квази-максимальной энергии протонов вероятность ошибочной классификации порождающей их вспышки растет, что дополнительно подтверждает работоспособность полученного алгоритма принятия решений.

Литература

1. A. B. Struminsky, A. M. Sadovskii, I. Yu. Grigorieva Criteria for Forecasting Proton Events by Real-Time Solar Observations // Geomagnetism and Aeronomy, V. 64, No. 2, P. 139–149.

ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – БЕССМЫСЛЕННОЕ ЗАНЯТИЕ?

Пилипенко В.А.

Институт физики Земли РАН, Москва, Россия
Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
Геофизический Центр РАН, Москва, Россия
pilipenko_va@mail.ru

Геофизическое научное сообщество часто декларирует, что оно активно работает над проблемой прогноза негативного воздействия космической погоды на наземные технологические и спутниковые системы. Представим на время, что такие модели созданы. Теперь по данным межпланетных спутников можно предсказать какой величины будет магнитная буря, какие геоиндуцированные токи она вызовет в трансформаторных подстанциях по всей стране, насколько нарушится система катодной защиты трубопроводов от электрокоррозии, насколько возрастут потоки релятивистских электронов в радиационном поясе и какие сбои в спутниковой электронике они вызовут, какие ошибки начнет давать глобальная навигационная спутниковая система, и т.п. И вот здесь научное сообщество столкнется с проблемой, о которой робко умалчивали. Все созданные модели окажутся совершенно бессмысленными, если не тестировать их по данным реального мониторинга сбоев в работе технологических систем. Но такую информацию, при нынешнем уровне взаимодействия индустрии и науки в РФ, научное сообщество от промышленных компаний никогда не получит! Любому производственнику гораздо безопаснее дать отказ на запрос научной организации, чем рискнуть возможным неудовольствием высшего начальства и предоставить архив сбоев. Пока эта ситуация не изменится, все усилия научного сообщества по прогнозу космической погоды будут интересны только пенсионеркам, жалующимся на здоровье. Какие-либо подвижки в налаживании конструктивного взаимодействия между производственниками и учеными возможно только на уровне руководства Минобрнауки и соответствующих ведомств.

Доклад не поддержан никаким грантом.

МОЖЕТ ЛИ ГЛОБАЛЬНОЕ МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДСКАЗАТЬ ВЕЛИЧИНУ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ ПРИ МАГНИТНЫХ БУРЯХ?

Пилипенко В.А.[1,2], Козырева О.В.[1,2], Сахаров Я.А.[1,3]

[1] *Геофизический центр РАН, Москва, Россия*

[2] *Институт физики Земли РАН, Москва, Россия*

[3] *Полярный геофизический институт КНЦ, Апатиты, Россия*

pilipenko_va@mail.ru

К настоящему времени глобальное МГД моделирование динамики околоземного пространства с использованием суперкомпьютеров достигло настолько высокого уровня, что позволяет приступить к оперативному прогнозу космической погоды и ее эффектов по данным межпланетных спутников в реальном времени. Одним из наиболее опасных проявлений космической погоды является возбуждение геоиндуцированных токов (ГИТ) в протяженных линиях электропередач (ЛЭП) при резких вариациях геомагнитного поля. Поскольку глобальное МГД моделирование предсказывает возмущение магнитного поля по всей поверхности Земли, то естественно возникает вопрос – может ли оно предсказать ожидаемую вариабельность поля dB/dt и амплитуду ГИТ? Для ответа на этот вопрос мы рассмотрели магнитную бурю 27-28 мая 2017 г. Была рассчитана динамика планетарного распределения геомагнитных возмущений с помощью различных кодов глобального МГД моделирования с реалистичными условиями в солнечном ветре. Цель этой международной кампании состояла в сравнении полученных глобальных свойств геомагнитных возмущений с высоким временным разрешением (1 мин) с фактическими наблюдениями. Во время анализируемой магнитной бури на магнитную бухту накладывались интенсивные нерегулярные пульсации Pi3. Эти пульсации не являются квази-синусоидальными волнами, как типичные пульсации Pc5, а представляют собой квазипериодическую последовательность магнитных импульсов с временными масштабами ~ 10-15 мин. В период с повышенной Pi3 активностью были зафиксированы очень высокие всплески ГИТ (до ~ 50 А) в трансформаторных подстанциях ЛЭП на Кольском полуострове. Проведенный анализ вклада геомагнитных возмущений в рост ГИТ во время магнитной бури 27-28 мая 2017 г. показывает, что современное глобальное МГД моделирование может предсказывать возникновение бурь и суббурь («магнитосферных ураганов»), но не в состоянии воспроизвести возбуждение мелкомасштабных возмущений типа Pi3 пульсаций («магнитосферных молний»), которые и являются драйвером интенсивных ГИТ.

Работа поддержана грантом РНФ 21-77-30010.

