

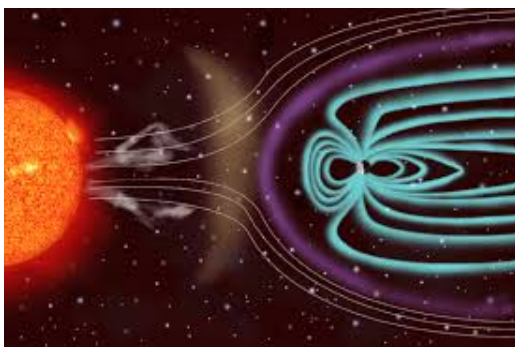
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований и
распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской академии наук



СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сборник тезисов докладов
XIV международной конференции

с. Паратунка, Камчатский край
29 сентября – 3 октября, 2025 г.



с. Паратунка
2025 г.

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation
Federal State Budget Research Institution
Institute of Cosmophysical Research
and Radio Wave Propagation
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences



SOLAR-TERRESTRIAL RELATIONS AND PHYSICS
OF EARTHQUAKES PRECURSORS

XIV INTERNATIONAL CONFERENCE

v. Paratunka Kamchatskiy kray

September 29 – October 3, 2025
COLLECTION OF THE ABSTRACTS

v. Paratunka
2025

УДК 551.509.336 + 550.344.37

Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: XIV международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 29 сентября – 03 октября 2025 г. : сб. тез. докл. – Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2025. – 212 с.

Представлены доклады, посвященные результатам оригинальных исследований физических процессов в различных слоях атмосферы, околоземном космическом пространстве и твердой оболочке Земли. Рассмотрены вопросы влияния солнечной активности на магнитосферу и ионосферу Земли. Представлены современные методы сбора, обработки, передачи и обмена геофизическими данными. Тезисы печатаются в авторской редакции.

Ключевые слова: физика атмосферы, магнитосфера, геофизические поля, предвестники землетрясений.

Конференция проводилась в рамках государственного задания по теме «Взаимодействие физических процессов в системе ближнего космоса и геосфер» (рег. № темы 124012300245-2).

© ИКИР ДВО РАН, 2025

Solar-terrestrial relations and physics of earthquakes precursors: XIV International Conference, Paratunka, Kamchatka, September 29 – October 3, 2025: Book of Abstracts. – Paratunka: IKIR FEB RAS, 2025. – 212 p.

Proceedings on the results of original investigations of physical processes in various layers of the atmosphere, near-Earth space and the solid Earth are presented. Issues of solar activity impact on the Earth magnetosphere and ionosphere are considered. Modern methods of geophysical data acquisition, processing, transfer and exchange are under discussion. Abstracts under authors edition are published.

Key words: atmosphere physics, magnetosphere, geophysical fields, earthquake precursors.

The Conference was arranged within the framework of the State Task on the subject «Interaction of physical processes in the system of near space and geospheres» (subject registration No. 124012300245-2).

© IKIR FEB RAS, 2025

Содержание

1	Физика атмосферы	21
1.1	Громова О.В., Уленеков О.Н., Бехтерева Е.С. Комплексное прецизионное исследование спектров высокого разрешения дейтерированного метана в районе 4.1-5.5 мкм	22
1.2	Борков Ю.Г., Сулакшина О.Н., Сеница Л.Н. Анализ спектра изотопологов окиси азота в области 1.86 мкм	22
1.3	Миронова И., Бобров Н., Доронин Г., Миронов А. Отклик атмосферы на солнечное и геомагнитное воздействие в 2024 году	23
1.4	Смирнов С.Э. Определение хорошей погоды для измерения атмосферного электричества	25
1.5	Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздецкий Б.Б. Энергетические спектры во время возрастания фонового гамма-излучения в Заполярье и в средних широтах	25
1.6	Ясюкевич Ю.В., Васильев Р.В., Рубцов А.В., Егоров Я.И., Коллаборация ИСЗФ СО РАН. Экстремальная магнитная буря 10–19 мая 2024 г.: взаимодействие нейтральной и заряженной компонент верхней атмосферы и воздействие на радиотехнические системы	27
1.7	Пархомов В.А., Мишин В.В., Марчук Р.А., Довбня Б.В., Баишев Д.Г., Хомутов С.Ю., Еселевич В.Г., Шиокава К. Особенности глобального распространения геомагнитных пульсаций Pc1s	28
1.8	Егоров Я.И. Прогнозирование индекса $F_{10.7}$ с использованием алгоритма вариационной модовой декомпозиции и модели машинного обучения TiDE	29
1.9	Дэспирак И.В., Сецко П.В., Любич А.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н. Геомагнитно-индуцированные токи (GIC) во время двух событий космической погоды в мае и октябре 2024 г.	30
1.10	Ясюкевич Ю.В., Астафьева Е., Егоров Я.И., Киселев А.В., Лебедев В.П., Малецкий Б.М., Падохин А.М., Салимов Б.Г., Веснин А.М. Глобальные навигационные спутниковые системы для изучения ионосферы Земли	31

1.11	Аронов Г.А., Котов Д.С., Наумов А.О., Кодымов А.А., Лазюк В.М. Программно-аппаратный комплекс на базе специализированных наземных средств и малого космического аппарата для исследования процессов в ионосфере и магнитном поле Земли на территории Беларуси	32
1.12	Чеснокова Т.Ю., Фирсов К.М., Размоллов А.А. Влияние вариаций общего содержания водяного пара на радиационный форсинг углекислого газа и метана в атмосфере	33
1.13	Марченко Л.С., Паровик Р.И. Метод линейной экстраполяции динамических спектров вистлеров, зарегистрированных на Камчатке для расчёта носовой частоты	34
1.14	Кумыков Т.С., Паровик Р.И. Математическое моделирование динамики электрического поля внутри фрактальной облачной среды	35
1.15	Мандрикова О.В., Мандрикова Б.С. Моделирование и анализ данных о вариациях потока космических лучей на основе методов машинного обучения: применение в задачах космической погоды	37
1.16	Дементьева С.О., Благина А.П., Куликов М.Ю. Численный прогноз гроз над территорией метрополиса с учетом различной аэрозольной нагрузки	38
1.17	Диденко К.А., Коваль А.В., Ермакова Т.С., Фадеев А.С. Численное моделирование влияния фаз КДК и ЭНЮК на волновые процессы в атмосфере	40
1.18	Богомоллов В.В., Белов А.А., Богомоллов А.В., Воскресенсков Е.Д., Июдин А.Ф., Климов П.А., Кучеренко И.А., Мурашов А.С., Свертилов С.И. Полезная нагрузка для изучения атмосферных гамма-вспышек и транзиентных явлений на борту малого спутника «Скорпион»	41
1.19	Уленеков О.Н., Бехтерева Е.С., Громова О.В. Прецизионное определение положений линий молекулы СО в широком спектральном диапазоне от микроволн до видимой области спектра	42

1.20	Благина А.П., Дементьева С.О., Шаталина М.В. Региональная параметризация плотности молний на основе подсчёта объёмов с заданной радиолокационной отражаемостью	43
1.21	Кудринская О.В., Паровик Р.И. Исследование динамических процессов в условиях неопределённости на примере задачи метеорологии	44
1.22	Дэспирак И.В., Любчик А.А., Ягодкина О.И. Суперсуббури во время супербури 10-12 мая 2024 года . . .	46
1.23	Бехтерева Е.С., Громова О.В., Уленев О.Н. Колебательная структура и спектр поглощения метана в широком диапазоне вплоть до видимой области спектра	47
1.24	Куликов М.Ю., Беликович М.В., Чубаров А.Г., Дементьева С.О., Фейгин А.М. Развитие методов исследования физико-химических процессов в мезосфере–нижней термосфере по данным спутникового зондирования	48
2	Геофизические поля и их взаимодействие	49
2.1	Фещенко Л.К., Водинчар Г.М. Модель 6-ячейкового геодинамо с двумя видами расположения ячеек . . .	50
2.2	Полозов Ю.А., Мандрикова О.В. Применение нейронных сетей Колмогорова-Арнольда в задачах анализа и прогноза геомагнитного индекса Dst	50
2.3	Семаков Н.Н., Уколов Д.А. Оценка скорости перемещения южного магнитного полюса в XIX–XXI веках	51
2.4	Абунина М.А., Маурчев Е.А., Шлык Н.С., Белов А.В., Абунин А.А. Автоматический алгоритм выделения геомагнитных бурь	52
2.5	Колпак В.И., Могилевский М.М., Евдокимова М.А., Чугунин Д.В., Андреевский С.Е., Шлюгаев Ю.В., Жильцов М.В. Характеристики сигналов низкочастотных передатчиков по наблюдениям на спутниках «Ионосфера».	52
2.6	Леоненко М.В., Григоренко Е.Е., Зеленый Л.М. Характеристики токонесущей популяции электронов в интенсивных токовых слоях в хвосте земной магнитосферы	53

2.7	Лисюткин С.С., Вединчар Г.М., Казаков Е.А., Фещенко Л.К. База данных параметров собственных мод полей геодинамо и коэффициентов спектральных моделей геодинамо	54
2.8	Чугунин Д.В., Котова Г.А. Зависимость плотности плазмы в плазмосфере от географической долготы по данным спутниковых измерений	55
2.9	Малкин Е.И., Шевцов Б.М., Казаков Е.А., Чернева Н.В., Санников Д.В. Определение вы- соты грозового разряда методом многолучевой интерферометрии	56
2.10	Соловьева М.С., Коркина Г.М., Булатова Н.Р., Касимова В.А. Возмущения параметров среднеши- ротных суб-ионосферных сигналов во время сильных и экстремальных геомагнитных бурь	56
2.11	Зинкин Д.В., Пилипенко В.А. Вызывают ли солнеч- ные вспышки и межпланетные ударные волны земле- трясения?	57
2.12	Пак Г.Д., Салихов Н.М., Нуракинов С.М., Щепетов А.Л. Экспериментальный комплекс для ис- следований аномальных эффектов в геофизических полях в регионе северного Тянь-Шаня	58
2.13	Гринберг М.А., Ильин Н.В., Немцова Ю.А., Сарафанов Ф.Г., Иванова А.В., Долинин А.А., Пирогова П.А., Воденеев В.А., Мареев Е.А. Влияние сверхнизкочастотных магнитных полей Шума- новского диапазона на электрические реакции у растений	60
2.14	Мингалева А.О., Благовещенская Н.Ф., Калишин А.С., Егоров И.М., Борисова Т.Д. Эффекты солнечной вспышки X3.9 класса на высокоширотную ионосферу 10 мая 2024 года	61
2.15	Павлова В.Ю., Акбашев Р.Р. Опыт применения мето- да георадиолокации в районах активного вулканизма	62
2.16	Свертилов С.И., Богомоллов В.В., Богомоллов А.В., Июдин А.Ф., Калегаев В.В., Мягкова И.Н., Оседлю В.И. Эксперименты на спутниках Москов- ского университета по изучению верхней атмосферы и мониторингу космической погоды	63

2.17	Рябова С.А. Геомагнитный отклик на землетрясение магнитудой 7,7 в Мьянме 28 марта 2025 г.	65
2.18	Рябова С.А. Ионосферный отклик на цунами после землетрясения Тохоку-оки 2011 года	66
2.19	Оседло В.И., Павлов Н.Н., Рубинштейн И.А., Свертилов С.И., Тулупов В.И. Многоуровневая группировка космических аппаратов для мониторинга радиации в околоземном пространстве	67
2.20	Хаердинов Н.С. Модель генерации сейсмического электрического поля в атмосфере	68
2.21	Касимова В.А., Копылова Г.Н. Модернизация станции электротеллурических наблюдений Верхняя Паратунка, Восточная Камчатка: первые результаты наблюдений	69
2.22	Сивоконь В.П. Мониторинг пульсаций РсЗ в условиях магнитной бури с использованием ОНЧ регистратора	70
2.23	Водинчар Г.М., Фещенко Л.К. Многомасштабная модель геодинамо управляемого 6-ячейковой конвекцией	71
2.24	Балабин Ю.В., Германенко А.В., Михалко Е.А., Гвоздецкий Б.Б. Новое событие GLE74 (11.05.24) в солнечных космических лучах	72
2.25	Евдокимова М.А., Могилевский М.М., Чугунин Д.В., Андреевский С.Е., Шлюгаев Ю.В., Жильцов М.В. Новый взгляд на традиционную задачу: свистящие атмосферерики	73
2.26	Кайсин А.В., Малкин Е.И. Перспективы однопунктовой пеленгации и дальнометрии в ОНЧ диапазоне на Камчатке.	74
2.27	Чугунин Д.В., Команда проекта «Ионосфера». Проект «Ионосфера»	75
2.28	Лутцева Е.А., Водинчар Г.М. Распознавание группы вистлеров в радиосигналах ОНЧ-диапазона	75
2.29	Гвоздарев А.Ю., Хомутов С.Ю., Сивоконь В.П., Учайкин Е.О. Регистрация геомагнитно-индуцированных токов на Мутновской геотермальной электростанции	76
2.30	Новиков В.А., Лазарева Е.А. Взаимосвязь сильных вариаций геомагнитного поля и сейсмической активности	76

2.31	Марапулец Ю.В., Руленко О.П., Мищенко М.А. Отклик акустической эмиссии приповерхностных осадочных пород на близкий грозовой разряд в пункте «Карымшина»	78
2.32	Салихов Н.М., Пак Г.Д., Нуракинов С.М., Щепетов А.Л. Сейсмогенные эффекты в вариациях геофизических полей перед землетрясением магнитудой М6.1 в регионе Северного Тянь-Шаня . .	79
2.33	Хомутов С.Ю., Гвоздарев А.Ю., Арора Кусумита, Лингала Манжула. Малые эффекты в магнитных измерениях на обсерваториях: влияние температуры . .	80
2.34	Хомутов С.Ю., Гвоздарев А.Ю. Малые эффекты в магнитных измерениях на обсерваториях: возможное влияние движения автомобилей по шоссе	81
2.35	Малкин Е.И. Спектральный метод пеленгации источников ОНЧ-излучения	82
2.36	Синеви́ч А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Пулинец С.А., Цибуля К.Г., Могилевский М.М. Исследование поляризационного джета/SAID на основе измерений российских спутников «Ионосфера-М» . .	82
2.37	Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздецкий Б.Б. Синхронные события множественности нейтронов на двух нейтронных мониторах	84
2.38	Маурчев Е.А., Диденко К.А. Оценка ионизации космическими лучами атмосферы Земли для области высоких широт во время солнечных протонных событий	85
2.39	Загорский Г.А, Мингалева А.О., Благовещенская Н.Ф., Калишин А.С., Егоров И.М. Поведение высокоширотной ионосферы в период магнитной супербури 10 - 13 мая 2024 года в западном секторе арктической зоны России	86
2.40	Байрамов А.А., Абдуллаев Ф.Н., Сулейманов С.С., Етирмишли Г.Дж., Микаылов Х.М. Влияние возмущений магнитного поля Земли на сейсмическую обстановку на территории Азербайджанской Республики	87
2.41	Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Белов С.М. Почему не все Форбуш-эффекты связаны с геомагнитными бурями?	88

3	Физика предвестников землетрясений	90
3.1	Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И. Сравнительный анализ численных методов решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии . . .	91
3.2	Твёрдый Д.А., Макаров Е.О., Паровик Р.И. О приложении эредитарной математической модели для оценки изменения плотности потока радона во временной окрестности сильных землетрясений на Камчатке . .	92
3.3	Короченцев В.И., Шевкун С.А., Наумов С.Б., Губко Л.В. Использование нейросетевых методов для обработки акустических сигналов при прогнозе землетрясений	93
3.4	Гапеев М.И., Марапулец Ю.В., Солодчук А.А. Изменение осей главных напряжений как возможная причина предсейсмических аномалий направленности геоакустического излучения в пункте наблюдений «Микижа»	94
3.5	Закупин А.С., Стовбун Н.С., Богомолов Л.М., Костылев Д.В., Дудченко И.П., Гуляков С.А. Развитие методов анализа данных измерений электротеллурических потенциалов	95
3.6	Закупин А.С. Особенности развития сейсмического процесса перед дуплетом землетрясений в Турции (06.02.2023, Mw=7.8, Mw=7.6)	96
3.7	Мищенко М.А., Сенкевич Ю.И. Геоакустические наблюдения в удаленном пункте «Крутоберегово» . . .	97
3.8	Богомолов Л.М., Родкин М.В., Сычев В.Н. Инстантонная модель потока форшок-афтершоковых событий (единый кинетический подход)	98
3.9	Сковпень Г.А., Паровик Р.И. Исследование динамики объемной активности радона с учетом напряженно-деформированного состояния геосреды	100
3.10	Шевцов Б.М., Шереметьева О.В. Литосферно-ионосферное взаимодействие и сопровождающие его явления	101
3.11	Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К. Мультипараметрический мониторинг в системе прогнозирования сильного землетрясения на Камчатке	102