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА «АВРОРА» ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

Мандрикова О.В.[1], Полозов Ю.А.[1], ФетисоваН.В.[1], Мандрикова Б.С.[1]
[1]ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край, Россия
oksanam1@mail.ru

Представлены результаты комплексной интерактивной системы «Аврора» (lsaoperanalysis.ikir.ru:9180/lsaoperanalysis.html), выполняющей анализ данных систем геофизического мониторинга и оценку состояния космической погоды в Северо-восточном регионе России (региональный прогноз). По данным вариаций геомагнитного поля, параметров критической частоты ионосферы foF2 и данным вариаций космических лучей система «Аврора» в режиме онлайн выполняет контроль магнитосферной и ионосферной активностей, оценивает состояние вариаций потоков галактических космических лучей. В режиме, приближенном к реальному времени, анализируются магнитные и ионосферные данные обсерваторий ИКИР ДВО РАН и данные наземных станций нейтронных мониторов (www.nmdb.eu). В системе используются параметры межпланетной среды (omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html) и магнитосферы (wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp). Система реализована в 2018 году, и по настоящее время выполняется накопление материалов наблюдений и результатов обработки данных. В докладе приведены примеры работы системы в периоды повышенной солнечной активности и магнитных бурь (рис. 1), рассмотрены вопросы возможности выполнения прогноза космической погоды по наземным данным геофизического мониторинга и потенциальные способы повышения точности прогноза. Работа выполнена за счет Гос. задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

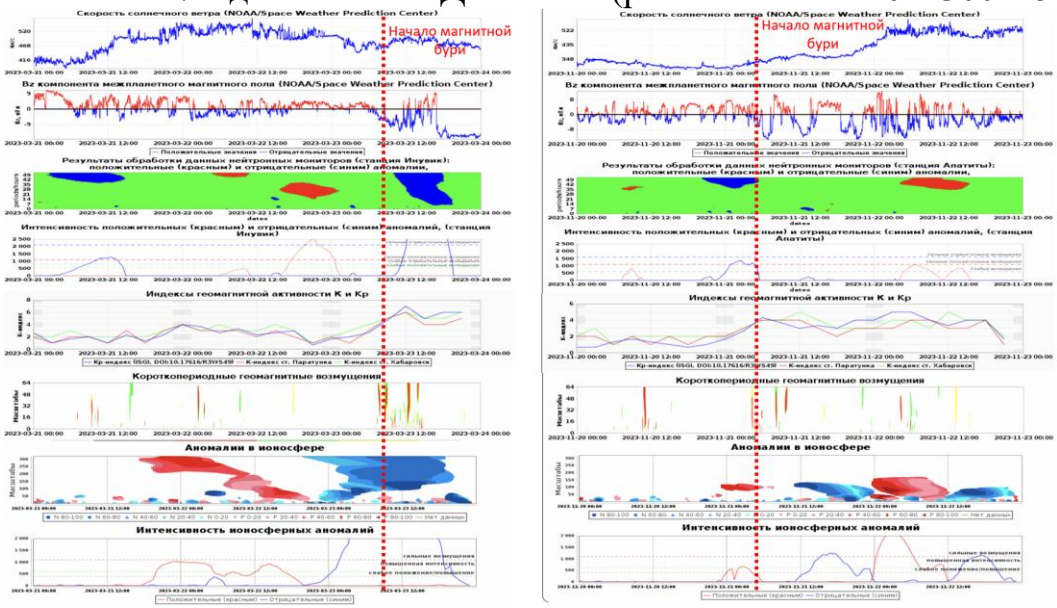


Рисунок 1. Результаты работы системы Аврора.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ В 2023 ГОДУ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Протопопов Г.А.[1], Чубунов П.А. [1], Остапенко Д.И. [1]
[1]АО «НИИ КП», г. Москва, Россия
g.a.protopopov@mail.ru

Представлены параметры радиационной обстановки в 2023, которые могут влиять на функционирование бортовой аппаратуры космических аппаратов, а именно: потоки высокоэнергичных электронов с различными значениями энергий по данным измерений на космических аппаратах серии GOES и отечественном космическом аппарате, потоки протонов с различными энергиями по данным измерений на космических аппаратах серии GOES и отечественном космическом аппарате, а также данные о плотности рентгеновского излучения от Солнца длиной волны 0.1-0.8 нм по данным измерений на космических аппаратах серии GOES и измерения планетарного Кр индекса. Отмечается, что за рассматриваемый период потоки электронов с энергией более 2 МэВ превышали опасный уровень в 3,3 раза, а потоки протонов с энергией более 10 МэВ – в 567 раз. Показано, что в некоторых случаях возрастание потоков протонов сопровождалось геомагнитными возмущениями, что потенциально может увеличить воздействие космических лучей на бортовую аппаратуру по сравнению с модельными расчетами, которые предполагают Кр индекс, равный двум. Представлены статистические данные о наблюдаемом ранее аномальном функционировании бортовой аппаратуры из-за влияния элементов космической погоды.

ПРОГНОЗ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ И ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ МАРТА 2024 ГОДА НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЯКУТСКЕ

Стародубцев С.А., Григорьев В.Г.
ИКФИА СОР РАН, г. Якутск, Россия
starodub@ikfia.ysn.ru

Во время изменений космической погоды 21-24 марта 2024 года в режиме реального времени по измерениям Якутского спектрографа рассмотрено поведение 1-й сферической гармоники анизотропии и флуктуаций интенсивности космических лучей. К анализу также привлечены данные измерений геомагнитных индексов Dst и Kp, а также информация о параметрах околоземного космического пространства по измерениям на космических аппаратах ACE, DSCOVR и GOES-18. В это время на Земле наблюдалось несколько геомагнитных возмущений разной интенсивности (21, 23 и 24 марта) и один мощный эффект Форбуша, который произошел в середине 24 марта и характеризовался жестким энергетическим спектром (по данным Якутского спектрографа космических лучей он проявился до глубины 20 м в.э.). Показано, что первое изменение анизотропии космических лучей в антисолнечном направлении наблюдалось за 5 часов до начала первой геомагнитной бури 21 марта. Далее, перед началом форбуш-эффекта 24 марта, были зарегистрированы флуктуации интенсивности космических лучей, что также является предвестником возмущений. Проведенный анализ привел к выводу, что наблюдаемую динамику вариаций интенсивности космических лучей в периоды крупномасштабных возмущений солнечного ветра можно объяснить в рамках конвективно-диффузионной теории и модуляции потока космических лучей быстрыми магнитозвуковыми волнами [1, 2]. Наземные измерения космических лучей являются полезным инструментом для целей прогноза наземных проявлений космической погоды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (FWRS-2021-0012).

Литература

1. Крымский Г.Ф. Диффузионный механизм суточной вариации космических лучей // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 4. №. 6. С. 977-986. 1964.
2. Бережко Е.Г., Стародубцев С.А. Природа динамики спектра флуктуаций космических лучей. Известия АН СССР. Серия физическая. Т. 53. С. 2361-2363. 1988.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СЛУЖБЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

А.Г. Тлатов, И.А. Березин
Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Россия
tlatov@mail.ru

В последнее время ведётся достаточно широкое обсуждение необходимости создания системы прогнозирования космической погоды (КП). Прогноз КП необходим для развития космических, транспортных систем, развития арктических регионов и других приложений. Вместе с тем есть сложности в практической реализации такой системы прогнозирования. Необходимо провести анализ, наметить пути решения проблемы и сформировать план развития системы. В настоящий момент эта предварительная работа далека от завершения.

Эта задача должна иметь комплексное решение, основанное на широком наборе наблюдательных данных, моделей прогноза, систем обработки большого объема данных и создании оперативной службы, осуществляющей прогнозирование в непрерывном режиме. Решение такой объемной задачи не под силу одной организации или центру прогноза. Наиболее критическим в настоящий момент является вопрос взаимодействия различных организаций. Как правило, предлагается либо поддержать работу уже существующих решений в отдельных организациях, которые зачастую являются косвенными для прогнозирования КП. Либо выдвигается условие создания отечественного аналога данных зарубежных космических миссий в далекой перспективе. Основная причина такого подхода – это удобство использования зарубежных данных, существование для них программных пакетов и методов обработки.

В данном сообщении обсуждаются критически необходимые виды наблюдательных данных, математических моделей и схема работы центра прогноза КП. Наиболее важными солнечными данными являются полонодисковые наблюдения магнитных полей, а также регистрация солнечных вспышек и корональных выбросов массы. Частично такие данные в нашей стране существуют. Необходимо создание методов обработки и пакетов программ, нацеленных на использование исследователями и центрами прогноза отечественных данных.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-22-00165).

ОБЛИК БАРЬЕРНО–СОПРОВОЖДАЮЩЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕХНОГЕННЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Тютин И.В., Бондаренко А.П., Никитин И.В.
АО «НПО дальней радиолокации», г. Москва, Россия
ITyutin@niidar.ru

Основным направлением работ на первоначальных этапах проектирования локатора является формирование набора технических решений, который позволит достичь характеристик, отвечающих поставленным требованиям к качеству работы системы, а также минимизировать ошибки, способные вызвать серьезные препятствия в ходе дальнейших этапов ее развития. Использование аналитических моделей для оценки возможности выполнения основных тактико-технических характеристик позволят сформировать облик создаваемого изделия. Их основная задача – обеспечить правильный старт проектирования, согласованность конструктивных и энергетических возможностей РЛС и требований, предъявленных к РЛС.

В данной работе рассматривается облик барьерно-сопровождающей радиолокационной станций для поиска, обнаружения и сопровождения космических объектов размером порядка 7 см на высотах до 1700 км.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЛС ДАЛЬНЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДИАПАЗОНА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Филиппов М.Ю.
АО «НПО дальней радиолокации», г. Москва, Россия
mm.grif@gmail.com

Основными эффектами влияния геофизических условий (ГФУ) на функционирование РЛС являются возникающие из-за ионосферного и тропосферного распространения радиоволн ошибки определения радиолокационных координат объектов и радиолокационные отражения естественных пассивных помех (ЕПП). На основе анализа данных опытных периодов эксплуатации создаваемой РЛС дальнего обнаружения с зоной действия в высоких широтах приводятся качественные оценки степени воздействия отдельных эффектов ГФУ.

ПРОГНОЗ ПРОТОННЫХ ВОЗРАСТАНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ И ВЫБРОСАХ

Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
nshlyk@izmiran.ru

Связь солнечных вспышек, корональных выбросов массы и зарегистрированных у Земли возрастаний потока протонов на данный момент является хорошо доказанной и описанной. Разными авторами составлены подробные каталоги солнечных протонных событий за длительный период времени, а также найдены статистические связи между величинами потока протонных возрастаний и характеристиками их солнечных источников, включая балл рентгеновской вспышки, ее положение на диске, начальную скорость выброса и т.д. [см., например, 1-3 и ссылки в них]. На основе постоянно пополняемой базы данных рентгеновских вспышек и протонных событий, созданной и поддерживаемой в ИЗМИРАН, были проанализированы протонные события разной величины и их солнечные источники за период с 1996 по 2023 гг. Получены корреляционные связи между их характеристиками, рассчитаны соответствующие регрессионные коэффициенты.