3.12	Сенкевич Ю.И. Нейродетектор аномалий высокочастотной акустической эмиссии в периоды предшествующие и периоды следующие за сильными землетрясениями на Камчатке	103
3.13	Новиков В.А., Кульков Д.С., Паров С.В., Горынин И.П. Численные оценки и лабораторные исследования теплового механизма электромагнитного инициирования землетрясений	104
3.14	Шереметьева О.В., Шевцов Б.М. Свойства деформационного процесса в фазах форшоков и афтершоков для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги, определяемые дробными параметрами эмпирических функций распределения	105
3.15	Пилипенко В.А., Зинкин Д.В., Шлыков А.А., Касимова В.А. Поиск УНЧ сигналов от литосферных источников по магнитотеллурическим данным	106
3.16	Дубров М.Н., Александров Д.В., Ларионов И.А. Сейсмические измерения с помощью лазерных интерферометров-деформографов	107
3.17	Короченцев В.И., Шевкун С. А., Стаценко Л.Г., Наумов С.Б., Губко М.А., Грищенко В.В. Использование цифровых методов связи для краткосрочного прогноза землетрясений	108
3.18	Павлов А.В. Статистический анализ ионосферных возмущений, предшествующих наступлению землетрясений в Камчатском регионе	109
3.19	Липеровская Е.В., Родкин М.В. Статистика сейсмоионосферных эффектов в F-области ионосферы в ночное и дневное время по данным станции вертикального ионосферного зондирования Токио	110
3.20	Ларионов И.А., Дубров М.Н., Васькин В.А. Модернизация деформографа-интерферометра в пункте «Карымшина»: описание и результаты измерений	112
3.21	Балабин Ю.В., Тертышников А.В., Сыроешкин А.В., Обельченко Д.С. Вариации потока тепловых нейтронов 20-21.11.2024 г.	112

3.22	Стовбун Н.С., Богомолов Л.М., Закупин А.С., Дудченко И.П., Гуляков С.А., Костылев Д.В. Вари- ации вертикальной составляющей электротеллуриче- ского поля и сейсмическая активность южной части Сахалина в 2024-2025 годах	113
3.23	Баталева Е.А., Непеина К.С. Вариации параметров электромагнитного поля для сильных и слабых зем- летрясений Северного Тянь-Шаня	114
Авторский указатель		206

Content

1	Atmosphere physics	116
1.1	Gromova O.V., Ulenikov O.N., Bekhtereva E.S. A comprehensive precision study of high-resolution spectra of deuterated methane in the region of 4.1-5.5 μm . . .	117
1.2	Borkov Yu.G., Sulakshina O.N., Sinita L.N. Analysis of the spectrum of nitrogen oxide isotopologues in the region 1.86 μm	117
1.3	Mironova I., Bobrov N., Doronin G., Mironov A. Atmospheric responses to solar and geomagnetic forcing in 2024	118
1.4	Smirnov S.E. Determination of fair weather for atmospheric electricity measurements	120
1.5	Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B. Energy spectra during the increase of background gamma radiation in the Arctic and at mid-latitudes . .	120
1.6	Yasyukevich Y.V., Vasiliev R.V., Rubtsov A.V., Egorov Ya.I., ISTP SB RAS Collaboration Extreme Magnetic Storm of May 10–19, 2024: Coupling between Neutral and Charged Components of the Upper Atmosphere and the Effect on Radio Systems	122
1.7	Parkhomov V.A., Mishin V.V., Marchuk R.A., Dovbnya B.V., Baishev D.G., Khomutov S.Y., Eselevich V.G., Shiokawa K. Features of the global propagation of geomagnetic pulsations Pc1s	123
1.8	Egorov Ya.I. Forecasting $F_{10.7}$ index using the Variational Mode Decomposition Algorithm and the Deep-Learning Time-series Dense Encoder model	124
1.9	Despirak I.V., Setsko P.V., Lubchich A.A., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N. Geomagnetically Induced Currents (GICs) during space weather events in May and October 2024	125
1.10	Yasyukevich Y.V., Astafyeva E., Egorov Ya.I., Kiselev A.V., Lebedev V.P., Maletckii B.M., Padokhin A.M., Salimov B.G., Vesnin A.M. Global Navigation Satellite Systems to study the Earth's ionosphere	126

1.11	Aronov G.A., Kotov D.S., Naumov A.O., Kadytau A.A., Laziuk V.M. Hardware and software complex based on special-purpose surface facilities and a small spacecraft designed to investigate the ionosphere and geomagnetic field processes within the territory of Belarus	127
1.12	Chesnokova T.Yu., Firsov K.M., Razmolov A.A. Impact of total water vapor content variations on the radiative forcing of carbon dioxide and methane in the atmosphere	128
1.13	Marchenko L.S., Parovik R.I. Linear extrapolation method for dynamic spectra of whistlers recorded in Kamchatka to calculate nose frequency	129
1.14	Kumykov T.S., Parovik R.I. Mathematical modeling of electric field dynamics inside a fractal cloud environment	130
1.15	Mandrikova O.V., Mandrikova B.S. Modeling and Analysis of Cosmic Ray Flux Variations Data Using Machine Learning Methods: Application to Space Weather Problems	132
1.16	Dementyeva S.O., Blagina A.P., Kulikov M.Yu. Numerical forecast of thunderstorms over the metropolitan area taking into account different aerosol loads	133
1.17	Didenko K.A., Koval A.V., Ermakova T.S., Fadeev A.S. Numerical modeling of QBO and ENSO phase impact on the atmospheric waves processes	135
1.18	Bogomolov V.V., Belov A.A., Bogomolov A.V., Voskresenskov E.D., Iyudin A.F., Klimov P.A., Kucherenko I.A., Murashov A.S., Svertilov S.I. Payload for the study of atmospheric gamma-ray flashes and transient phenomena onboard small satellite “Scorpion”	136
1.19	Ulenikov O.N., Bekhtereva E.S., Gromova O.V. Precise determination of the line positions of CO molecule in a wide spectral range from microwaves to the visible spectrum	137
1.20	Blagina A.P., Dementyeva S.O., Shatalina M.V. Regional lightning density parameterization based on volumes with a certain radar reflectivity	138
1.21	Kudrinskaya O.B., Parovik R.I. Research of Dynamic Processes under Uncertainty Using a Meteorology Problem Example	139

1.22	Despirak I.V., Lubchich A.A., Yagodkina O.I. Supersubstorms during superstorm on 10-12 May 2024	140
1.23	Bekhtereva E.S., Gromova O.V., Ulenikov O.N. Vibrational structure and absorption spectrum of methane in a wide range up to the visible region of the spectrum	141
1.24	Kulikov M.Yu., Belikovich M.V., Chubarov A.G., Dementyeva S.O., Feigin A.M. Development of methods for studying physicochemical processes in the mesosphere - lower thermosphere based on satellite sensing data	142
2	Geophysical fields and their interaction	143
2.1	Feshchenko L.K., Vodinchar G.M. A model of a 6-cell geodynamo with two types of cell arrangement	144
2.2	Polozov Y.A., Mandrikova O.V. Application of Kolmogorov-Arnold neural networks to the tasks of analysis and forecasting of the geomagnetic index Dst	144
2.3	Semakov N.N., Ukolov D.A. Assessment of the south magnetic pole drift rate from the 19th to the 21st Century	145
2.4	Abunina M.A., Maurchev E.A., Shlyk N.S., Belov A.V., Abunin A.A. Automatic algorithm for geomagnetic storm selection	145
2.5	Kolpak V.I., Mogilevsky M.M., Evdokimova M.A., Chugunin D.V., Andreevsky S.E., Shlugaev Y.V., Zhiltsov M.V. Characteristics of low-frequency emission from ground based transmitter observed on "Ionosfera" satellites.	146
2.6	Leonenko M.V., Grigorenko E.E., Zelenyi L.M. Characteristics of the current carrying electron populations in the intense electron-scale current sheets in the Earth magnetotail	147
2.7	Lisytkin S.S., Vodinchar G.M., Kazakov E.A., Feshchenko L.K. Database of geodynamo fields eigenmodes parameters and geodynamo spectral models coefficients	148
2.8	Chugunin D.V., Kotova G.A. Dependence of plasmasphere density on geographic longitudes according to satellite measurements	149

2.9	Malkin E.I., Shevtsov B.M., Kazakov E.A., Cherneva N.V., Sannikov D.V. Determination of lightning discharge height by the multiple-beam interferometry method	149
2.10	Solovieva M.S., Korkina G.M., Bulatova N.R., Kasimova V.A. Disturbances of midlatitude sub- ionospheric signals during intensive and super geomagnetic storms	150
2.11	Zinkin D.V., Pilipenko V.A. Do solar flares and sudden storm commencements trigger earthquakes?	151
2.12	Pak G.D., Salikhov N.M., Nurakynov S.M., Shepetov A.L. Experimental complex for the study of anomalous effects in geophysical fields in the north Tien Shan region	151
2.13	Grinberg M.A., Ilin N.V., Nemtsova Yu.A., Sarafanov F.G., Ivanova A.V., Dolinin A.A., Pirogova P.A., Vodeneev V.A., Mareev E.A. Effect of extremely low-frequency magnetic fields in the Schumann resonance frequency band on electric reactions in plants	153
2.14	Mingaleva A.O., Blagoveshchenskaya N.F., Kalishin A.S., Egorov I.M., Borisova T.D. Effects of the X3.9 class solar flare on the high-latitude ionosphere on May 10, 2024	154
2.15	Pavlova V.Yu., Akbashev R.R. Experience of application the GPR method in areas of active volcanism	155
2.16	Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Bogomolo A.V., Iuydin A.F., Kalegaev V.V., Myagkova I.N., Osedlo V.I. Experiments on study upper atmosphere and space weather monitoring on-board Moscow university satellites	156
2.17	Riabova S.A. Geomagnetic response to the Mww 7.7 earthquake Myanmar on March 28, 2025	157
2.18	Riabova S.A. Ionospheric response to the tsunami after the 2011 Tohoku-oki earthquake	158
2.19	Osedlo V.I., Pavlov N.N., Rubinshtein I.A., Svertilov S.I., Tulupov Yu.V. Multi-satellite group of spacecraft for radiation monitoring in near Earth Space	159
2.20	Khaerdinov N. S. Model of seismic electric field generation in the atmosphere	160

2.21	Kasimova V.A., Kopylova G.N. Modernization of the Verkhnyaya Paratunka electrotelluric observation station, Eastern Kamchatka: first results of observations	161
2.22	Sivokon V.P. Monitoring Pc3 Pulsations in Magnetic Storm Conditions using a VLF Recorder	162
2.23	Vodinchar G.M., Feshchenko L.K. Multiscale model of a geodynamo driven by 6-cell convection	163
2.24	Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Mikhalko E.A., Gvozdevskiy B.B. New GLE74 (11.05.24) In Solar Cosmic Rays	164
2.25	Evdokimova M.A., Mogilevsky M.M., Chugunin D.V., Andreevsky S.E., Shlugaev Y.V., Zhiltsov M.V. New vision on traditional problems: whistlers	165
2.26	Kaisin A.V., Malkin E.I. Perspectives of one-point direction finding and distance measuring in VLF range in Kamchatka	166
2.27	Chugunin D.V., Ionosphere team. Project "Ionosphere" .	166
2.28	Lutseva E.A., Vodinchar G.M. Recognizing a group of whistlers in VLF radio signals	167
2.29	Gvozdev A.Y., Khomutov S.Y., Sivokon V.P., Uchaikin E.O. Registration of geomagnetically induced currents at the Mutnovskaya geothermal power plant . .	167
2.30	Novikov V.A., Lazareva E.A. Relationship between strong variations of geomagnetic field and seismic activity	168
2.31	Marapulets Yu.V., Rulenko O.P., Mishchenko M.A. Response of near-surface sedimentary rock acoustic emission on a close lightning stroke at "Karymshina" site	169
2.32	Salikhov N.M., Pak G.D., Nurakynov S.M., Shepetov A.L. Seismogenic effects in the variation of geophysical field before a M6.1 earthquake in the North Tien Shan region	170
2.33	Khomutov S.Y., Gvozdev A.Y., Arora Kusumita, Lingala Manjula. Small effects in magnetic measurements at observatories: influence of temperature	172
2.34	Khomutov S.Y., Gvozdev A.Y. Small effects in magnetic measurements at observatories: possible impact of car traffic on highways	172
2.35	Malkin E.I. Spectral method of direction finding of VLF radiation sources	173

2.36	Sinevich A.A., Chernyshov A.A., Chugunin D.V., Pulinets S.A., Tsybulya K.G., Mogilevsky M.M. Study of polarization jet/SAID based on measurements by Russian satellites Ionosfera-M	174
2.37	Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevskiy B.B. Synchronous neutron multiplicity events on two neutron monitors	175
2.38	Maurchev E.A., Didenko K.A. The Earth's atmosphere cosmic ray ionization estimation for the high latitude region during solar proton events	176
2.39	Zagorskiy G.A., Mingaleva A.O., Blagoveshchenskaya N.F., Kalishin A.S., Egorov I.M.. The behavior of the high-latitude ionosphere during the magnetic storm of May 10-13, 2024 in the western part of the Arctic region of Russia	177
2.40	Bayramov A.A., Abdullayev F.N., Suleymanov S.S., Yetirmishli G.Dj., Mikailov Kh.M. The influence of disturbances in the Earth's magnetic field on the seismic situation in the territory of the Republic of Azerbaijan .	178
2.41	Shlyk N.S., Belov A.V., Abunina M.A., Belov S.M. Why aren't all Forbush effects associated with geomagnetic storms?	179
2.42	Ali M., Nahayo E., Katamzi-Joseph Z., Tshisaphungo M. Statistical analysis of abnormal phase-shift quiet days in low/mid-latitudes during solar minimum and maximum phases of solar cycle 24	180
3	Physics of earthquake precursors	182
3.1	Sergienko D.F., Parovik R.I. Comparative analysis of numerical methods for solving a mathematical model of high-frequency geoaoustic emission	183
3.2	Tverdyi D.A., Makarov E.O., Parovik R.I. About application of the heredity mathematical model for estimation of radon flux density changes in the temporal vicinity of strong earthquakes in the Kamchatka	184
3.3	Korochentsev V.I., Shevkun S.A. Gubko L.V., Chen Xiao Lei. Applying neural network methods for acoustic signals processing in earthquake prediction .	185

3.4	Gapeev M.I., Marapulets Yu.V., Solodchuk A.A. Changes in the axes of the principal stresses as a possible cause of pre-seismic anomalies in the direction of geoacoustic radiation at the Mikizha observation point	186
3.5	Zakupin A.S., Stovbun N.S., Bogomolov L.M., Kostylev D.V., Dudchenko I.P., Gulyakov S.A. Development of methods for analyzing electrotelluric potential measurement data	187
3.6	Zakupin A.S. Features of the development of the seismic process before the earthquake doublet in Turkey (02/06/2023, Mw=7.8, Mw=7.6)	188
3.7	Mishchenko M.A., Senkevich Yu.I. Geoacoustic observations at the remote point “Krutoberegovo”	189
3.8	Bogomolov L.M., Rodkin M.V., Sychev V.N. Instanton pattern of foreshock - aftershock events flow (unified kinetic approach)	189
3.9	Skovpen G.A., Parovik R.I. Investigation of radon volume activity dynamics taking into account the stressed-deformed state of geomedium	191
3.10	Shevtsov B.M., Sheremetyeva O.V. Lithospheric-ionospheric interaction and its accompanying phenomena	192
3.11	Kopylova G.N., Serafimova Yu.K. Multiparametric monitoring in the strong earthquake forecasting system in Kamchatka	193
3.12	Senkevich Y.I. Neural-detector of high-frequency acoustic emission anomalies in periods preceding and following Strong earthquakes in Kamchatka	194
3.13	Novikov V. A., Kulkov D. S., Parov S. V., Gorynin I. P. Numerical estimates and laboratory studies of the thermal mechanism of electromagnetic earthquake initiation	194
3.14	Sheremetyeva O.V., Shevtsov B.M. Properties of the deformation process in the phases of foreshocks and aftershocks for the subduction zone of the Kuril-Kamchatka island arc determined by fractional parameters of empirical cumulative distribution functions	195
3.15	Pilipenko V.A., Zinkin D.V., Shlykov A.A., Kasimova V.A. Search for ULF signals from lithospheric sources using magnetotelluric data	196

3.16	Dubrov M.N., Aleksandrov D.V., Larionov I.A. Seismic measurements by means of laser strainmeters	197
3.17	Korochentsev V.I., Shevkun S.A., Statsenko L.G., Gubko M.A., Grischenko V.V. Application of digital communication methods for the earthquake short-term prediction	198
3.18	Pavlov A.V. Statistical analysis of ionospheric disturbances preceding the occurrence of earthquakes in the Kamchatka region	199
3.19	Liperovskaya E.V., Rodkin M.V. Statistics of seismoionospheric effects in the F-region of the ionosphere at night and during the day according to data from the Tokyo vertical ionospheric sounding station	200
3.20	Larionov I.A., Dubrov M.N., Vaskin V.A. Strainmeter-interferrometer upgrading at Karymshina site: description and measurement results	201
3.21	Balabin Yu.V., Tertyshnikov A.V., Syroeshkin A.V., Obelchenko D.S. Variations in the thermal neutron flux on November 20-21, 2024	202
3.22	Stovbun N.S., Bogomolov L.M., Zakupin A.S., Dudchenko I.P., Gulyakov S.A., Kostylev D.V. Variations in the vertical component of the electrotelluric field and seismic activity in the southern part of Sakhalin in 2024–2025	203
3.23	Bataleva E.A., Nepeina K.S. Variations of the electromagnetic field parameters for strong and weak earthquakes in the Northern Tien Shan	204

Author Index

209

1 Физика атмосферы

1.1 Комплексное прецизионное исследование спектров высокого разрешения дейтерированного метана в районе 4.1-5.5 мкм

Громова О.В., Уленков О.Н., Бехтерева Е.С.