На основе полученных данных была построена эмпирическая модель, позволяющая оценить вероятность регистрации протонного возрастания у Земли и максимальную величину потока частиц разных энергий, используя данные о величине, длительности и координатах солнечной вспышки, а также скорость соответствующего коронального выброса массы. Данная модель применяется в ежедневной работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

Литература

1. Kurt V., Belov A., Mavromichalaki H., Gerontidou M. Statistical analysis of solar proton events // Annales Geophysicae, 2004, V. 22, p. 2255–2271.
2. Belov A. Properties of solar X-ray flares and proton event forecasting // Advances in Space Research, 2009, V. 43, p. 467–473.
3. Белов А.В. Вспышки, выбросы, протонные события // Геомагнетизм и Аэрономия, 2017, т. 57, № 6, с. 783–793.

Секция 8
«Техническая сессия – Обсерватории, детекторы и базы данных»

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ИПА РАН ДЛЯ ПАТРУЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Корниенко Г.И.
ИПА РАН, г. С.-Петербург, Россия
g_kornienko@mail.ru

Выполнены работы по модернизации инструментария для мониторинга солнечной активности. Программа наблюдений реализована на базе 15-см цейссовского рефрактора обсерватории. Помимо основного рефрактора на его монтировке установлены еще два телескопа для наблюдений солнечной фотосферы и хромосферы. Первый – это телескоп SolaREDi-60 фирмы DAYSTAR FILTERS для наблюдений полного диска Солнца в линии водорода H-альфа. Второй телескоп (апертура 120 мм и эквивалентное фокусное расстояние 200 см) предназначен для наблюдений фотосферы полного диска Солнца. На основном 15-см рефракторе выполнятся съемка отдельных активных областей с узкополосными фильтрами в линиях водорода H-альфа, D3 гелия и H линии ионизованного кальция фирмы DAYSTAR FILTERS. Для съемки на всех телескопах используются камеры ASI1600 и ASI6200 фирмы ZWO. Съемка на всех телескопах может осуществляться одновременно. Ежедневная продолжительность съемки фотосферы и хромосферы в зависимости от погодных условий до 8 часов, пространственное разрешение снимков до 1 секунды дуги. Основной задачей мониторинга является исследование тонкой структуры и динамики активных областей в предвспышечных ситуациях.

БАЗА ДАННЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ: КАТАЛОГИ ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Белов С.М., Шлык Н.С., Абунина М.А., Белов А.В.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
izmiran.crdt@gmail.com

База данных о Форбуш-эффектах (Belov A., 2008) и межпланетных возмущениях (FEID – Forbush-effects and Interplanetary Disturbances) разрабатывается группой ИЗМИРАН на протяжении нескольких десятилетий. На данный момент в ней содержится информация о более чем 8700 событиях, начиная с 1957 года. В основе изучения этих событий лежит анализ вариаций потока космических лучей (КЛ), расчитанных с помощью Метода Глобальной Съёмки (Belov et al., 2018), по данным мировой сети нейтронных мониторов. Помимо параметров КЛ, в базе данных также представлены параметры межпланетной среды, а также для более чем 2000 событий определён солнечный источник. С недавнего времени всё это доступно любому исследователю в форме веб-приложения: tools.izmiran.ru/feid/. Интерфейс позволяет расчитывать множество параметров событий, делать по ним выборки, производить статистический анализ, а также сторить графики поведения параметров внутри отдельных событий.

В докладе будет представлено короткое описание базы данных и ее нового интерфейса, особое внимание будет уделено определению солнечных источников. Будут рассмотренны доступные каталоги каталоги корональных дыр, выбросов массы и вспышек и возможности их объединения.

Литература

1. Belov, A.. Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena. Proceedings of the International Astronomical Union. 4. 439 - 450. 2008.
2. Belov, A. V., Eroshenko, E. A., Yanke, V. G., Oleneva, V. A., Abunina, M. A., Abunin, A. A., et al.: 2018, Sol. Phys. 293, 68.

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ПУНКТА НАБЛЮДЕНИЯ ИЗМИРАН В ДЕРЕВНЕ ВАЙМУША ПИНЕЖСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Верещагина В.М., Канониди К.Х.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
verizmiran@yandex.ru, kkkh@izmiran.ru,

На протяжении полувека пункт наблюдения ИЗМИРАН в деревне Ваймуша Пинежского района Архангельской области регистрирует важную для ученых информацию о состоянии магнитного поля и ионосферы Земли. История данного пункта наблюдения связана с такими международными экспериментами как «АРАКС», «САМБО», «ОМЕГА», «ПОРКУПАЙН» и другими [1].

Доклад знакомит с историей создания пункта наблюдения в составе Архангельского полигона и после его закрытия в качестве отдельного пункта ИЗМИРАН в деревне Ваймуша. В советское время в стационаре (географические координаты 64.8°С.Ш. и 44.4°В.Д.) проводились: вертикальное зондирование ионосферы, риометрические измерения в двух диапазонах частот, магнитовариационные измерения и фотометрические наблюдения [2]. Все это было остановлено и разрушено из-за недостаточности финансирования после распада СССР. Несмотря на тяжелое финансовое положение сотрудникам ИЗМИРАН из всего Архангельского полигона удалось сохранить только научный стационар в деревне Ваймуша. С 1998 года с установкой магнитовариационной станции системы Боброва возобновилась работа научного стационара.

Также в докладе описано развитие стационара, оснащение его новыми диагностиками. С 2009 года в пункте стали проводить непрерывные измерения модуля полного вектора магнитного поля Земли [3]. В 2021 году был введен в эксплуатацию векторный процессорный оверхаузеровский магнитометр POS-4. В настоящее время благодаря совместному проекту ИЗМИРАН с ИКИ РАН и НИИДАР на территории наблюдательного пункта установлены: феррозондовый магнитометр, риометр, ионозонд вертикального зондирования, аппаратно-программный комплекс трансионосферного зондирования, радиомаяк и другое оборудование.

Литература

1. Холинов А. Изучают магнетизм и радиоволны // Газета «Пинежские вести». № 32 С. 12. 06.08.2021.
2. Н.П.Бенькова, Е.Ф.Козлов, Н.А.Коченова и др. Структура и динамика субавроральной ионосферы // С 5-7. Москва “Наука” 1993 г.
3. Кузнецов В.Д., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Ружин Ю.Я. Карпогорский научный стационар ИЗМИРАН // Материалы Международ. конф. «Развитие академической науки на родине М. В. Ломоносова». Архангельск. С. 109-114. 2011

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО ФОНА НЕЭКРАНИРОВАННЫМИ НЕЙТРОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Громушкин Д.М.*, Волков Е.П., Киндин В.В., Коновалова А.Ю., Кузьменкова П.С., Мишутина Ю.Н., Моргунов Е.С., Пасюк Н.А., Почестнев А.Д., Хомчук Е.П., Хохлов С.С., Шульженко И.А.

Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", г. Москва, Россия

**e-mail: DMGromushkin@mephi.ru*

В последние годы появился новый инструмент – неэкранированные нейтронные детекторы на основе сцинтилляторов ZnS(Ag)+^{6}LiF или ZnS(Ag)+B_2O_3, которые предназначены для исследования вариаций нейтронных потоков, находящихся в равновесии с окружающей средой (тепловые нейтроны). Данный тип детекторов может быть использован как для изучения вариаций космических лучей, так и для изучения самой среды, а также различных геофизических процессов (вариации космических лучей и нейтронов во время гроз, приливных волн, собственных колебаний Земли и прочее).

В Экспериментальном комплексе НЕВОД работает установка ПРИЗМА-32 для регистрации нейтронов сопровождающих широкие атмосферные ливни [1]. Детектор нейтронов установки представляет собой светонепроницаемый корпус высотой 570 мм и диаметром 740 мм, на дне которого расположен тонкий слой (~ 30 мг/см^2) неорганического сцинтиллятора СЛ6-5 (ZnS(Ag) + LiF, где Li обогащен до 90% ^{6}Li) с эффективной площадью 0.36 м^2. Сцинтиллятор, чувствительный к тепловым нейтронам, просматривается одним фотоэлектронным умножителем. В 2023 году начата модернизация установки, в рамках которой будет создан отдельный канал для регистрации нейтронного фона. После модернизации установка позволит с помощью 36 детекторов с общей площадью регистрации более 12 м^2 исследовать вариации тепловых нейтронов, связанные как с изменением интенсивности КЛ внеземного происхождения, так и с процессами геофизического происхождения. Скорость счета каждого детектора составит 0.4-0.5 нейтрона в секунду, а всей установки в целом около 1000 нейтронов в час.

Рассматриваются первые экспериментальные данные работы двенадцати детекторов установки и приводится их сравнение с данными московского нейтронного монитора.

Работа выполнена на уникальной научной установке "Экспериментальный комплекс НЕВОД" при поддержке гранта Российского научного фонда (№ 23-22-00399).

Литература

1. Gromushkin D. et al. The array for EAS neutron component detection // JINST. V. 9. № 8. P. C08028. 2014.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГЕОМАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ВлГУ

Грунская[1] Л.В., Золотов[1] А.Н., Тихомиров[1] С.М., Хакимов[1] М.Ф., Кириллов[1] Е.Д., Галактионов[1] С.А.

[1]*Владимирский государственный университет имени А.Г. Столетова и Н.Г.Столетова, г. Владимир, Россия*

grunsk@vlsu.ru

На физическом экспериментальном полигоне с 1972 года проводятся работы по мониторингу вертикальной составляющей напряженности электрического поля приземного слоя атмосферы, компонент геомагнитного поля, метеофакторов.

Работа связана с исследованием взаимосвязи геомагнитного и электрического поля приземного слоя атмосферы Земли с геофизическими и астрофизическими процессами с помощью радиотехнических и радиофизических методов и средств. Приемно-регистрирующий комплекс физического полигона ВлГУ осуществляет регистрацию вариаций геомагнитного поля, вертикальной составляющей напряженности электрического поля, метеофакторов. Комплекс предназначен для сбора и регистрации измеренной информации, поступающей с датчиков в виде стандартных аналоговых сигналов напряжения и силы постоянного тока, дискретных и цифровых сигналов; выдачи управляющих воздействий в аналоговой и дискретной форме; реализации алгоритмов управления; передачи данных как в пределах контролируемого объекта, так и в систему более высокого уровня [1]. Проанализированы на примерах: исследования воздействия солнечной активности на геомагнитное поле и показатели здоровья человека; исследования воздействия гравитационно-волновых процессов астрофизического происхождения на геомагнитное поле; прогнозирование сейсмической активности с использованием геомагнитного и электрического полей Земли [2].

Литература

1. Грунская Л.В. и др. Система мониторинга электрического и геомагнитного поля Земли в инфранизкочастотном диапазоне // Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского. 2023. Санкт-Петербург. С.341-352.
2. Grunskaya L. V. et al. Geophysical and astrophysical processes in Earth’s electric field // Journal of Physics: IOP Publishing ,Conference Series, Volume 1604, VIII All-Russian Conference on Atmospheric Electricity 23-27 September 2019, Nalchik, Russian Federation.2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1604 012004. P.1-7.