Томский политехнический университет

В рамках реализации проекта по исследованию особенностей поглощения солнечной радиации метаном в Земной атмосфере выполнены высокоточные комплексные исследования колебательно-вращательной структуры молекулы дейтерированного метана (прецизионные положения линий и абсолютные интенсивности колебательно-вращательных линий) в диапазоне 4.1-5.5 мкм, где расположены девять силь взаимодействующих друг с другом колебательно-вращательных полос этой молекулы. В результате выполненных как экспериментальных, так и теоретических исследований получена информация (положения линий поглощения, абсолютные интенсивности линий, параметры модели молекулы) в разы превосходящая по объему полученной информации и точности имеющиеся в литературе данные.

Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета в рамках проекта ПРИОРИТЕТ-2030.

1.2 Анализ спектра изотопологов окиси азота в области 1.86 μm

Борков Ю.Г., Сулашкина О.Н., Синица Л.Н.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Оксид азота, являясь химически активной молекулой, играет важную роль в химии атмосферы, в механизмах генерации и деструкции озона. Молекула NO участвует в процессах горения, присутствует она и в спектре излучения ночных атмосфер планет и межзвездном пространстве. В настоящее время представляет интерес также инфракрасное свечение оксида азота в средней атмосфере при выпадении протонов высоких энергий. В свою очередь,

исследование спектров высоковозбужденных состояний этой молекулы и её изотопологов дает информацию о динамических процессах происходящих на внутри- и межмолекулярном уровне.

Для исследования спектра изотопологов окиси азота была выбрана смесь от компании IZOTOP, представленная двумя изотопологами: 80% $^{15}\text{N}^{18}\text{O}$ и 20% $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$. В результате изотопного обмена в такой смеси образовались все шесть изотопологов окиси азота. Спектр поглощения оксида азота регистрировался в диапазоне $4000 - 7000\text{ cm}^{-1}$ с помощью фурье-спектрометра Bruker IFS-125M со спектральным разрешением 0.0056 cm^{-1} . Зарегистрированный спектр был проанализирован в области $5200 - 5500\text{ cm}^{-1}$, где впервые были обнаружены колебательно-вращательные линии полосы 3-0 основных переходов между электронными состояниями $^2\Pi_{1/2}$ и $^2\Pi_{3/2}$ шести изотопологов окиси азота. В результате анализа было обнаружено 625 колебательно-вращательных линий, представляющих Λ -дублеты в полосе 3-0 основных переходов между электронными состояниями $^2\Pi_{1/2}$ и $^2\Pi_{3/2}$ с максимальным значением вращательного квантового числа $J=31.5$. Впервые были определены параметры Λ -расщепления в данной полосе, а также положения и относительные интенсивности как разрешенных компонент Λ -дублета, так и неразрешенных дублетов. Проведена взвешенная обработка частот зарегистрированных переходов и определены спектроскопические параметры для колебательных состояний $v=0, 3$. С найденными постоянными выполнены расчеты частот переходов в колебательной полосе 3-0 до $J=35.5$. Проведено сравнение рассчитанных частот переходов с приведёнными в базе HITRAN и проекте Exomol.

1.3 Отклик атмосферы на солнечное и геомагнитное воздействие в 2024 году

Миронова И., Бобров Н., Доронин Г., Миронов А.

Санкт-Петербургский государственный университет

В 2024 году произошла серия солнечных эруптивных событий, которые привели к мощным геомагнитным возмущениям. Экстремальная геомагнитная буря была зарегистрирована 10–11 мая 2024 года и стала самым мощным геомагнитным событием по ин-

дексу Dst за последние два цикла солнечной активности с момента геомагнитных бурь 2003 года. Еще несколько мощных геоэффективных солнечных событий привели к геомагнитным бурям в марте, июне и октябре. Все события сопровождались высыпаниями высокоэнергичных электронов и протонов, что в свою очередь не могло не повлиять на вариации состава верхней и средней атмосферы.

В работе представлено широтно-долготное распределение высыпаний энергичных частиц с энергией более 40 кэВ, оценки которых важны для изучения реакции внутренней ионосферы, верхней и средней атмосферы во время геомагнитных возмущений. В статье представлены проанализированные потоки частиц полученные со спутников POES (METOP01, METOP03, NOAA15, NOAA18 и NOAA19) во время событий, связанных с солнечными извержениями и геомагнитными событиями в 2024 году.

Здесь мы также оцениваем уязвимость озонового слоя по отношению к процессам космической погоды. Сезонные и широтные эффекты истощения озонового слоя, связанные с сильными геомагнитными бурями и геоэффективными солнечными событиями, рассматриваются отдельно. Мы показываем результаты увеличения HO_2 и HNO_3 , а также истощения озона во время высыпаний энергичных частиц. Мы используем мезосферные наблюдения HO_2 , HNO_3 и озона с помощью микроволнового лимбового зонда (MLS/Aura). Анализ наблюдений, проведенных с помощью MLS/Aura, показывает, что самые высокие отношения HO_2 и HNO_3 , а также самое глубокое разрушение озона наблюдаются внутри северного полярного вихря сразу после максимального потока энергичных частиц.

Благодарности

Исследование высыпаний протонов проводилось в рамках гранта СПбГУ, шифр проекта 124032000025-1. Изучение эффектов от высыпаний частиц в атмосфере Земли, проводилось в рамках договора между СПбГУ и НИИЯФ МГУ по гранту РФФИ № 22-62-00048.

1.4 Определение хорошей погоды для измерения атмосферного электричества

Смирнов С.Э.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Измерение атмосферного электричества очень чувствительно к погодным условиям. Определение хорошей погоды для атмосферного электричества осуществлялось методом экспертной оценки наблюдателя обсерватории. С переходом на автоматизированные цифровые методы измерений метеорологических параметров возникла необходимость определения критериев хорошей погоды. В данной работы разработаны критерии хорошей погоды по цифровым измерениям в летний и зимний период наблюдений исходя из ограниченного набора метеорологических инструментов. Создана база данных хорошей погоды с 2009 г. по настоящее время. Предложен алгоритм определения тумана в течение суток на основе измерений влажности воздуха. В суточном ходе атмосферного электричества иногда появляется эффект утреннего конвективного генератора. Время максимума утренней конвекции определяется временем восхода Солнца. Это порождает проблемы усреднения суточного хода электрического поля за большой период времени. Предложено учитывать отдельно дни с эффектом утреннего конвективного генератора и дни без этого эффекта при обработке длительных рядов данных. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания 124012300245-2.

1.5 Энергетические спектры во время возрастания фоновое гамма-излучения в Заполярье и в средних широтах

Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б.

Полярной геофизический институт

В Апатитах и в Ростовской области проводились измерения дифференциального энергетического спектра электромагнитного излучения в диапазоне 0.1-4 МэВ. Это излучение образуется в

атмосфере как вторичное излучение от взаимодействия космических лучей с атмосферой. Используемые спектрометры собраны на сцинтилляционных кристаллах NaI(Tl) диаметром 75х75 мм. Спектрометры калиброваны по линиям цезия-137, натрия-22 и кобальта-60, разрешение по линии 660 кэВ (цезий-137) составило 5.1%. В Апатитах спектрометр работает в режиме мониторинга спектра весь год, а летом 2023 г. на протяжении трех месяцев проводился мониторинг спектра фоновое гамма-излучения в средних широтах (ст. Тацинская, Ростовская область). В Апатитах зарегистрировано более пяти десятков возрастаний амплитудой больше 10%. В Тацинской за летний сезон зарегистрировано более десятка возрастаний гамма-излучения при осадках, аналогичных возрастаниям, наблюдаемым в Апатитах. Особый интерес представляет возможность измерения спектров во время гроз, которые в южных регионах России не редкость. Анализ спектров, измеренных в Апатитах и в Тацинской, показал, что спектры при возрастаниях весьма близки, хотя пункты наблюдений отличаются геофизическими и климатическими условиями. Изменения в спектрах во время возрастаний носят континуальный характер, влияние линий радионуклидов незначительное: энергия, принесенная квантами, излученными радионуклидами, составляет около 10% от полной энергии квантов, составивших возрастание. В обоих пунктах определен верхний энергетический предел для излучения, связанного с возрастанием. Он равен 2.5 МэВ для Апатитов и Тацинской. Особенностью климата Ростовской области являются «сухие» грозы: высокая грозовая активность при отсутствии каких-либо осадков. Обнаружено, что «сухие» грозы не вызывают возрастания гамма-излучения и никак не проявляются в спектрах. В то же время даже небольшие осадки (порядка 1-2 мм, когда сухая земля только чуть смачивается дождем) без какой-либо грозовой активности вызывали возрастание и соответствующие изменения в спектре. Следовательно, можно уверенно делать заключение: сильные электрические поля между облаками не оказывают эффекта на поток гамма-излучения, возникающего в атмосфере от космических лучей и достигающего поверхности земли.

1.6 Экстремальная магнитная буря 10–19 мая 2024 г.: взаимодействие нейтральной и заряженной компонент верхней атмосферы и воздействие на радиотехнические системы

*Ясюкевич Ю.В., Васильев Р.В., Рубцов А.В., Егоров Я.И.,
Коллаборация ИСЗФ СО РАН*

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Активное освоение космического пространства в интересах решения задач связи, навигации, дистанционного зондирования Земли в последние десятилетия актуализирует изучение воздействия Солнца на Землю и требует создания эффективных моделей для прогноза космической погоды. Наиболее сильным проявлением космической погоды являются магнитные бури, порождающие возмущения в ионосфере и атмосфере. К таким событиям относится магнитная буря, начавшаяся 10 мая 2024 г., во время которой овал полярных сияний опустился до 19° с.ш.. За 20 лет со времени наблюдения прошлой магнитной бури подобной интенсивности были введены в строй новые научные установки в рамках проекта Национального гелиогеофизического комплекса РАН. Было зарегистрировано гигантское падение электронной концентрации (до 5 раз относительно фонового уровня) и рекордное свечение верхней атмосферы (превысившее в красной линии атомарного кислорода 25 кРл) даже по отношению к сильнейшим бурям 23-го цикла солнечной активности. Объединение оптических и радиофизических измерений в Восточной Сибири, дополненное данными глобальных сетей, продемонстрировало связь повышения температуры верхней атмосферы с резким уменьшением электронной концентрации в ионосфере на средних широтах из-за повышенной рекомбинации во время бури. Совмещение измерений сетей ионозондов и коротковолновых радаров продемонстрировало значительное ухудшение условий распространения радиоволн. Взаимодополняемость развернутых в настоящее время научных инструментов открывает новые возможности мониторинга состояния околоземного пространства, изучения и моделирования динамических процессов во время подобных экстремальных явлений с недоступной ранее детализацией.

Работа выполнена при поддержке РНФ №23-17-00157.

1.7 Особенности глобального распространения геомагнитных пульсаций Pc1s

*Пархомов В.А.¹, Мишин В.В.², Марчук Р.А.²,
Довбня Б.В.³, Башев Д.Г.⁴, Хомутов С.Ю.⁵,
Еселевич В.Г.², Шиокава К.⁶*

¹ Байкальский государственный университет

² Институт солнечно-земной физики СО РАН

³ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

⁴ Институт космофизических исследований и астрономии им.
Ю.Г. Шафера СО РАН

⁵ Институт космофизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН

⁶ Университет г.Нагоя

Приводятся результаты исследований широтно-долготных закономерностей геомагнитных пульсаций Pc1s на основе данных индукционных магнитометров на двух международных полигонах CARISMA (<https://www.carisma.ca>) и IUGONET (<https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/magne/>).

Впервые пульсации исследуемого типа были обнаружены и описаны в [Fukunishi et al. 1981; Довбня и Зотов, 1985]. Динамический спектр Pc1s представляет собой серию последовательных сигналов, частота (0.1 - 1 Гц). Квазипериод их повторения (5-12 минут) не зависят от широты пункта наблюдения. Колебания типичны для периодов умеренной магнитной активности и наблюдаются с большей вероятностью при $K_p = 1-2$. По утверждению авторов, случаев одновременного появления сигналов на разнесенных по широте станциях не было. Позднее Kim et al., [2015] наблюдали такие колебания в течение ~ 20 часов на полигоне CARISMA в диапазоне широт $L \sim 4-6$, но в узком долготном секторе ($\sim 20^\circ$). Мы наблюдали пульсации Pc1s на двух полигонах в диапазоне долгот $\sim 180^\circ$ и широт $\sim 25^\circ$. Приход диамагнитной структуры солнечного ветра (ДС СВ) вызвал суббурю, во время которой наблюдались несколько широкополосных цугов пульсаций PiB, а после ее окончания в течение 16 часов цуги Pc1s. Основные результаты:

1. Pc1s наблюдались после умеренной суббури ($SML \sim -500$ нТл) глобально по долготе от ст. Istok до ст. PINA и в диапазоне геомагнитных широт $40^\circ \div 64^\circ$.

2. Максимум амплитуды по широте соответствует статистической проекции плазмпанузы ($L \sim 4 - 6 \text{ Re}$).

3. Обнаруженное долготное запаздывание в регистрации пульсаций может быть связано с азимутальным дрейфом ионов, вызывающих генерацию пульсаций.

4. Обсуждаются два возможных источника ионов- проникновение альфа частиц из ДС СВ, а также ионов кислорода из ионосферы во время суббури.

1.8 Прогнозирование индекса $F_{10.7}$ с использованием алгоритма вариационной модовой декомпозиции и модели машинного обучения TiDE

Егоров Я.И.

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Точное прогнозирование параметров верхних слоев атмосферы имеет решающее значение для повышения эффективности работы спутников и снижения рисков, связанных с возвращением крупных обломков. Атмосферное сопротивление, которое существенно влияет на траектории космических аппаратов, в значительной степени зависит от солнечной активности. Одним из наиболее важных показателей солнечной активности является индекс $F_{10.7}$. В этом исследовании представлена новая модель глубокого обучения, разработанная для прогнозирования этого показателя. Предлагаемая модель объединяет алгоритм вариационной модовой декомпозиции (VMD) с нейронной сетью Time-series Dense Encoder (TiDE). Сравнительный анализ с существующими моделями показывает, что предложенный подход позволяет повысить точность прогнозирования индекса $F_{10.7}$ в два раза. Реализован ежедневный сервис онлайн-прогнозирования с горизонтами прогнозирования 7 и 27 дней.

Работа выполнена при поддержке РНФ №23-17-00157.

1.9 Геомагнитно-индуцированные токи (GIC) во время двух событий космической погоды в мае и октябре 2024 г.

*Дэспирак И.В.¹, Сецко П.В.¹, Любич А.А.¹, Сахаров Я.А.¹,
Селиванов В.Н.²*

¹ *Полярный геофизический институт*

² *Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ
РАН*

Изучено возникновение ГИТ в электрических цепях на северо-западе России во время двух мощных бурь космической эры 10–12 мая и 7–12 октября 2024 г. Анализ проводился для длительных периодов — с 10 по 12 мая и с 07 по 12 октября и основывался на прямых измерениях ГИТ на 3 станциях (Выходной, Лоухи и Кондопога), расположенных на широтах авроральной зоны от 62° до 69° GLAT°. Подтверждено, что источники ГИТ распределены по секторам MLT: источниками интенсивных ГИТ (15–30 А) в вечернем и ночном секторах были суббури и суперсуббури, а источниками ГИТ (15–30 А) в утреннем секторе были геомагнитные пульсации Pc5/Pi3. Кроме того, наблюдалось несколько сильнейших пиков GIC 50–62 А. Эти пики были вызваны суперпозицией этих источников и локальными магнитными возмущениями, вызванными большим скачком динамического давления солнечного ветра и поворотом BZ-компоненты ММП с отрицательных значений на положительные. Особенностью майской бури было наличие двух суперсуббурь (SSS) в ночном и дневном секторах. GIC в дневном секторе были связаны с интенсификацией восточного электроджета во время развития второго SSS.