БАЗА ГЕОМАНИТНЫХ ДАННЫХ ИЗМИРАН: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

Канониди К.Х., Зайцев А.Н.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
kkkh@izmiran.ru

Рассмотрены способы получения геомагнитных данных в ИЗМИРАН в прошлые годы и в настоящее время в обсерваториях и пунктах наблюдений [1]. Показано изменение качества данных с развитием регистрирующей аппаратуры. Приведены примеры построения систем сбора геомагнитных данных в различные периоды наблюдений. Описывается система сбора геомагнитных данных на 2024 г. и дана оценка перспективы развития систем регистрации данных.

Проведено разделение данных по способу их получения: аналоговые магнитограммы (фотозапись), микрофильмы (кинопленка), данные на фотоносителях, цифровое сканирование магнитограмм и цифровая регистрация данных. В свою очередь цифровые данные различаются по частоте регистрации и разрешающей способности. Аналоговые магнитограммы различаются по частоте регистрации, частотная характеристика записи определяется скоростью протяжки ленты (магнитограммы).

Показана доступность данных [2-5] и способы их получения через ИНТЕРНЕТ, через накопление на электронных носителях, через передачу в реальном времени и по специальному запросу (по электронной почте).

Эпоха цифровизации увеличила объем данных, справиться с обработкой которых помогает применение различных способов обработки данных, включая развитие программ на базе искусственного интеллекта. Развитие способов и методов обработки данных в реальном масштабе времени предъявляет дополнительные требования к качеству данных. Важными являются вопросы принадлежности данных и правомерность использования данных.

Литература

1. Канониди К.Х., Канониди Х.Д., Петров В.Г. Развитие сети геомагнитных наблюдений ИЗМИРАН. // Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. Юбилейный сборник ИЗМИРАН-75, стр.77-87, 2015.
2. Козырева О.В, Пилипенко В.А., Добровольский М.Н., Зайцев А.Н.. Маршалко Е.Е. База данных геомагнитных наблюдений в российской Арктике и ее использование для оценки воздействий космической погоды на технологические системы. // СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА, Том 8, № 1 , 2022.
3. База данных геомагнитных обсерваторий РОССИИ 1984 - 2000 г., http://www.iki.rssi.ru/magbase/
4. Геофизические данные ИЗМИРАН https://geodata.izmiran.ru/
5. Магнитная обсерватория ИЗМИРАН http://serv.izmiran.ru/index.html

СОЗДАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ КЛАСТЕРОВ «Рой КВД-И» (ВЫСОТА 500-250 КМ). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТА ЗАПУСКА МИКРОСПУТНИКОВ В ИНФРАСТРУКТУРЕ МКС

Климов[1] С.И., Зелёный[1] Л.М., Новиков[1] Д.И., Осадчая[1] Л.А., Грушин[1] В.А., Мёрзлый[1] А.М., Летуновский[1] В.В., Эйсмонт[1] Н.А., Костров[2] А.В.

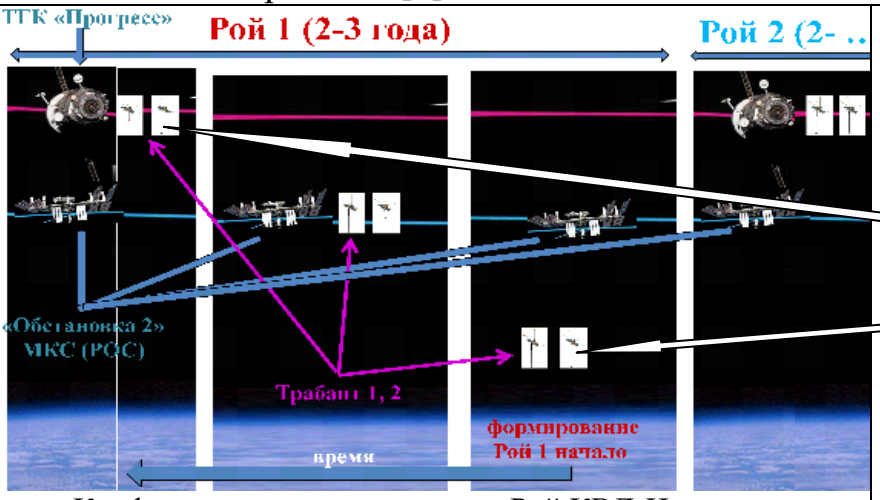
[1]*ИКИ РАН, г. Москва, Россия*

[2]*ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

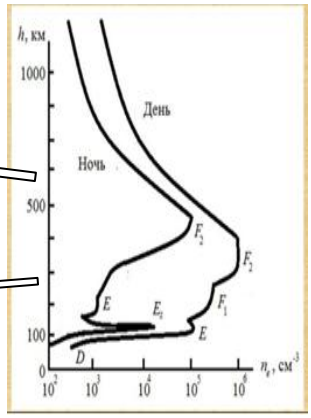
sklimov@iki.rssi.ru

Научное обоснование микроспутниковой миссии «Рой КВД-И» касается многомасштабных исследований плазменных процессов в ключевых областях ионосферы с неоднородностями концентрации плазмы, электрических и магнитных полей, плазменно-волновой активности. Важнейшим фактором формирования «Рой КВД-И» (см. Рис.), реализуемого в инфраструктуре МКС или РОС из 3-6 микроспутников массой до 100 кг, является использование:

- опыта работы на орбите в ходе реализации на МКС эксперимента «Обстановка (1 этап)» [1] комбинированной волновой диагностики (КВД), и работы микроспутника «Чибис-М» (25.01.2012 - 15.10.2014г.) [2];
- конструкторско-технологического опыта, накопленного при выполнении этапов Эскизного проектирования на МКС экспериментов «Чибис-АИ» и «Трабант» [3].



Конфигурация в пространстве «Рой КВД-И»



n_e по высоте

Литература

1. Климов С.И. и др. Исследования в ионосфере электромагнитных параметров космической погоды в эксперименте «*Обстановка (1 этап)*» на Российском сегменте МКС. Космическая техника и технологии № 1(32)/2021, стр. 20-41.
2. Зелёный Л.М., Гуревич А.В., Климов С.И. и др. Академический микроспутник Чибис-М. Космические исследования, 2014, том 52, № 2, с. 93–105.
3. Kostrov A. et al. New diagnostics to measure the density and wave processes in the ionospheric plasma on board of microsatellite «TRABANT». The 4th COSPAR Symposium, November 4-8, 2019, Daniel Hotel, Herzliya, Posters, A1, p. 52.

МЮОННЫЕ ГОДОСКОПЫ УНУ НЕВОД

Компаниец К.Г.
НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия
kgkompaniyets@mephi.ru

Мюонные годоскопы позволяют измерять угловые распределения мюонов космических лучей (КЛ) с точностью ~ 1˚и использовать метод мюонографии [1] для исследования гелиосферных процессов.

Первой в мире попыткой реализации широкоапертурного мюонного годоскопа для исследования вариаций КЛ на поверхности Земли является установка ТЕМП [2], созданная в МИФИ в 1995г. В период с 2005 г. по 2006 г. был создан мюонный годоскоп УРАГАН [3], детектирующей системой которого являются камеры стримерных трубок, а основой регистрирующей системы - специально разработанные платы быстрого считывания. В период с 2010 г. по 2015 г. был создан Автоматизированный мюонный годоскоп [4], детектирующей системой которого являются сцинтилляционные стрипы, а основой регистрирующей системы - специализированная микросхема считывания и обработки сигналов с мультианодного ФЭУ.

Начиная с 2007 года по настоящее время ведется непрерывная регистрация гелиосферных процессов.

Приводятся результаты регистрации различных гелиосферных событий – GLE, КВМ, Форбуш-понижений, вызванных солнечной активностью в потоке космических лучей, зарегистрированных с помощью мюонных годоскопов УНУ НЕВОД.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание, проект «Фундаментальные и прикладные исследования космических лучей», № FSWU-2023-0068).

Литература

1. N. S. Barbashina et al. Method of Muonography and Prospects of Its Further Development. //November 2021 Physics of Atomic Nuclei 84(6):1182-1194.
2. В.В.Борог и др. Мюонный годоскоп для исследования солнечно-земных связей в области энергий больше 10 ГэВ. // Изв.РАН. сер.физ.,1995, т.59, вып.4, с.191-194.
3. Н.С.Барбашина и др. Широкоапертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН. // Приборы и техника эксперимента, 2008, № 2, с. 26-32
4. N.V. Ampilogov et al. Muon hodoscope with scintillation strips. // Physics Procedia 74 (2015) 478 – 485 doi: 10.1016/j.phpro.2015.09.236 Conference of Fundamental Research and Particle Physics, 18-20 February 2015, Moscow

БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Никифоров В.Е.
ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия
nika@izmiran.ru

Результаты прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий определяются необходимым объемом и адекватностью экспериментальных данных, полученных при работе соответствующих приборов и комплексов в полевых условиях. В зависимости от конкретного назначения, используется портативное, носимое, переносное, перевозное и другое мобильное и стационарное оборудование. При этом значительную часть массы, габаритов, стоимости и затрат на транспортировку и обслуживание приходится на автономную систему электроснабжения (СЭС), обеспечивающую надежное бесперебойное электроснабжение аппаратуры во всех режимах функционирования.

В экстремальных условиях эксплуатации, а также при предельно высоких и низких рабочих температурах, требования к характеристикам элементов автономных систем электроснабжения и качеству электроэнергии ужесточаются. Возрастают требования к удельным энергетическим и мощностным показателям систем и элементов, соответствующим циклограммам нагрузки, уровням собственного энергопотребления, КПД, электромагнитной совместимости и другим параметрам, что вызывает необходимость применения максимально эффективных современных элементов и оптимальных технических решений по их функционированию и взаимодействию в составе систем. Используются высокоэнергоемкие и высокомощные литий-ионные аккумуляторы, обратимые термопреобразователи, импульсные электромагниточистые и резонансные LCD-преобразователи, устройства нивелирования разбаланса аккумуляторных батарей активного типа, гибкие модули солнечных батарей, дискретные секционированные регуляторы избыточной мощности, пассивные и активные термоконтейнеры для аппаратуры и батарей, и т.д.

Унификация конструктивных, схемотехнических, структурных решений, на основе унифицированного ряда функциональных модулей (УФМ) позволяет создавать высокоэффективные автономные СЭС для различных комплексов гелиогеофизической аппаратуры практически на любом энергетическом уровне с заданными техническими характеристиками. Данные соображения подтверждены результатами эксплуатации автономных систем электроснабжения, выполненных в ИЗМИРАН для электропитания аппаратуры георадара, оборудования для передвижного наземного комплекса ОНЧ-регистрации и других систем.