1.10 Глобальные навигационные спутниковые системы для изучения ионосферы Земли

Ясюкевич Ю.В.¹, Астафьева Е.², Егоров Я.И.¹, Киселев А. В.¹,
Лебедев В. П.¹, Малецкий Б.М.²,
Падохин А. М.¹, Салимов Б. Г.¹, Веснин А. М.¹

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН*

² *Université Paris Cité, Institut de Physique du Globe de Paris
(IPGP), CNRS UMR*

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) предоставляют обширные наборы данных для изучения ионосферы Земли и различных аспектов влияния космической погоды. В докладе будут кратко рассмотрены экспериментальные исследования на основе ГНСС ионосферных эффектов от солнечных вспышек, солнечного терминатора, солнечных затмений, магнитных бурь и т.д. Подробно обсуждаются недавние события, такие как ионосферные эффекты землетрясения в Турции 2023 года или взрыва космического корабля Starship 18 ноября 2023 года. Такие исследования основаны на вариациях полного электронного содержания. Наша команда разработала бесплатную систему для обработки данных ГНСС — SIMuRG (<https://simurg.iszf.irk.ru>). Система может быть полезна для изучения ионосферной космической погоды. Мы также разработали инструмент для прогнозирования ПЭС и прогнозных индексов для управления ионосферными моделями.

Работа выполнена при поддержке РФФ №23-17-00157.

1.11 Программно-аппаратный комплекс на базе специализированных наземных средств и малого космического аппарата для исследования процессов в ионосфере и магнитном поле Земли на территории Беларуси

Аронов Г.А.¹, Котов Д.С.², Наумов А.О.³, Кодымов А.А.¹,
Лазюк В.М.¹

¹ Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси

² Унитарное предприятие Геоинформационные системы
Национальной академии наук Беларуси

³ Институт прикладной физики Национальной академии наук
Беларуси

За последние десятки лет наблюдается активное смещение северного магнитного полюса Земли со стороны Канадской Арктики в сторону России и учитывая что сейчас происходит пик активности 11-го солнечного цикла, как следствие на территории Беларуси стали гораздо чаще проявляться полярные сияния. Процессы возникающие в ионосфере и магнитном поле Земли способны оказывать серьезное воздействие на радиосвязь, радиолокацию, радионавигацию, авиационную безопасность, энергетику и др. Для изучения процессов происходящих в ионосфере и магнитном поле Земли на территории Беларуси разработан программно-аппаратный комплекс на базе специализированных наземных средств и малого космического аппарата. Комплекс позволяет оценить влияние «космической погоды» на различные аспекты технологической инфраструктуры. Разработка комплекса характеризуется особой актуальностью в связи с внедрением высокотехнологичных производств в нашей стране, а также с развитием космической отрасли и Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли.

1.12 Влияние вариаций общего содержания водяного пара на радиационный форсинг углекислого газа и метана в атмосфере

Чеснокова Т.Ю.¹, Фирсов К.М.², Размоллов А.А.²

¹ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*

² *Волгоградский государственный университет*

Потоки коротковолнового (солнечного) и длинноволнового собственного излучения поверхности и атмосферы Земли определяют радиационный баланс и регулируют циркуляцию атмосферы. Водяной пар играет ключевую роль в парниковом эффекте и влияет как на микроклимат отдельного региона, так и на глобальный климат. Тем не менее, согласно международным климатическим отчетам ИРСС, рост атмосферного содержания углекислого газа и метана рассматриваются сейчас как главный фактор происходящего потепления климата, тогда как вклад водяного пара в наблюдаемое в последнее столетие повышение температуры поверхности и атмосферы Земли проявляется через его обратные связи.

Мгновенный радиационный форсинг углекислого газа и метана (разность потоков ИК излучения при различном содержании H_2O и CH_4 в атмосфере Земли) является способом оценки влияния возрастания концентрации парниковых газов на нагрев атмосферы и поверхности Земли. В нашей работе на основе массовых расчетов сделаны оценки влияния общего содержания водяного пара в атмосфере на потоки ИК излучения и радиационный форсинг углекислого газа и метана за счет возрастания концентрации H_2O и CH_4 за последние 50 лет для условий средних широт (Нижнее Поволжье и Западная Сибирь). Вертикальные профили температуры и влажности брались согласно данным аэрологического и спутникового зондирования атмосферы. Статистическими методами исследовано влияние перекрывания полос поглощения H_2O с полосами H_2O и CH_4 на результаты расчета радиационного форсинга этих газов в атмосфере при различном содержании водяного пара.

Показано, что радиационный форсинг H_2O у поверхности Земли резко уменьшается при увеличении общего содержания H_2O в атмосфере, что приводит к меньшему нагреву поверхности Земли. Выявлено, что радиационный форсинг CO_2 в тропосфере с ростом влагосодержания возрастает по абсолютной величине, тогда как ради-

ационный форсинг ϵ_4 в тропосфере не зависит от величины общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1.13 Метод линейной экстраполяции динамических спектров вистлеров, зарегистрированных на Камчатке для расчёта носовой частоты

Марченко Л.С., Паровик Р.И.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Электромагнитные волны ОНЧ-диапазона, распространяющиеся вдоль силовых линий магнитного поля Земли, называются вистлерами. Известно, что с помощью вистлеров можно произвести расчет электронной концентрации плазмосферы, зная носовую частоту и абсолютное время группового запаздывания (предельную дисперсию). Однако такой расчет затрудняется тем, что на средних широтах вистлеры обычно регистрируются в диапазоне частот ниже носовой, что характерно для Камчатки. Кроме того, для определения времени задержки нужно знать запускающий атмосферик (молниевый разряд), что на спектрограмме это сделать практически невозможно. Поэтому обычно используются методы, основанные на экстраполяции следа вистлера по имеющейся части спектра.

В работе предложен метод линейной экстраполяции спектров вистлеров, зарегистрированных на Камчатке. Суть метода заключается в том, что формируется некий линейный функционал: $Q_i(f) = (t_i \sqrt{f_i})^{-1}$, где времена t_i и соответствующие им частоты f_i берутся из следа вистлера. Далее проводится экстраполяция прямой до пересечения с осью частот ($Q = 0$), что дает величину f_0 , которая линейно связана с носовой частотой f_n соотношением: $f_0 = \alpha f_n$, $\alpha = 3,09 \pm 0,04$. Кроме того, экстраполяция прямой $Q(f)$ до пересечения с осью ординат ($f = 0$) дает предельную дисперсию D_0 , которую можно получить из соотношения $Q_0 = 1/D_0$. Зная параметры f_n и D_0 можно рассчитать характеристику электронной

концентрации плазмосферы с помощью методики Парка в рамках модели диффузионного равновесия.

Далее в работе были проведены расчеты носовой частоты f_n и предельной дисперсии D_0 для зарегистрированных вистлеров на Камчатке, на основе которых были даны оценки электронной концентрации в плазмосфере.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

Экспериментальные данные, использованные в данной работе, были получены из Центра Коллективного Пользования «Северо-восточный гелиогеофизический центр» (ЦКП СВГЦ) СКР_558279.

1.14 Математическое моделирование динамики электрического поля внутри фрактальной облачной среды

Кумыков Т.С.¹, Паровик Р.И.²

¹ *Институт прикладной математики и автоматизации КБНЦ
РАН*

² *Институт космифизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

Одним из важнейших электрических параметров грозовых облаков является напряженность электрического поля измерение, которого является сложной задачей. В силу дороговизны натуральных экспериментов, дающие представление об электрических полях кучево-дождевых облаков, исследователям приходится прибегать к разработке математических моделей, которые могут заменить натурные наблюдения, да и к тому же в последние годы в связи с бурным развитием вычислительной техники численное моделирование приобретает все большее распространение. Поэтому разработка моделей, позволяющих исследование электрического состояния грозовой деятельности конвективных облаков носит весьма актуальный характер. Результаты исследований электрофизических процессов, протекающих в грозовых облаках отражены, как в классических работах прошлого столетия, так и в работах современных геофизиков, в которых облака рассматриваются без учета фрактальности

облачной среды. О фрактальной форме облаков геофизики заговорили после выхода работы Б. Мандельброта, хотя описание динамики самой облачной фрактальной среды остается проблемой. В настоящее время в направлении физики атмосферы создаются математические модели с применением одного из современных, научных понятий называемое фрактальной (дробной) динамикой.

В данной работе, считая конвективное облако фрактальной средой, рассматривается грозовая модель кучево-дождевых облаков, в которой учитывается влияние изменяющегося во времени параметра фрактальности среды на динамику напряженности электрического поля $E(t)$, начиная с некоторой начальной напряженности E_0 , которая описывается дробно-дифференциальным уравнением:

$$\frac{1}{\theta^{2-\alpha(t)}} \partial_{0t}^{\alpha(t)} E(t) + \frac{B_1}{\theta^{1-\beta(t)}} \partial_{0t}^{\beta(t)} E(t) + B_2 E(t) = 0 \quad (1)$$

где

$$B_1 = 2\pi\lambda_{\text{эф}} + \frac{\omega r_{\text{к}}}{r_{\text{г}}} - \frac{16}{3}\pi RnAr_{\text{г}}^2 v_{\text{г}}, B_2 = \frac{16}{3v_{\text{к}}}\pi RnAr_{\text{г}}v_{\text{г}}\omega r_{\text{к}}(v_{\text{г}} - v_{\text{к}}) + \\ + (4\pi \cdot \lambda_{\text{эф}} - 16/3\pi RnAr^2 v) \left(\frac{\omega r_{\text{к}}}{r_{\text{г}}} + \pi\lambda_{\text{эф}} \right),$$

$r_{\text{г}}$ – радиус градины; $r_{\text{к}}$ – радиус капли; $v_{\text{г}}, v_{\text{к}}$ – конечная скорость падения градины и капли; A – константа; ω – частота срыва капель с градины, $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективная проводимость, $t \in [0, T]$ – время, $T > 0$ – время моделирования, n – концентрация градин, $\theta > 0$ – характерное время процесса во фрактальной структуре грозового облака, дробные производные Герасимова-Капуто $1 < \alpha(t) < 2, 0 < \beta(t) < 1$:

$$\partial_{0t}^{\alpha(t)} E(t) = \frac{1}{\Gamma(2-\alpha(t))} \int_0^t \frac{\ddot{E}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\alpha(t)-1}}, \\ \partial_{0t}^{\beta(t)} E(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\beta(t))} \int_0^t \frac{\dot{E}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\beta(t)}},$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция. Для модельного уравнения (1) справедливы начальные условия: $E(0) = E_0, \dot{E}(0) = 0$, и за основу механизма генерации зарядов, принимаем электризацию при соударении градин с каплями. Разработанная модель учитывает два ключевых аспекта: фрактальные свойства облачной среды и ее характеристический параметр дробной структуры θ . В основе подхода лежит аппарат дробного интегро-дифференциального исчисления.

Исследование подтверждает, что временная фрактальность кучевых и дождевых облаков оказывает непосредственное влияние на внутриоблачные электродинамические процессы. В модели это свойство учитывается через: феноменологические параметры α и β , определяющие интенсивность изменения напряженности поля; характеристическое время θ его эволюции. Предлагаемый подход позволит: дополнить современную теорию грозового электричества, рассматривая облако как природный фрактальный объект; улучшить прогнозирование грозовой активности; усовершенствовать климатические модели; углубить понимание атмосферных электродинамических процессов. Значимость исследования заключается в создании теоретической основы для анализа взаимосвязи между фрактальной структурой облаков и их электрическими характеристиками.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИПМА КБНЦ РАН, рег. № 125031904215-5 (постановка задачи и интерпретация результатов) и государственного задания ИКИР ДВО РАН, рег. № 124012300245-2 (алгоритм расчета, компьютерное моделирование и визуализация результатов).

1.15 Моделирование и анализ данных о вариациях потока космических лучей на основе методов машинного обучения: применение в задачах космической погоды

Мандрикова О.В., Мандрикова Б.С.

*Институт космофизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

В настоящее время, с учетом активного развития информационных технологий, возможности построения моделей космофизических параметров и методов их исследования существенно расширяются. Актуальность таких задач обусловлена как теоретическими аспектами, например, изучением глобального строения Вселенной, так и прикладными направлениями, связанными с исследованием воздействия различных факторов космической погоды на околоземное пространство. В работе описаны разработанные авторами методы машинного обучения для анализа данных о вариациях потока космических лучей (КЛ), основанные

на комбинации нейронных сетей архитектур Автокодировщик и Колмогорова-Арнольда с вейвлет-фильтрацией. Методы позволяют подавить аппаратный белый шум, а также природные коррелированные помехи, связанные с циклами Солнечной активности. Численная реализация методов позволяет их использовать в оперативном режиме (в темпе поступления данных в систему обработки). Решается задача обнаружения Форбуш-эффектов, предшествующих и сопутствующих геомагнитным бурям. Используются данные наземных нейтронных мониторов высокоширотных станций [nmdb.eu]. В работе выполнено сравнение методов, с позиций их эффективности в задаче прогноза космической погоды. Предложены алгоритмические решения, использующие комбинации разработанных методов, для обнаружения и оценки параметров Форбуш-эффектов разного типа (внезапные короткопериодные повышения или понижения интенсивности потока КЛ, глубокие Форбуш-понижения, GLE-события). В докладе представлены результаты применения методов за период 2023–2025 гг, содержащие геомагнитные бури разной силы и физической природы. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

1.16 Численный прогноз гроз над территорией метрополиса с учетом различной аэрозольной нагрузки

Дементьева С.О.^{1,2}, Благина А.П.^{1,2}, Куликов М.Ю.^{1,2}

¹ *Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН*

² *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

Развитие численных моделей прогноза погоды является одним из наиболее эффективных способов своевременного предупреждения об опасных метеорологических явлениях и снижения рисков их негативных последствий. Преимуществом численного мезомасштабного моделирования является отсутствие привязки модели к конкретной территории, что делает численные модели универсальным инструментом исследования. Однако, для получения прогноза

с высокой точностью, как правило, необходим учёт локальных особенностей рассматриваемых территорий. Для территорий с существенными антропогенными выбросами одним из таких факторов является аэрозольная нагрузка. В работе выполнено численное моделирование конвективных событий на территории Нижегородской области с учетом различной аэрозольной нагрузки с целью улучшения качества прогноза грозовых событий. Центром рассматриваемой области является город Нижний Новгород — промышленный метрополис, расположенный в центральной части Восточно-Европейской равнины, в месте слияния рек Оки и Волги. В качестве базового инструмента численного моделирования в работе применяется мезомасштабная модель прогноза погоды WRF-ARW. Для определения электрических параметров грозовых облаков используется параметризация электрических процессов, в которую заложен безындукционный механизм разделения зарядов на твердых гидрометеорах. В работе выполнена серия численных экспериментов по учету различных уровней аэрозольной нагрузки. Для этого применялась параметризация микрофизических процессов, в которой в явном виде учитывается активация аэрозолей в виде конденсации облачных капель или льдинок. В данной параметризации численные значения концентраций аэрозолей можно брать из усредненных за 7 лет расчетов глобальной модели GOCART с разрешением 0.5 град. по долготе и 1.25 град. по широте. Кроме того, можно задавать произвольное начальное распределение аэрозолей. В частности, можно добавлять локальные особенности концентрации аэрозолей над городской агломерацией, не учтенные в модели GOCART в силу довольно грубого пространственного разрешения. Таким образом, за счет варьирования входного распределения аэрозолей в работе проведены численные эксперименты по моделированию грозовых событий с учетом различной аэрозольной нагрузки, проведены сравнение различных сценариев и верификация их результатов, а также выявлены оптимальные параметры моделирования в контексте улучшения качества прогноза гроз. Работа выполнена за счёт государственного задания ННГУ № 0729-2020-0037.

1.17 Численное моделирование влияния фаз КДК и ЭНЮК на волновые процессы в атмосфере

Диденко К.А.^{1,2}, Коваль А.В.^{1,3}, Ермакова Т.С.^{1,3}, Фадеев А.С.¹

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет*

² *Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук*

³ *Российский государственный гидрометеорологический университет*

С целью изучения влияния фаз квазидвухлетнего колебания зонального ветра в экваториальной стратосфере (КДК) и Эль-Ниньо Южного колебания (ЭНЮК) на стационарные и распространяющиеся на запад планетарные волны (ПВ) с различными зональными волновыми числами и периодами, была проведена серия численных экспериментов. Моделирование проводилось для условий бореальной зимы с использованием модели общей циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА). Результаты исследований показали, что воздействие естественных долгопериодных осцилляций в тропиках способно изменять амплитуды ПВ вплоть до 35% в областях их максимумов. В условиях Эль-Ниньо, независимо от фазы КДК, максимум амплитуды стационарной ПВ с зональным волновым числом 1 (СПВ1) смещается в сторону высоких широт. Структура амплитуд СПВ2 в основном противоположна структуре СПВ1. При комбинации восточной фазы КДК и теплой фазы ЭНЮК моделируются увеличения потоков восходящей волновой активности 5-, 10-, 7-дневных ПВ, а также амплитуд 10- и 7-дневных ПВ. Ослабления отдельных амплитуд ПВ и потоков волновой активности обычно наблюдаются в условиях западной фазы КДК, а также при комбинации Ла-Нинья/западная фаза КДК в особых случаях (например, для СПВ1). Важность исследований ПВ обуславливается их значительным влиянием на циркуляцию средней и верхней атмосферы, включая конфигурацию стратосферного полярного вихря, деформация которого может приводить к возникновению экстремальных погодных явлений в Арктическом и Азиатско-Тихоокеанском регионах в течение бореальной зимы.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда РФФ, грант # 25-47-00122.

1.18 Полезная нагрузка для изучения атмосферных гамма-вспышек и транзитных явлений на борту малого спутника «Скорпион»

*Богомолов В.В.^{1,2}, Белов А.А.¹, Богомолов А.В.¹,
Воскресенсков Е.Д.², Июдин А.Ф.¹, Климов П.А.¹,
Кучеренко И.А.², Мурашов А.С.¹, Свертилов С.И.^{1,2}*

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобелъцына*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет*

Запуск малого спутника Скорпион в формате кубсат 16U запланирован на 2025 год. Его полезной нагрузкой является комплекс научного оборудования НИИЯФ МГУ, предназначенный в первую очередь для изучения переходных явлений в верхних слоях атмосферы. Полезная нагрузка включает в себя гамма-спектрометр TGS, оптический и УФ-фотометр и спектрометр-спектрометр SONET, а также комплекс детекторов космического излучения и биоконтейнер для изучения влияния космических факторов на микроорганизмы. Спутник будет выведен на круговую полярную орбиту высотой 500 км, пригодную для наблюдений во всех районах, включая районы грозовой активности вблизи экватора и высокие широты, важные для изучения явлений, связанных с солнечной активностью.

Прибор TGS представляет собой сцинтилляционный гамма-спектрометр, который выполняет измерения в диапазоне от 50 кэВ до 10 МэВ. Он состоит из четырех модулей, обеспечивающих чувствительную область площадью около 250 см². Два модуля представляют собой позиционно-чувствительные детекторы, основанные на 64 детектирующих пикселях размером 10 мм × 10 мм × 20 мм, которые просматриваются полупроводниковыми фотоприемниками SiPM. Другие модули основаны на кристаллах CsI (Tl) большой площади. Прибор будет генерировать данные как в формате мониторинга, который содержит скорости счета в нескольких энергетических каналах, так и в формате событийной записи, который позволяет записывать временной профиль вспышки с точ-

ностью до микросекунд. Это необходимо для изучения TGF с характерной длительностью 200 микросекунд.

Прибор СОНЭТ предназначен для изучения пространственной и временной динамики и спектрального состава излучения от транзиентных атмосферных явлений и грозových разрядов. Он включает в себя телескоп AURA-T, представляющий собой высокочувствительный изображающий фотометр, спектрометр, основным назначением которого является определение типа и высоты вспышки, и камеру-обскуру, направленную на лимб с угловым разрешением 30 мрад.

Оба упомянутых прибора обеспечат совместное исследование верхней атмосферы, при этом для анализа также будут использованы данные других приборов полезной нагрузки спутника Скорпион. Суточный объем данных 100 МБ позволит передавать подробную информацию на Землю при одновременных измерениях всеми приборами.

1.19 Прецизионное определение положений линий молекулы СО в широком спектральном диапазоне от микроволн до видимой области спектра

Уленев О.Н., Бехтерева Е.С., Громова О.В.

Томский политехнический университет

Современные задачи физики атмосферы требуют повышения точности измерения и расчета поглощения солнечного излучения, проходящего через атмосферу Земли различными поглощающими компонентами атмосферы, одним из основных которых является СО. Как следствие, наличие высокоточной информации о параметрах спектральных линий поглощающих компонент атмосферы является весьма важным условием для успешного решения многочисленных задач атмосферной оптики и смежных областей науки.

В рамках развитого в группе молекулярной спектроскопии Томского политехнического университета нового уникального метода определения фундаментальных параметров молекул из высокоточных экспериментальных данных микроволнового и субмиллиметрового диапазонов шкалы длин волн на основе информации о положениях 30 микроволновых линий изотопологов $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$,

$^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ были определены с точностью в среднем на уровне 10^{-4} см^{-1} положения линий поглощения более чем 20 колебательно-вращательных полос различных изотопологов молекулы CO в широком спектральном диапазоне от микроволн до видимой области спектра. В докладе обсуждаются как особенности нового разработанного метода, так и результаты его приложения к определению спектра поглощения CO.

Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета в рамках проекта ПРИОРИТЕТ-2030.

1.20 Региональная параметризация плотности молний на основе подсчёта объёмов с заданной радиолокационной отражаемостью

Благина А.П.^{1,2}, Дементьева С.О.^{1,2}, Шаталина М.В.^{1,2}

¹ *Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН*

² *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

Для прогноза погоды в настоящее время широко используются численные модели, например, Weather Research and Forecasting Model (WRF). Для прогноза опасных конвективных метеоявлений, в частности, гроз, может использоваться как прямой расчёт электрических параметров атмосферы по данным моделирования, так и различные параметризации электрических процессов в атмосфере. В данной работе предлагается параметризация пространственной плотности молниевых разрядов по грозовым объёмам. Под грозовым объёмом понимается объём (количество ячеек модели), радиолокационная отражаемость которого превышает определённый порог. Радиолокационная отражаемость определяется по данным WRF. При подборе порогового значения отражаемости учитываются региональные особенности развития грозовых событий в различных широтах. Также выполняется поиск оптимальной методики применения порогового значения — ко всей модельной области, либо к области между изотермами, в границах которых разделение электрического заряда происходит наиболее эффективно. Разработанная параметризация будет

верифицирована по данным всемирной грозопеленгационной сети WWLLN. Работа выполнена за счёт государственного задания ННГУ № 0729-2020-0037.

1.21 Исследование динамических процессов в условиях неопределенности на примере задачи метеорологии

Кудринская О.В.¹, Паровик Р.И.²

¹ *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

² *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Исследование включает компьютерное моделирование атмосферных явлений, основанное на показателях атмосферного давления и использующее теорию нечетких множеств.

В настоящее время значительное внимание ученых направлено на разработку моделей динамических процессов, осложненных наличием неопределенности и нехваткой полноты исходных данных. Решением данной проблемы служит применение теории нечетких множеств, позволяющей анализировать ситуации, в которых стандартные методы с четким определением границ не обеспечивают требуемого уровня точности.

Динамические процессы, происходящие в сложных системах, зачастую подвержены влиянию внешних и внутренних колебаний, помех и случайных факторов, что порождает неопределённость в начальных условиях и входных параметрах. Классические математические модели нередко испытывают трудности при описании подобных ситуаций. Поэтому использование методов нечеткой логики приобретает особую значимость, поскольку даёт возможность отражать нечеткие характеристики объектов, нечётко очерченные границы и нечеткие вероятностные зависимости состояний системы.

Нечеткое множество представляет собой математическую модель класса с размытыми (нечеткими) границами. Основой этого подхода является логика, оперирующая нечеткой истинностью, размытыми связями и нечеткими правилами вывода. Нечёткая логика

широко применяется в различных научных областях и сегодня математическое моделирование с позиции нечетких множеств используется в тех научных областях, в которых трудно или невозможно получить точные количественные оценки. К таким направлениям можно отнести экономику, метеорологию, социологию и т.п. При решении сложных задач и анализе сложных систем было замечено, что чем сложнее система, тем менее точными становятся суждения о ее поведении, однако именно такие суждения часто имеют наибольшую практическую ценность.

Закономерности, определяющие поведение процессов и явлений в условиях неопределённости, тесно связаны со случайными событиями, способными развиваться неодинаково даже при абсолютно одинаковых обстоятельствах. Рассматривая такие закономерности как события, находящиеся в состоянии неопределённости, следует отметить, что само описание неопределённости существенно зависит от количества и качества имеющихся исходных данных. Таким образом, точный числовой анализ динамики сложных систем недостаточен для практического исследования реальных процессов или явлений. Это обстоятельство делает необходимым использование подходов, где объектами анализа являются не конкретные числа, а именно нечеткие множества.

Реализация алгоритма вычисления детерминированных и интегральных индексов ранжирования для описания характеристик атмосферных условий с привлечением нечетких множеств осуществляется в математической программной среде Maple2021 с применением библиотеки линейной алгебры LinearAlgebra. Исследования показали, что при умеренном или умеренно высоком атмосферном давлении на следующий день устанавливается более ясная и солнечная погода по сравнению с условиями чрезвычайно низкого давления.

В рамках исследования на примерах было показано, что интегральные индексы ранжирования дают более точные результаты по сравнению с традиционными детерминированными индексами. Ограничение детерминированных индексов заключается в игнорировании формы и вида функции принадлежности сравниваемых нечетких величин. Для устранения данного недостатка используют интегральные индексы ранжирования, которые позволяют учитывать особенности форм функции принадлежности и повышают точность анализа.

1.22 Суперсуббури во время супербури 10-12 мая 2024 года

Дэспирак И.В., Любчик А.А., Ягодкина О.И.

Полярный геофизический институт

Целью данного исследования является проведение детального анализа сильных геомагнитных возмущений во время супербури 10–12 мая 2024 года. Это была вторая по силе геомагнитная буря космической эры (SYM/H -518 нТл). Главная фаза бури наблюдалась с 17:15 UT 10 мая до 02:15 UT 11 мая, фаза восстановления была зарегистрирована 11-13 мая. Во время супербури были зарегистрированы чрезвычайно интенсивные геомагнитные возмущения, так называемые суперсуббури ($SML < -2500$ нТл). Согласно базе данных SuperMAG, было несколько событий SSS: в 19:20 и 19:50 UT, 22:35 и 22:40 UT 10 мая, в 09:00 и 09:50 UT, в 12:45, 13:32 и 13:43 UT 11 мая 2024 года. Планетарное пространственно-временное распределение магнитных возмущений во время этого SSS изучалось с использованием данных, собранных с наземных сетей (SuperMAG, INTERMAGNET и IMAGE), а также магнитных регистраций созвездием Iridium из 66 спутников на высоте 780 км, распределенных по шести плоскостям орбит, равномерно разнесенным по долготе (проект AMPERE). Мы изучили экстремальные геомагнитные возмущения во время SSS, изучив морфологию авроральных электроджетов, планетарную структуру продольных токов (FAC), соответствующие положительные магнитные бухты на средних широтах и их источники в солнечном ветре. Обсуждаются различные особенности развития SSS во время этих четырех событий.

1.23 Колебательная структура и спектр поглощения метана в широком диапазоне вплоть до видимой области спектра

Бехтерева Е.С., Громова О.В., Уленев О.Н.

Томский политехнический университет

Современные задачи физики атмосферы требуют повышения точности измерения и расчета поглощения солнечного излучения, проходящего через атмосферу Земли различными поглощающими компонентами атмосферы, из которых особая роль отводится метану, как одному из основных поглощающих компонент атмосферы Земли.

В рамках развитого нами не имеющего аналогов мире метода аналитического определения волновых функций (как колебательных, так и колебательно-вращательных) в симметризованной форме впервые были определены с высокой точностью центры всех без исключения колебательно-вращательных полос различной симметрии молекулы метана вплоть до 12000 см⁻¹. Полученные результаты создают хорошую основу для высокоточного определения как колебательно-вращательной структуры спектров поглощения этой молекулы, так и предсказания частотной зависимости коэффициента поглощения метана во всей инфракрасной области спектра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Томского политехнического университета в рамках проекта ПРИОРИТЕТ-2030.

1.24 Развитие методов исследования физико-химических процессов в мезосфере–нижней термосфере по данным спутникового зондирования

*Куликов М.Ю.^{1,2}, Беликович М.В.^{1,2}, Чубаров А.Г.^{1,2},
Дементьева С.О.^{1,2}, Фейгин А.М.¹*

¹*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова - Грехова
РАН*

²*Нижегородский государственный университет им. Н.И.
Лобачевского*

В данном докладе представлен краткий обзор публикаций, в которых условие равновесия химически активных малых примесей атмосферы применяется в различных задачах восстановления неизмеряемых (плохо измеряемых) характеристик на высотах тропосферы, стратосферы и мезосферы – нижней термосферы. Суммированы результаты наших исследований, развивающих математически корректный анализ равновесия малых примесей с привлечением данных глобальных 3D химико-транспортных моделей, и их приложений к обработке различных спутниковых данных на высотах мезосферы – нижней термосферы. Работа выполнена за счет средств темы государственного задания в сфере науки № 0729-2020-0037.

2 Геофизические поля и их взаимодействие

2.1 Модель 6-ячейкового геодинамо с двумя видами расположения ячеек

Фещенко Л.К., Водинчар Г.М.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Разработана маломодовая модель геодинамо, приводимого в движение шестиструйной конвекцией в ядре Земли. Модель основана на косвенных данных о крупномасштабной структуре конвекции. Эти данные были получены ранее, чем функции расщепления свободных колебаний Земли.

Отметим, что конвективная структура из шести ячеек для жидкого ядра Земли была получена в результате прямого численного моделирования для некоторого значения. Представляет интерес разработка комбинированной модели шестиячейстой конвекции, в которой вертикальная составляющая скорости описывалась бы линейной комбинацией сферических гармоник Y_2 и Y_3 . В работе описывается данная комбинированная модель.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.2 Применение нейронных сетей Колмогорова-Арнольда в задачах анализа и прогноза геомагнитного индекса Dst

Полозов Ю.А., Мандрикова О.В.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

В работе предлагается использование нейронных сетей архитектуры KAN для решения задачи анализа и прогноза данных геомагнитного индекса Dst. Используя возможности KAN в определении функциональных зависимостей, на основе обученных нейронных сетей изучен характер связей между входными данными (значения Dst индекса и параметры межпланетной среды) и выходными данными сети (прогнозные значения Dst индекса). Прогноз Dst выполнялся на 3 часа вперед за период 2021-2023 гг.

Показано, что разные параметры межпланетной среды оказывают разный вклад в прогноз Dst в зависимости от расположения их предыдущих значений на временной оси. Показаны результаты работы обученных нейронных сетей в периоды геомагнитных возмущений. Результаты продемонстрировали перспективность предлагаемого подхода для задач анализа и прогноза космической погоды. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

2.3 Оценка скорости перемещения южного магнитного полюса в XIX–XXI веках

Семаков Н.Н.^{1,2}, Уколов Д.А.^{3,1}

¹ *Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет*

² *Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт*

³ *Единая геофизическая служба РАН*

В работе выполнена оценка скорости и направления перемещения южного магнитного полюса в XIX–XXI веках. Используются данные магнитных наблюдений в районах Южного полушария, где угол магнитного наклонения превышает 60°. Отмечены региональные особенности расположения расчетных магнитных полюсов, а также выявлены общие закономерности их дрейфа. Для уточнения параметров перемещения в ходе 70-й Российской антарктической экспедиции (2024–2025 гг.) проведено более 40 серий угловых магнитных наблюдений на морском льду и в прибрежных оазисах Антарктиды.

2.4 Автоматический алгоритм выделения геомагнитных бурь

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

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

Изучены различные параметры геомагнитной активности (Ар-и Кр-индексы) за период с 1932 по 2023 гг. Рассмотрены общие статистические изменения количества интервалов геомагнитных бурь за все время наблюдений, а также за отдельные солнечные циклы. Показано, что около 46% времени геомагнитная обстановка остается спокойной, и только в 7% всего времени наблюдаются периоды магнитных бурь. Был разработан автоматический алгоритм выделения геомагнитных бурь. Рассмотрена длительность магнитных бурь за весь период исследования.

2.5 Характеристики сигналов низкочастотных передатчиков по наблюдениям на спутниках «Ионосфера».

*Колпак В.И.^{1,2}, Мозилевский М.М.¹, Евдокимова М.А.¹,
Чугунин Д.В.¹, Андреевский С.Е.², Шлюгаев Ю.В.³,
Жильцов М.В.⁴*

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН*

³ *Научно-исследовательский радиофизический институт им. Н. И. Лобачевского*

⁴ *ООО «НПП» Астрон Электроника»*

На борту спутников «Ионосфера» установлен комплекс, состоящий из прибора НВК2, магнитного датчика МД и электрических датчиков ЭД. Используя измерения полей этим комплексом электромагнитных в диапазоне частот 10 Гц – 23 кГц был проведён анализ сигналов наземных ОНЧ передатчиков, принятых на борту КА. Зоны засветки ионосферы сигналами передатчиков были

определены на основе статистического анализа. Сравнение этих зон с зонами, полученными на спутнике Деметер, показывают, что области засветки в настоящее время существенно меньше, чем в период работы спутника Деметер. Это может быть связано с солнечной активностью, которая приводит к увеличению плотности ионосферы. Амплитудно-частотный анализ сигналов передатчика, прошедший через магнитосферу, указывает на межволновое взаимодействие вблизи экваториальной области – сигналы передатчика промодулированы колебаниями силовой трубки, в которой распространяется сигнал. Были подтверждены результаты об уширении сигналов передатчика, полученные на спутнике Интеркосмос-19.