МАГНИТНО-ИОНОСФЕРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ КАЛИНИНГРАДСКОГО ФИЛИАЛА ИЗМИРАН

Карпов И.В.[1], Лещенко В.С. [1], Носиков И.А.[1]
[1]КФ ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия
ianosikov@wdizmiran.ru

Магнитно-ионосферная обсерватория Калининградского филиала ИЗМИРАН, ранее Калининградская комплексная ионосферная станция (КИС) была образована в 1962 г. Первым расположением КИС стал Ладушкин – небольшой поселок недалеко от Калининграда. Основной задачей КИС было проведение регулярных ионосферных наблюдений. Первоначально автоматическая ионосферная станция вертикального (АИС) зондирования ионосферы была расположена в одной из квартир жилого дома сотрудников ИЗМИРАН, построенного в Ладушкине. Позже, в нескольких километрах от Ладушкина, на территории 29 га была создана инфраструктура для ионосферных и геомагнитных наблюдений. В 1965 г. КИС преобразована в Комплексную магнитно-ионосферную обсерваторию (КМИО), впоследствии вошедшая в состав Западного отделения ИЗМИРАН (ныне Калининградский филиал ИЗМИРАН). В обсерватории организованы непрерывные наблюдения за параметрами атмосферы, ионосферы и геомагнитного поля. Основу измерительного комплекса составляют: ионозонд Парус-А; двухчастотные приемники систем GPS/ГЛОНАСС; магнитные вариационные станции; метеостанция. За последние годы в обсерватории введены в эксплуатацию новые инструменты: СДВ-приемник, микробарометр для определения волновой активности в рассматриваемом регионе и камера всего неба для регистрации различного вида свечений на высотах мезосферы и термосферы.

Рис. 1. 70-летие Октября. Коллектив после вручения знамени профсоюза работников образования и науки за трудовые достижения. 16 ноября 1987 г.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ПОТОКА МЮОНОВ И ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДАРОВ

Тимаков[1] С.С., Петрухин[1] А.А.
[1]НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия
sstimakov@mephi.ru

В НОЦ НЕВОД был разработан метод наблюдения за состоянием атмосферы, основанный на анализе потоков мюонов с различных азимутальных направлений на трех независимых супермодулях мюонного годоскопа УРАГАН [1] – метод азимутального сканирования [2]. В работе результаты, полученные новым методом, сравниваются с данными доплеровских метеорологических радаров, покрывающих большую часть западной России и Москву.

Благодаря показаниям радаров можно сопоставлять отклики, получаемые с помощью метода, с относительно небольшими атмосферными явлениями: локальными волнами, крупными облаками и т.п., а также отслеживать особые явления, которые проявляются с течением времени, и которые могли проходить в "скрытом" состоянии через зону наблюдения УРАГАНа. На примере откликов на некоторые события за апрель и май 2024 года (прохождение фронтов, гроз и особых явлений через Москву) обсуждаются основные результаты метода азимутального сканирования и некоторые проблемы, которые сейчас стоят перед ним.

Также в работе рассматривается вопрос о природе откликов, регистрируемых этим методом, и анализируются основные закономерности между откликами и состоянием атмосферы в зоне наблюдения по данным GDAS.

Литература

1. Шутенко В.В. и др. Данные мюонного годоскопа УРАГАН в реальном времени // Изв. РАН. Сер. Физ. Т. 79. № 5. С. 714. 2015.
2. Timakov S.S. et al. Investigation of Atmospheric Fronts by Means of Cosmic Ray Muon Flux // Physics of Atomic Nuclei. V. 86. I. 6. P. 1114-1118. 2023.

ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИОНОЗОНДА «ПАРУС-А» И ПЕРСПЕКТИВЫ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ОБСЕРВАТОРИИ КФ ИЗМИРАН

Тимченко А.В., Носиков И.А., Клименко М.В., Карпов И.В., Лещенко В.С.

Калининградский филиал ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия

timchenko.leks@gmail.com

Магнитно-ионосферная обсерватория Калининградского филиала ИЗМИРАН осуществляет непрерывный мониторинг основных параметров ионосферы методом вертикального зондирования (ВЗ) с 1963 г. Первым инструментом стала автоматизированная ионосферная станция (АИС), которая проработала в общей сложности 38 лет и в 2002 г. была заменена ионозондом "БАЗИС-1", который был изменен и преобразован в "БАЗИС-М". Изначально, до переоборудования, этот ионозонд применялся в качестве экспедиционного. Впоследствии на смену БАЗИСу пришёл аналого-цифровой ионозонд "ПАРУС-Э", а с 2012 г. "ПАРУС-М", который работает и по сей день.

В настоящее время продолжаются непрерывные наблюдения параметров ионосферы в 15-ти минутном режиме. Получаемые данные проходят автоматическую обработку, после чего часовые данные дополнительно обрабатываются оператором и осуществляется построение f-графиков.

Дальнейшее развитие радиофизических средств мониторинга ионосферы на базе обсерватории может быть связано с расширением видов диагностики, включая наклонное (Калининград - Троицк) и возвратно-наклонное зондирования. Прикладная цель состоит в получении оперативной и непрерывной информации об ионосферной плазме и обеспечения прогноза оптимальных рабочих частот на выбранной радиотрассе. Фундаментальная цель — исследование физических процессов в ионосфере в западном регионе страны (Восточной Европе) на основе данных наблюдений, а также решение обратной задачи восстановления ионосферной среды и коррекции ионосферных моделей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10004, https://rscf.ru/project/23-77-10004/.