2.6 Характеристики токонесущей популяции электронов в интенсивных токовых слоях в хвосте земной магнитосферы

Леоненко М.В., Григоренко Е.Е., Зеленый Л.М.

Институт космических исследований РАН

Используя спутниковые наблюдения MMS в хвосте магнитосферы Земли, показано, что в горячей бесстолкновительной плазме, турбулизованной за счёт распространения быстрого плазменного потока из области первичного пересоединения, происходит формирование множественных вторичных источников ускорения электронов. Такими источниками могут быть области вторичных микропересоединений, происходящих на электронных кинетических масштабах. Таким образом, спутники MMS впервые позволили обнаружить, что в турбулизованной быстрым плазменным потоком плазме энергия может диссипировать посредством множественных каскадных микропересоединений, которые образуются в сверхтонких интенсивных токовых слоях. В данной работе исследуются токонесущие популяции электронов в интенсивных токовых слоях на электронных кинетических масштабах. Предложен метод выделения токонесущей популяции, определяются концентрация и негиротропия токонесущих популяций. Присутствие негиротропии свидетельствует о размагниченности электронов. Также проведено сравнение характеристик токонесущих популяций в токовых слоях раз-

ных типов: параллельных и перпендикулярных к внешнему магнитному полю в разных областях плазменного слоя геомагнитного хвоста Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант РНФ № 23-12-00031).

2.7 База данных параметров собственных мод полей геодинамо и коэффициентов спектральных моделей геодинамо

Лисюткин С.С., Водичар Г.М., Казаков Е.А., Фещенко Л.К.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Геодинамо представляет собой сложное нелинейное взаимодействие в ядре Земли трех геофизических полей: скорости, магнитной индукции и температуры. Спектральные модели часто используются при изучении задач геодинамо. Составление спектральных моделей требует расчета параметров базисных мод, а затем и коэффициентов модели (коэффициенты Галеркина).

В спектральной модели геодинамо есть три компоненты поля: скоростное, магнитное и температурное. Задачи скоростного и магнитного поля решаются раздельно в классе тороидальных и полоидальных полей.

Коэффициенты Галеркина представляют собой интегралы по объему жидкого ядра от очень громоздких мультипликативных комбинаций базисных мод и операторов векторного анализа в сферических координатах. Сами моды выражаются через сферические гармоники и сферические функции Бесселя.

Каждая мода скорости и магнитного поля определяется мультииндексами вида (k, n, m, type) , где k , n и m соответствуют дискретизации спектра по r , θ и φ соответственно, а type – бинарный индекс типа моды: тороидальная или полоидальная. Температурные моды определяются мультииндексами (k, n, m) .

Для расчета мод тороидальной скорости необходимо найти собственные значения μ_{kn}^T и коэффициенты A_{kn}^T и B_{kn}^T , для полоидальных μ_{kn}^P и C_{kn}^i . Для температурных вычисляют собственные значения λ_{kn} и коэффициенты a_{kn} , b_{kn} . Для магнитных тороидальных мод η_{kn}^T и a_{kn}^T , полоидальных η_{kn}^P и a_{kn}^P .

Вычисляются коэффициенты Галеркина: C_{li} , H_{si} , W_{pi}^α , E_{li} , W_{pij} , Q_{lij} , F_{sij} , B_{lij} .

Полученные собственные значения мод и коэффициентов помещаются в базу данных.

В докладе представлено описание базы данных для хранения и записи собственных значений мод и коэффициентов (коэффициенты Галеркина) уравнений спектральной модели геодинамо. Все вычисления происходят в Maple. Для записи значений и запросов на получение данных используется СУБД mariadb.

Работа выполнена по государственному заданию ИКИР ДВО РАН (рег № НИОКТР 124012300245-2).

2.8 Зависимость плотности плазмы в плазмосфере от географической долготы по данным спутниковых измерений

Чугунин Д.В., Котова Г.А.

Институт космических исследований РАН

Работа посвящена исследованию зависимости заполнения плазмосферных магнитных силовых трубок от географической долготы в спокойное время. Несмотря на то, что магнитосфера в основном описывается магнитными координатами, на ее заполнение ионосферной плазмой влияет и разница в освещенности оснований силовых линий магнитного поля. В данной работе этот вопрос изучается с помощью измерений концентрации ионов на спутнике ИНТЕРБОЛ и концентрации электронов на спутнике ERG. Для исследования выбирались только длительные спокойные периоды, в течение которых магнитные трубки успевали заполниться плазмой до диффузионного равновесия. Показано, что для одних и тех же геомагнитных координат плотность плазмы в плазмосфере зависит от географической долготы. Исследуется, как эта проявляется в разные сезоны.

2.9 Определение высоты грозового разряда методом многолучевой интерферометрии

*Малкин Е.И., Шевцов Б.М., Казаков Е.А., Чернева Н.В.,
Санников Д.В.*

*Институт космифизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

Ранее была определена высота электрического разряда с помощью ОНЧ-радиопеленгатора методом двух-лучевой интерферометрии. Суть метода заключается в сравнении модельного и реального спектров мощности сигнала. В данной работе для увеличения точности определения высоты грозового разряда используется метод многолучевой интерферометрии. Высота, рассчитанная по свертке модельного спектра мощности с реальным спектром мощности сигнала совпадает с областью стратопавзы, где температура имеет локальный максимум, который, по-видимому, способствует электрическому высотному разряду.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.10 Возмущения параметров среднеширотных суб-ионосферных сигналов во время сильных и экстремальных геомагнитных бурь

*Соловьева М.С.¹, Коркина Г.М.², Булатова Н.Р.²,
Касимова В.А.²*

¹ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

² *Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал*

Данные непрерывного мониторинга суб-ионосферных сигналов в Петропавловске-Камчатском были использованы для анализа ночных вариаций амплитуды и фазы среднеширотного JJY (40кГц) сигнала во время главной стадии сильных и экстремальных геомагнитных бурь за период трех циклов солнечной активности (2000-2024 гг.). Результаты показали, что из всех рассмотренных

53 геомагнитных бурь, только 15 вызвали возмущения радиосигнала. Эффект найден для тех геомагнитных бурь, главная стадия которых пришлась на время местной ночи. Всего было 19 таких случаев. Амплитудные аномалии JJY сигнала составили от 3 до 18 дБ, фазовые – от 29° до 135° , при этом прямой зависимости между степенью геомагнитной активности и величиной аномалии JJY сигнала найдено не было. В 4 случаях, когда главная стадия магнитных бурь приходится на время местного дня или на время движения солнечного терминатора через трассу распространения сигнала, был найден аномальный сдвиг положения характерных минимумов в суточном ходе суб-ионосферных сигналов в моменты захода или восхода солнца относительно их нормального положения в сторону увеличения продолжительности ночи на 1-2 часа.

2.11 Вызывают ли солнечные вспышки и межпланетные ударные волны землетрясения?

Зинкин Д.В., Пилипенко В.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

В геофизической литературе активно обсуждается возможность триггерного воздействия солнечной активности и связанных с ней возмущений геомагнитного поля на сейсмичность Земли. В частности, популярна идея о солнечных вспышках и межпланетных ударных волнах как триггерах планетарной сейсмической активности. В работе проведена статистическая проверка этих гипотез. Методом наложенных эпох рассмотрена статистика поверхностных землетрясений на освещенной стороне Земли до и после солнечных вспышек и межпланетных ударных волн 2010–2020 гг. в интервале ± 2 дня и ± 1 час, соответственно. Статистически значимых изменений сейсмичности в рамках наложенных ограничений по глубинам и по локальному времени очага землетрясения не обнаружено. Полученные результаты ставят под сомнение гипотезу о солнечной вспышке или импульсе внезапного начала магнитной бури как возможных триггерах землетрясений. Тем не менее, некоторые статистические результаты все еще трудно объяснить на основе существующих представлений.

2.12 Экспериментальный комплекс для исследований аномальных эффектов в геофизических полях в регионе северного Тянь-Шаня

Пак Г.Д.¹, Салихов Н.М.¹, Нуракынов С.М.¹, Щепетов А.Л.^{1,2}

¹ *Институт ионосферы Аэрокосмического комитета
Министерства цифрового развития, инноваций и
аэрокосмической промышленности*

² *Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН*

4 марта 2024 г. на эпицентральной дистанции 12.2 км от комплекса измерительного оборудования, предназначенного для мониторинга геофизических полей в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня, произошло крупное землетрясение магнитудой М6.1. Подготовку этого сейсмического события мы обнаружили в реальном времени за 8 дней до основного толчка, когда в вариациях потока гамма-квантов в скважине на глубине 100 м возникло характерное бухтообразное понижение, что согласно нашим предыдущим исследованиям, с большой вероятностью свидетельствовало о приближающемся землетрясении. Экспериментальный геофизический комплекс, использованный для регистрации аномальных эффектов подготовки землетрясения М6.1 расположен на научной станции (N43.042 E76.944) на высоте 3340-3400 м над уровнем моря. В работе использовали:

- Многоканальный геофизический регистратор МГР-02-16 (h 3400м), предназначенный для мониторинга временных вариаций естественного импульсного электромагнитного поля Земли на двух частотах VLF - 7,5 кГц и 10,0 кГц. Две взаимно ортогональные ферритовые антенны регистратора установлены в направлениях север-юг (7,5 кГц) и запад-восток (10,0 кГц). Подсчет импульсов ведется с интервалом в 10 секунд;
- Магнитный датчик ИМС-008 индукционного типа для регистрации вариации горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли в УНЧ-диапазоне (0.0001 – 20 Гц) с частотой дискретизации 66,6 Гц, ориентированный в направлении север-юг. Для того,

чтобы регистрировались только сигналы в диапазоне УНЧ, использовали фильтр нижних частот Чебышева 12-го порядка с полосой среза 20 Гц. Также использовался режекторный фильтр для лучшего подавления сигналов от промышленной сети 50 Гц;

- Скважина глубиной 300 м, заполненная водой до 150 ± 5 метров;
- Кристаллический гамма-детектор NaI(Tl) (SDN.30, диаметр $\varnothing 40$ мм) установлен в скважине на глубине 100 м, предназначенной для измерения вариаций потока гамма-излучения. Калибровка гамма-детектора выполнена с использованием эталонных источников Am-241 ($E_{\alpha} = 60$ кэВ) и Cs-137 ($E_{\gamma} = 660$ кэВ). Счет гамма-импульсов производится с интервалом в 10 секунд в шести энергетических диапазонах: 20-40, 40-80, 80-200, 200-400, 400-800 и > 800 кэВ. Три датчика температуры установлены на глубине 1, 24 и 39 метров и один снаружи вблизи скважины. Температура воздуха в скважине ниже 24 метров изменяется на несколько сотых градуса, что обеспечивает стабильные условия для работы электронных схем и кристалла NaI(Tl). Наземная часть всех геофизических регистраторов имеет температурную стабилизацию около $20 \pm 0,25^{\circ} \text{C}$.

Для регистрации возмущений в ионосфере используется метод доплеровского зондирования ионосферы на наклонной радиотрассе с непрерывной несущей. В основу доплеровских измерений заложен принцип работы петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и реализована возможность измерения доплеровского сдвига частоты (ДСЧ) большего по амплитуде луча в условиях многолучевого сигнала. Выбор оптимальной радиочастоты проводится согласно каталога Британской вещательной корпорации (BBC) www.short-wave.info. Для измерения ДСЧ использовали радиопередатчик вещательной радиостанции в г. Душанбе (Таджикистан), работающий на частоте $f = 7245$ кГц (N37.533 E68.700). Приемное доплеровское оборудование расположено в двух измерительных пунктах: г. Алматы, Институт ионосферы (43.176°N , 76.953°E) и «Радиополигон Ор-

бита» (43.058° N, 76.973° E). Выполненное исследование сейсмогенных аномалий в различных геофизических полях указывало на завершающий этап подготовки крупного землетрясения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP19678127 «Разработка методов мониторинга геофизических полей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера в сейсмоопасном регионе Северного Тянь-Шаня».

2.13 Влияние сверхнизкочастотных магнитных полей Шумановского диапазона на электрические реакции у растений

*Гринберг М.А.^{1,2}, Ильин Н.В.¹, Немцова Ю.А.²,
Сарафанов Ф.Г.¹, Иванова А.В.², Долинин А.А.¹, Пирогова П.А.²,
Воденеев В.А.², Мареев Е.А.¹*

¹ *Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН*

² *Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

На шкале частот электромагнитных полей есть особые области интереса, которые, с одной стороны, в силу различных причин могут меняться в природных условиях, с другой стороны, оказывают выраженное влияние на состояние живых организмов. Одной из таких областей является диапазон сверхнизкочастотных полей в окрестности Шумановских резонансов. Определение влияния таких магнитных полей на живые организмы значимо в эволюционном и экологическом аспектах, поскольку выраженность ассоциированных с резонансами Шумана участков спектра может меняться по мере изменения климата за счёт зависимости от глобальной молниевой активности.

В экспериментах изучалось влияние магнитного поля с частотой второй гармоники Шумановского резонанса (14,3 Гц) на электрические реакции растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Электрические реакции, представляющие собой скоординированное изменение величины электрического потенциала на мембранах клеток у живых организмов, являются универсальным сигналом, позволяющим запускать разнообразные физиологические ответы на измене-

ние окружающих условий (температура, свет, механическое воздействие и т.д.). Показано, что повышенное магнитное поле (9 мкТл) с частотой 14,3 Гц увеличивает амплитуду электрических реакций растений, вызванных светом видимого диапазона. Дополнительное исследование частот в окрестностях второй гармоники (10,5, 13,3, 14,3, 15,3, 18 Гц) демонстрирует наличие резонансного эффекта для биологических ответов: влияние поля с частотой 14,3 Гц имело наиболее выраженный характер.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИПФ РАН № FFUF-2025-0009 и научной программы Национального центра физики и математики, направление № 10 «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика».

2.14 Эффекты солнечной вспышки X3.9 класса на высокоширотную ионосферу 10 мая 2024 года

*Мингалева А.О., Благовещенская Н.Ф., Калишин А.С.,
Егоров И.М., Борисова Т.Д.*

*Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт*

В данной работе рассмотрены ионосферные проявления солнечной вспышки X3.9 класса, которая произошла в активной области AR 13664 Солнца в 06:54 UT 10 мая 2024 года. Рентгеновское и ультрафиолетовое излучение Солнца во время вспышки приводит к возрастанию электронной концентрации на высотах D-, E- и F-слоев ионосферы, вызывая внезапные ионосферные возмущения (ВИВ). Одним из типов ВИВ является поглощение радиоволн KB диапазона, обусловленное рентгеновским излучением Солнца, вызывающим рост ионизации в нижней ионосфере (short wave fadeout, SWF). В работе выполнен детальный анализ поведения параметров ионосферы и условий распространения радиоволн в западном регионе арктической зоны РФ во время внезапного ионосферного возмущения типа SWF, вызванного солнечной вспышкой X3.9 класса 10 мая 2024 года. Анализ эффектов проводился по данным станций вертикального зондирования ионосферы (ВЗИ), а также наклонного зондирования ионосферы (НЗИ)

непрерывным ЛЧМ-сигналом на сети радиотрасс в арктическом регионе РФ. Сеансы ВЗИ и НЗИ проводились 1 раз в 15 минут. Проанализированные данные охватывают период с 06:00 до 10:00 UT 10 мая 2024 года. Показано, что в период SWF происходит возрастание минимальных частот f_{min} на ионограммах ВЗИ. По данным НЗИ на сети радиотрасс наблюдалось возрастание наинизших наблюдаемых частот (ННЧ), уменьшение количества мод распространения радиосигналов и сужение диапазона рабочих частот, свидетельствующих о возрастании поглощения радиоволн в нижней ионосфере. Выполнено сравнение поведения f_{min} и ННЧ с поглощением радиоволн, измеренных риометром на высокоширотных станциях. Изучение внезапных ионосферных возмущений представляет не только научный, но и прикладной интерес. Эти возмущения оказывают существенное влияние на надежность работы космических аппаратов, систем радиосвязи, радионавигации и загоризонтной радиолокации.

2.15 Опыт применения метода георадиолокации в районах активного вулканизма

Павлова В.Ю.¹, Акбашев Р.Р.²

¹ *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

² *Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал*

Одними из наиболее интересных и сложных регионов при использовании георадаров являются районы активного вулканизма. Большая мощность почвенно-пирокластического чехла, полигенетические профили почв, значительное число погребенных почвенных горизонтов, разделенных прослоями тефры разного гранулометрического состава и возраста, с одной стороны, создают хорошие условия для формирования четких линий равных фаз отраженных сигналов (осей синфазности) на георадиолокационном профиле, а с другой стороны — затрудняют их интерпретацию. Существующий опыт использования георадаров в районах с активными вулканами невелик. Многие аспекты использования георадаров в вулканических районах остаются недостаточно изученными. Все это определяет актуальность исследования. В

данной работе представлены результаты многолетних исследований с помощью метода георадиолокации в районах активного вулканизма Камчатки, а также на острове Парамушир (Курильские острова). Впервые выделены георадарные фации в районе некоторых вулканов. Это затрагивает актуальные вопросы о генезисе вулканических отложений, что помогает в выяснении характера вулканической деятельности исследуемой области. Благодаря методу георадиолокации возможно детальное изучение верхней части геологического разреза с определением мощностей слоев, а также выделение георадарных фаций, что вносит вклад в изучение процесса рельефообразования в районах активного вулканизма. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания FZSS-2025-0007) и темы НИР «Применение метода георадиолокации на Камчатке» (КамГУ им. Витуса Беринга).

2.16 Эксперименты на спутниках Московского университета по изучению верхней атмосферы и мониторингу космической погоды

*Свертилов С.И., Богомолов В.В., Богомолов А.В., Июдин А.Ф.,
Калегает В.В., Мягкова И.Н., Оседло В.И.*

*Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д.В. Скобельцына*

Рассматриваются основные цели и задачи космических миссий Московского университета по изучению верхней атмосферы, мониторингу космической погоды, а также солнечной активности. В настоящее время осуществляется развертывание группировки наноспутников Московского университета «Созвездие-270» - запущено 20 спутников формата кубсат, 11 из которых продолжают функционировать на орбите. Основной задачей мульти-спутниковой группировки является мониторинг космической погоды и электромагнитных транзиентов различной природы, в том числе атмосферного, астрофизического и солнечного происхождения. Для проведения экспериментов на спутниках формата кубсат разработаны

различные приборы для регистрации заряженных частиц высоких энергий (главным образом электронов и протонов, гамма-квантов в околоземном пространстве, а также оптического (ультрафиолетового и красного) свечения атмосферы. К настоящему времени в ходе измерений на спутниках группировки Московского университета получена важная информация об эффектах космической погоды, связанных с различными проявлениями вспышечной активности Солнца и ее влиянием на геомагнитную обстановку в околоземном пространстве. В частности, получены данные о динамике потоков суб-релятивистских электронов в областях высыпаний из внутреннего ($L = 1.7 - 1.8$) и внешнего поясов – так называемая, область «завора» ($L = 2.2 - 3.0$), получены новые данные о быстрых вариациях потоков электронов на арктической кромке внешнего пояса и в полярной шапке. Особо следует отметить результаты наблюдений явлений, приводящих к существенному изменению радиационных условий в околоземном пространстве. В частности, к таким явлениям относится проникновение солнечных космических лучей в области полярных шапок, приводящее к существенной перестройке радиационных полей во внутренней магнитосфере. Также важным для определения локальных дозовых нагрузок на заданных орбитах является изменение пространственной структуры распределения потоков электронов высоких энергий во внешнем поясе вследствие магнитных бурь, в свою очередь обусловленных изменением параметров солнечного ветра вследствие активных процессов на Солнце. Использование именно группировки спутников, позволяющих проводить одновременные измерения в разных областях околоземного пространства, обеспечивает условия для практически непрерывного патрулирования вспышечной активности Солнца в жестком диапазоне электромагнитного спектра.

2.17 Геомагнитный отклик на землетрясение магнитудой 7,7 в Мьянме 28 марта 2025 г.

Рябова С.А.^{1,2}

¹ *Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

В настоящей работе анализируется геомагнитный отклик на землетрясение магнитудой M_{ww} 7.7, которое произошло в округе Сикайн в Мьянме 28 марта 2025 г. в 12:50:54 по местному времени (06:20:54 UTC). Эпицентр основного толчка землетрясения находился в 14 км к северо-северо-западу от города Сагаинг и в 16 км к западу от города Мандалая. В качестве исходных привлекались данные регистрации трех компонент магнитной индукции на земной поверхности, выполненной на двух вьетнамских обсерваториях «Фу Тхи» и «Далат» и на двух индийских магнитных обсерваториях «Чоутушал» и «Хайдарабад». Использовались данные инструментальных наблюдений за вариациями геомагнитного поля с дискретизацией 1 мин, представленные на сайте Международной сети INTERMAGNET. Наблюдаемые геомагнитные вариации интерпретированы как результат распространения трех типов волн, обусловленных землетрясением: сейсмических волн Релея, генерирующих акустические волны, атмосферных внутренних волн, возбуждаемых в эпицентре землетрясения, и медленных магнитогидродинамических волн, обусловленных диссипацией акустико-гравитационных волн в нижней ионосфере. Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН «Преобразование геофизических полей как основной фактор межгеосферных взаимодействий» (№ 125012700798-8) и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

2.18 Ионосферный отклик на цунами после землетрясения Тохоку-оки 2011 года

Рябова С.А.^{1,2}

¹ *Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

Целью настоящей работы является изучение ионосферного отклика на цунами после землетрясения, произошедшего в Японии 11.03.2011 г. Землетрясение произошло в 05:46 UT (14:46 LT) восточнее японского острова Хонсю и имело магнитуду 9.0. После этого землетрясения (получившего название события в Тохоку-оки) возникло цунами, достигающее высоты в несколько десятков метров, которое привело к аварии на атомной станции Фукусима¹ и трагедии национального масштаба. Для анализа отклика нижней ионосферы использовались данные геомагнитного мониторинга на станции Гонолулу. С целью определения времени прихода цунами на остров Гонолулу использовались данные об уровне воды, полученные с помощью уровнемерной приливной станции мониторинга цунами 1612340, расположенной на побережье Гонолулу. Для анализа отклика верхней ионосферы использовались данные спутников GPS, позволяющие определять вариации полного электронного содержания ионосферы. В ходе обработки и анализа данных установлено, что волновые возмущения полного электронного содержания и геомагнитные возмущения опережают приход цунами, причем обнаруженные ионосферные вариации находятся в диапазоне частот внутренних гравитационных волн (ВГВ). Кроме того получено, что низкочастотная часть возмущения приходит раньше, как и должно быть для ВГВ, генерируемых цунами.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН «Преобразование геофизических полей как основной фактор межгеосферных взаимодействий» (№ 125012700798-8) и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

2.19 Многоуровневая группировка космических аппаратов для мониторинга радиации в околоземном пространстве

*Оседло В.И.¹, Павлов Н.Н.¹, Рубинштейн И.А.¹,
Свертилов С.И.², Тулунов В.И.¹*

¹ *Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д.В. Скобельцына*

² *Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова, физический факультет*

К основным компонентам радиации в околоземном космическом пространстве (ОКП), относятся заряженные частицы ионосферной и магнитосферной плазмы, потоки энергичных частиц радиационных поясов Земли (РПЗ), солнечных и галактических космических лучей (СКЛ и ГКЛ) в широком диапазоне энергий. Актуальность мониторинга потоков этих частиц обусловлена, как фундаментально научными задачами, связанными с решением проблем ускорения частиц, взаимодействий «волна – частица», нелинейных динамических процессов в магнитосферной плазме, так и прикладными аспектами, поскольку интенсивные возрастания потоков компонентов космической радиации может привести к повреждению и выходу из строя радиоэлектронной аппаратуры, установленной на космических аппаратах (КА), стать причиной нарушения коротковолновой связи в высокоширотных районах, привести к сбоям в навигационных системах, снижению точности систем глобальной навигации и позиционирования. Для прогноза динамики радиационных полей в ОКП необходим их мониторинг на разных орбитах в широком диапазоне высот - от низких круговых (400 – 500 км) до высокоапогейных и геостационарных (высотой до 40 000 км). Одним из путей решения указанной задачи представляется использование наблюдений с помощью однотипных приборов, установленных на спутниках многоуровневой (по высотам) группировки КА. Представляется, что в качестве подобной группировки могут рассматриваться метеорологические и геофизические спутники, выведенные на разные орбиты, с установленной на них аппаратурой, обеспечивающей регистрацию заряженных частиц (главным образом электронов и протонов) в широком диапазоне энергий – от долей кэВ до десятков (электроны) и сотен

(протоны) МэВ. Такая аппаратура разработана в НИИЯФ МГУ и в течение ряда лет обеспечивает мульти-спутниковые измерения на КА, выведенных на орбиты с широким диапазоном высот: «Метеор» (круговая орбита 830 км), «Ионосфера-М» (круговая орбита 820 км), «Арктика-М» (эллиптическая орбита с высотами апогея и перигея 39 000 и 600 км), «Электро-Л» (геостационарная орбита в плоскости экватора высотой 36 000 км). В последнее время группировка КА метеорологического и геофизического назначения дополняется нано-спутниками формата кубсат. В рамках реализации собственной космической программы Московского университета осуществляется развертывание на орбите мульти-спутниковой группировки таких аппаратов. В настоящее время осуществлен запуск 20 спутников формата кубсат, на которых также установлены однотипные детекторы частиц и квантов, специально адаптированные для функционирования в составе таких КА. В докладе анализируется опыт использования измерений на КА многоуровневой группировки с помощью регистрирующей аппаратуры НИИЯФ МГУ, в частности, анализируются некоторые эффекты космической погоды, наблюдавшиеся в 2024 г.. Делается вывод о том, что привлечением информации идентичных измерительных приборов на КА, находящихся на разных высотах позволяет получить более полную картину о пространственном распределении и динамике потоков частиц и квантов в обширных областях ОКП.

2.20 Модель генерации сейсмического электрического поля в атмосфере

Хаердинов Н.С.

Институт ядерных исследований РАН

Ранее, в ряде публикаций, освещалось уникальное событие, произошедшее на Кавказе в период 01-02.09.2019. В нём, в районе Центрального Кавказа, в хорошую погоду, по вариациям вторичных частиц космических лучей, регистрируемых комплексной установкой «Ковёр», наблюдалось грозовое поле в атмосфере, завершившееся свечением ночного неба. Были, также, зарегистрированы кратные увеличения полного электронного

содержания ионосферы, коррелирующие с возмущениями поля. В районе Малого Кавказа, в этот период, другой комплексной установкой «Арагац», наблюдалась грозовая активность, эпизодически сопровождаемая регистрацией на земле, на высоте гор, гамма – излучения и восходящих компактных светящихся образований. Используя архивные данные спутниковых снимков (<https://weather.us>) и данные расположения активных разломов Евразии (AFEAD) (<http://neotec.ginras.ru/database.html>), получены свидетельства корреляции грозовой активности над глубинными разломами Малого Кавказа с возмущениями электрических параметров измеренных в горах Центрального Кавказа установкой «Ковёр». Предлагается сценарий геофизического процесса, протекавшего в указанный период на Кавказе, на качественном уровне объясняющий данные наблюдений.

2.21 Модернизация станции электротеллурических наблюдений Верхняя Паратунка, Восточная Камчатка: первые результаты наблюдений

Касимова В.А., Копылова Г.Н

Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал

В 2023 г. была выполнена модернизация пункта Верхняя Паратунка, включающая организацию измерений разности электротеллурических потенциалов (ТП) на четырех линиях (100-20 м) с частотой 1 Гц, метеорологических параметров (атмосферное давление, температура воздуха), а также температуры и влажность грунта на глубинах 0.3 и 1.7 м. Представлены результаты непрерывного мониторинга наблюдаемых параметров в сопоставлении с геомагнитной активностью и сейсмичностью за период 2 февраля 2024 - 31 января 2025 гг. Было обнаружено значительное влияние на уровень вариаций разности ТП сезонного таяния снега в весенний период, когда температура воздуха достигает 15° С, а влажность почвы увеличивается на 20 процентов на глубине до 1.7 м (вторая половина апреля – май). Жидкие атмосферные осадки в мае–ноябре также сопровождались вариациями ТП. В вариациях разности теллурических потенциалов обнаружены высокочастотные колебания, вызванные возмущениями магнитного

поля Земли с индексом магнитной интенсивности $K_p=6$ и более, которые представляют собой магнитные бури от «средних» с классом $G=2$ до «экстремально сильных» класса $G=5$. Из рассмотренных 44 магнитных бурь, наиболее ярко в данных теллурических потенциалов проявились 12 бурь с классом $G3-G5$. Самым мощным событием за рассматриваемый период времени была экстремально сильная магнитная буря 11 мая 2024 г. ($Dst=-412$ нТ, класс $G=5$), вызвавшая интенсивные возмущения теллурических потенциалов с амплитудами до 0.6 мВ/м в течение суток. Также были рассмотрены вариации ТП во время 14-ти мелко-среднефокусных землетрясений с $M=5.3-7.0$ (по данным Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН), произошедших на эпицентральных расстояниях $d_e=70-160$ км. Большая часть сейсмических событий относится к активизации, вызванной землетрясением 17.08.2024 г., $M=7.0$, $d_e=150$ км и его форшок-афтершоковым процессом. Большая часть рассматриваемых землетрясений происходили во время магнитных бурь. В частности, землетрясение 17.08.2024 г., а также его форшок и афтершоки совпали с возникновением магнитных бурь класса $G2$ и более. Поэтому идентификация слабых сейсмогенных эффектов в изменениях ТП представляла определенную сложность.

2.22 Мониторинг пульсаций Рс3 в условиях магнитной бури с использованием ОНЧ регистратора

Сивоконь В.П.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

В условиях магнитной бури пульсации Рс3 трудно выделить на фоне пульсаций большей интенсивности, таких как Рс5. Используя нелинейные свойства блочного трансформатора Мутновской ГеоЭС можно получить эффект модуляции пульсациями Рс3 гармоник промышленного тока, протекающего в высоковольтной линии. В качестве рецептора этих гармоник используется ОНЧ регистратор, находящийся на удалении около 2 километров от линии электропередачи. Анализ полученных данных показал принципиальную

возможность использования ОНЧ пеленгатора по новому предназначению. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.23 Многомасштабная модель геодинamo управляемого 6-ячейковой конвекцией

Водинчар Г.М., Фещенко Л.К.

Институт космoфизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Преимущество маломодовых моделей геодинamo в том, что они позволяют воспроизводить длительные временные ряды модельных полей скорости, температуры и магнитной индукции. Однако эти модели очень трудно сочетать с турбулентной конвекцией в ядре. Для этого приходится использовать не молекулярные, у турбулентные значения диссипативных коэффициентов. Сами же эти значения являются свойствами не столько среды, сколько конкретного движения этой среды, значит их надо вычислять. Один из возможных подходов - это сопряжение маломодовой крупномасштабной модели с какой-либо моделью мелкомасштабной турбулентности. Чтобы при этом сохранить разумное число мод ($\sim 20 - 30$), можно сопрягать крупномасштабную модель с каскадной моделью турбулентности. Впервые идея подобного сопряжения для построения многомасштабных моделей турбулентности была предложена Д.Д. Соколовым и П.Г. Фриком в 2003 г. В каскадной модели используется степенная иерархия масштабов, что позволяет покрыть весь инерционный интервал масштабов относительно небольшим числом мод.

В докладе представлена и обсуждается комбинированная модель, в которой сопряжены исследованная авторами ранее маломодовая модель 6-ячейкового динамо и специально разработанная нелокальная каскадная модель магнитогидродинамической конвекции. Эти подмодели обмениваются между собой информацией. Каскадная подмодель позволяет рассчитать турбулентные значения диссипативных коэффициентов крупномасштабного для 6-ячейкового динамо. Крупномасштабная подмодель дает граничные значения коллективных переменных каскадной части.

Обсуждается схемы обмена данными между подмоделями, результаты вычислительных экспериментов.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.24 Новое событие GLE74 (11.05.24) в солнечных космических лучах

Балабин Ю.В., Германенко А.В., Михалко Е.А., Гвоздевский Б.Б.

Полярный геофизический институт РАН

В мае 2024 года произошло событие GLE (ему присвоено обозначение GLE74). Возрастание в космических лучах было зарегистрировано моровой сетью нейтронных мониторов. За несколько дней до этого предыдущая вспышка на Солнце вызвала корональный выброс масс, достигший Земли 10.05.2024. Этот выброс вызвал сильную магнитную бурю, а в космических лучах произвел значительное форбуш-понижение: более 10%. Эти обстоятельства осложняют анализ GLE74. Генерация солнечных космических лучей произошла в активной области АО 13664 типа Beta-Gamma-Delta с координатами S17W47, вспышка имела класс X5.8, максимум излучения достигнут в 01:39 UT 11.05.2024. На момент начала GLE74 на Земле бушевала магнитная буря, Dst-индекс составил ниже -400 нТл, а в космических лучах в конце предыдущих суток начался форбуш-эффект, вызванный приходом плазменного облака от предыдущей. Понижение потока космических лучей в следствие форбуш-эффекта на полярных нейтронных мониторах составило 10%. Небольшая амплитуда события осложняет выделение такого события на фоне общего понижения уровня, тем не менее это возможно. Данных мировой сети достаточно для решения обратной задачи: определение параметров потока солнечных космических лучей. На нейтронных мониторах в Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген) возрастание потока космических лучей составило 4-5%. Кроме того, для расчета асимптотических конусов приема нейтронных мониторов требуется точное описание состояния магнитосферы. Обычно нами используется модель Цыганенко-01, хорошо описывающая магнитосферу в спокойном и возмущенном состоянии. Для нашей

методики решения обратной задачи, использующей подробный и точный расчет асимптотических конусов приема нейтронных мониторов, неопределенность состояния магнитосферы вносит основную ошибку при решении, поэтому важно точное задание состояния магнитосферы. Для описания состояния магнитосферы в бурю подходит модель Цыганенко-03. Ранее она использовалась при решении обратной задачи в событии GLE66 (29.10.03), когда Dst-индекс опускался ниже -450 нТл, и показала хорошее соответствие с реальными наблюдениями. При решении обратной задачи для GLE74 также была использована модель Цыганенко-03. Результатом выполнения решения являются энергетические спектры и питч-угловое распределение потока солнечных космических лучей на протяжении максимальной фазы события с шагом в 5 минут.

2.25 Новый взгляд на традиционную задачу: свистящие атмосферерики

*Евдокимова М. А.¹, Могилевский М.М.¹, Чугунин Д.В.¹,
Андреевский С.Е.², Шлюгаев Ю.В.³, Жильцов М.В.⁴*

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова РАН*

³ *Научно-исследовательский радиофизический институт им. Н. И. Лобачевского*

⁴ *ООО «НПП» Астрон Электроника»*

На борту спутников «Ионосфера» проводится непрерывная регистрация волновой формы сигнала в диапазоне от 10 Гц до 23 кГц при помощи приборов НВК2, магнитного датчика МД и электрических датчиков ЭД. Мы использовали результаты этих измерений для анализа прохождения свистящих атмосфериков (СА), зарегистрированных на борту КА, через ионосферу и их распространение по силовой линии магнитного поля. Проведен статистический анализ, на основе которого построено пространственное распределение СА: полно дисперсный сигнал наблюдается ближе к высоким широтам, частично диспергированный сигнал — ближе к экватору. В местное ночное время

СА наблюдаются существенно чаще, чем в дневное, что вполне согласуется с общепринятыми представлениями об изменении плотности ионосферы. За пределами плазмосферы свистящие атмосферерики не наблюдаются. Полученное статистическое распределение СА, зарегистрированных на КА сравнивается с распределением молниевых разрядов на поверхности Земли. Для идентификации молниевых разрядов была использована наземная сеть локаторов Blitzortung.org. С помощью этой сети впервые было установлено предположительное местоположение источника свистящего атмосферерика, зарегистрированного на борту спутника.

2.26 Перспективы однопунктовой пеленгации и дальнометрии в ОНЧ диапазоне на Камчатке.

Кайсин А.В., Малкин Е.И.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

В данной работе предложен алгоритм грозолокации в ОНЧ диапазоне, основанный на методах интерферометрии и однопунктовой пеленгации. Метод однопунктовой пеленгации заключается в регистрации электрической и магнитных компонент с последующим вычислением азимута. Интерферометрия используется в определении дальности до источника по высоте отражающего слоя ионосферы и времени задержки ионосферного отражения относительно сигнала земной волны. Проверка точности метода однопунктовой грозолокации основана на сравнении с данными Всемирной сети определения местоположения молний (World Wide Lightning Location Network – WWLLN).

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.27 Проект «Ионосфера»

Чугунин Д.В., Команда проекта "Ионосфера"

Институт космических исследований РАН

Проект «Ионосфера» состоит из четырех низкоорбитальных спутников, первая пара из которых запущена в конце 2024 г. Проект направлен на изучение солнечно-земных и ионосферно-магнитосферных связей и мониторинг верхней ионосферы. На спутники установлен широкий спектр целевой аппаратуры, имеются приборы для измерения частиц различных энергий, установлен комплекс аппаратуры для радиофизических измерений и др. В докладе представлены цели и задачи проекта, состав научной аппаратуры и ее характеристики. Представлены первые полученные результаты.

2.28 Распознавание группы вистлеров в радиосигналах ОНЧ-диапазона

Лутцева Е.А.¹, Водинчар Г.М.²

¹ *Камчатский государственный технический университет*

² *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

В данной работе описан подход к распознаванию группы вистлеров в частотно-временных спектрах радиосигналов ОНЧ-диапазона. Исходный сигнал проходит следующие этапы обработки: фильтрация сигнала, переход в новую систему координат для выпрямления образов вистлеров, поиск групп вистлеров, выпрямленные образы которых пересекаются в одной точке на временной оси.

Работа выполнена за счет НИР ГБТ ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет» (номер государственной регистрации 124022500267-1) и Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.29 Регистрация геомагнитно-индуцированных токов на Мутновской геотермальной электростанции

*Гвоздарев А.Ю.¹, Хомутов С.Ю.¹, Сивоконь В.П.¹,
Учайкин Е.О.²*

¹ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

² *Горно-Алтайский государственный университет*

В марте 2025 г. на Мутновской геотермальной электростанции установлена система для регистрации геомагнитно-индуцированных токов в нейтрали блочного трансформатора. Заземляющая шина трансформатора охвачена токовыми клещами, в которых установлены два датчика Холла. Сигнал с этих датчиков регистрируется измерительным комплексом на основе микроконтроллера и 24-разрядного АЦП. Для калибровки измерений раз в два часа по токовой петле, заходящей в клещи, подается биполярный калибровочный сигнал амплитудой 0.4151 А, создаваемый специальным блоком калибровки. Синхронизация времени осуществляется при помощи GPS. Собственный шум установки не превышает 10 мА. В докладе обсуждаются методические особенности и результаты измерений. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.30 Взаимосвязь сильных вариаций геомагнитного поля и сейсмической активности

Новиков В.А.¹, Лазарева Е.А.²

¹ *Объединенный институт высоких температур РАН*

² *Научная станция РАН в Бишкеке*

Ранее теоретически было показано, что солнечная вспышка (СВ) может вызывать пульсации геомагнитного поля (ГМП) и всплеск теллурических токов в проводящих разломах, сопоставимые по плотности с токами в земной коре, генерируемыми

искусственным источником и приводящими к пространственно-временному перераспределению региональной сейсмичности. В качестве проверки данных результатов проведен статистический анализ воздействия 50 сильнейших СВ класса X на глобальную сейсмическую активность, а также на зоны подготовки землетрясений (ЗТ), расположенные на освещенной части земного шара и в радиусе 5000 км вокруг подсолнечной точки (ПСТ). Методом наложения эпох показано, что в течение 10 суток после СВ по сравнению с 10 сутками до СВ наблюдается рост сейсмичности, особенно в зоне ПСТ (в 1.4 раза). На основе результатов полевых наблюдений и лабораторных экспериментов ранее установлено, что динамическое и электромагнитное (ЭМ) инициирование землетрясений возможно, когда земная кора находится в субкритическом напряженно-деформированном состоянии. Обычно такое состояние присутствует в афтершоковых зонах (АЗ) сильных ЗТ в период перераспределения напряжений в земной коре после главного толчка. На примере АЗ сильного ЗТ с $M=9.1$ (Суматра-Андаманские острова, 26.12.2004) после СВ класса X7.2 (20.01.2005) показано, что количество афтершоков с $M>2.5$ увеличивается более чем в 20 раз после СВ с задержкой в 7 суток. Для АЗ Дарфилдского ЗТ ($M=7.1$, 04.09.2010, Новая Зеландия) показано, что сильные СВ классов X и M, вероятно, спровоцировали три сильных афтершока ($M>5.5$) с одинаковой задержкой в 6 дней на разломе Порт-Хиллз, который является чувствительным к внешнему ЭМ воздействию с точки зрения его электропроводности и ориентации. Аналогичные результаты были получены для отклика АЗ семи сильных землетрясений Северной Калифорнии на 24 сильные вариации горизонтальной компоненты dV_x ГМП ($|dV_x/dt|>50$ нТл/мин), зарегистрированные на обсерватории Фресно в период 1991-2024 гг. Физический механизм триггерного ЭМ-воздействия на зону подготовки ЗТ может быть связан с поведением флюида во время сильных вариаций ГМП, аналогично триггерному воздействию удаленных сильных ЗТ. Для проверки этой гипотезы был проведен статистический анализ сейсмичности на трех геотермальных полях (ГТП) Северной Калифорнии в период 24 сильных вариаций ГМП. Показан статистически значимый рост сейсмичности ГТП с задержкой от 2 до 10 дней после вариации ГМП. Это свидетельствует не только о наличии триггерного потенциала сильных вариаций ГМП, но и о роли флюидов в инициировании ЗТ. На основе данных по отклику

сейсмичности на сильные внешние ЭМ-воздействия на зоны подготовки ЗТ предлагается подход для получения дополнительных прогностических данных для краткосрочного прогноза ЗТ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-00205).

2.31 Отклик акустической эмиссии приповерхностных осадочных пород на близкий грозовой разряд в пункте «Карымшина»

Марапулец Ю.В.¹, Руленко О.П.², Мищенко М.А.¹

¹ *Институт космofизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Исследуются возмущения метеорологических величин, электрического поля в приземной атмосфере и акустической эмиссии приповерхностных осадочных пород в пункте «Карымшина». Эти возмущения зарегистрированы во временной окрестности грозового разряда 11 октября 2022 г., произошедшего на расстоянии 1.2 км от данного пункта. По особенностям скачка градиента потенциала атмосферного электрического поля выяснено, что разряд был от облака на землю с переносом на нее отрицательного заряда. Определено время релаксации этого поля после разряда, оценена эффективная электрическая проводимость в облаке, связанная с величиной электрических потерь, вносимых омической и турбулентной проводимостью. Она составила $2 \cdot 10^{-13}$ См/м.

Через 128 с после грозового разряда появилось аномальное акустическое излучение приповерхностных осадочных пород, которое было одновременно зарегистрировано трехкоординатным сейсμοприемником в диапазоне частот 0.5–400 Гц и тремя разнесенными по площади приемниками акустической эмиссии на частотах 0.05–10 кГц. Акустические возмущения, зарегистрированные каждым из четырех датчиков, отличались временной формой и спектром. Эти особенности отклика осадочных пород на деформирование можно объяснить различием текстуры и дисперсного состава пород в точках установки датчиков.

Предлагается возможный механизм генерации акустической эмиссии приповерхностных осадочных пород при переносе в них электрического заряда из грозового облака.

Исследование выполнено при поддержке Государственного задания ИКИР ДВО РАН, регистрационный номер темы исследования 124012300245-2 и Государственного задания ИВИС ДВО РАН, регистрационный номер темы исследования 124031400016-8.

2.32 Сейсмогенные эффекты в вариациях геофизических полей перед землетрясением магнитудой М6.1 в регионе Северного Тянь-Шаня

Салихов Н.М.¹, Пак Г.Д.¹, Нуражынов С.М.¹, Щепетов А.Л.^{2,1}

*¹ Институт ионосферы Аэрокосмического комитета
Министерства цифрового развития, инноваций и
аэрокосмической промышленности*

*² Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской
академии наук*

Сейсмогенные эффекты в вариациях геофизических полей перед землетрясением магнитудой М6.1 в регионе Северного Тянь-Шаня 4 марта 2024г. на эпицентральной расстоянии 12.2 км от комплекса измерительного оборудования, предназначенного для мониторинга геофизических полей в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня, произошло крупное землетрясение магнитудой М6.1. В мегаполисе г.Алматы на расстоянии 30 км от эпицентра землетрясение ощущалось интенсивностью 5-6 баллов по шкале MSK-64 г. Подготовку этого сейсмического события мы обнаружили в реальном времени за 8 дней до основного толчка, когда в вариациях потока гамма-квантов в скважине на глубине 100 м возникло характерное бухтообразное понижение, что согласно нашим предыдущим исследованиям, с большой вероятностью свидетельствовало о приближающемся землетрясении. Ранее подобные эффекты бухтообразного понижения интенсивности потока гамма-квантов в скважине (на глубине 40 и 100м) мы неоднократно регистрировали перед землетрясениями магнитудой М4.2-7.1. Исследованы сейсмогенные эффекты подготовки землетрясения в вариациях геофизических полей: естественного импульсного электромагнитного поля

Земли (ЕИЭМПЗ) на частотах VLF диапазона (7500 Гц и 10000 Гц); электромагнитных сигналов ULF диапазона (0,0001 – 20 Гц); интенсивности потока гамма-квантов в скважине на глубине 100 м; доплеровского сдвига частоты ионосферного сигнала. Установлена временная сопряженность появления аномальных эффектов в вариациях электромагнитных волн диапазонов VLF и ULF частот с динамикой гамма-излучения подпочвенных слоев горных пород на этапе подготовки землетрясения. Используя доплеровский метод зондирования ионосферы, была исследована возможность распространения сейсмогенных возмущений от литосферы до высот ионосферы. Выявлена последовательность появления возмущений сначала в вариациях естественного импульсного электромагнитного поля Земли и вариациях потока гамма-квантов в скважине, отражающих активизацию тектонических процессов в литосфере, а затем в доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала. Квазисовременное возникновение сейсмогенных аномалий в различных геофизических полях указывало на завершающий этап подготовки землетрясения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP19678127 «Разработка методов мониторинга геофизических полей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера в сейсмоопасном регионе Северного Тянь-Шаня».

2.33 Малые эффекты в магнитных измерениях на обсерваториях: влияние температуры

*Хомутов С.Ю.¹, Гвоздарев А.Ю.¹, Арора Кусумита²,
Лингала Манжула²*

¹ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия*

² *СНПИ - Национальный институт геофизических исследований, Индия*

Рассмотрены различные аспекты влияния температуры на магнитные измерения на обсерваториях «Паратунка» ИКИР ДВО РАН (Россия), «Хайдарабад» и «Чоутупал» CSIR-NGRI (Индия). Описываются аппаратные средства контроля и управления температурным режимом в измерительных павильонах. Делается оценка

возможных температурных эффектов в результатах измерений магнитометрами различного типа. Акцентируется сложность реального учёта этих эффектов, направленного на повышение достоверности получаемых магнитных данных. Работа А.Ю. Гвоздарева и С.Ю. Хомутова выполнена в рамках Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

2.34 Малые эффекты в магнитных измерениях на обсерваториях: возможное влияние движения автомобилей по шоссе

Хомутов С.Ю., Гвоздарев А.Ю.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

С ростом технической насыщенности человеческой деятельности количество возможных источников помех в результатах измерений на магнитных обсерваториях растёт. Например, движение автомобилей по шоссе, проложенному вблизи обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН (Камчатка), потенциально является подобным источником. В рамках мастер-классов, проведённых сотрудниками обсерваторий для участников молодёжных мероприятий, организованных Правительством Камчатского края в 2023-2024 годах, были выполнены прямые измерения сигналов в магнитном поле, возникающих на расстояниях от 4 до 40 м от проезжающих по шоссе автомобилей. Зафиксированные аномалии лежат в пределах от 2 до 120 нТл, в зависимости от расстояния, типа автомобиля и направления движения. В целом, эффект понижается как R^{-3} , и прямое влияние на регулярные магнитные измерения, выполняемые на расстоянии около 250 м от шоссе, ожидается несущественным. Другим эффектом немагнитной природы является вибрация, создаваемая многотонными груженными грузовиками, проезжающими по шоссе. Эта вибрация визуально проявляется как колебания автокомпенсатора шкалы вертикального круга теодолита ЗТ2КП, используемого при абсолютных наблюдениях, и может проявляться как колебания магнитных датчиков на карданном подвесе в магнитометрах FGE-DTU и dIdD GSM-19FD.

Работа выполнена за счёт Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

2.35 Спектральный метод пеленгации источников ОНЧ-излучения

Малкин Е.И.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Подробно описывается антенный комплекс, методики определения азимута, калибровка и проверка комплекса. Дано описание разработанного метода определения азимута по спектральным компонентам электромагнитного сигнала. Спектральный метод заключается в определении азимута исходя из значений спектральных компонент ОНЧ-сферика. Особое внимание уделено проверке достоверности полученным данным. В результате были синхронизированы базы данных, полученные с комплекса радионаблюдений AWDANet, WWLLN и ОНЧ-радиопеленгатора. Проверка на контрольной выборке показала, что погрешность данного метода составляет $\sim 0.2^\circ$. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

2.36 Исследование поляризационного джета/SAID на основе измерений российских спутников «Ионосфера-М»

Синевиц А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугунин Д.В.¹, Пулинец С.А.¹, Цибуля К.Г.³, Могилевский М.М.¹

¹ *Институт Космических Исследований РАН*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

³ *Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова*

Поляризационный джет (Polarization Jet, PJ, также известный как Subauroral Ion Drift, SAID) — явление, происходящее в субавральной ионосферной плазме, представляющее собой узкую полосу

сильного западного дрейфа ионов на высотах F-слоя вблизи границы проекции плазмопаузы. В данной работе впервые использованы измерения ионозонда ЛАЭРТ на борту спутника «Ионосфера-М» для исследования структуры PJ/SAID. Кроме того, было проведено сравнение как с данными измерений других приборов на различных спутниках, так и с измерениями наземных ионозондов. Проект «Ионозонд» направлен на решение задач мониторинга околоземного космического пространства и фундаментальных исследований космической плазмы и волновых процессов в ней. На борту каждого из спутников космической системы «Ионозонд» установлен спутниковый ионозонд ЛАЭРТ, позволяющий производить зондирование ионосферы над любой точкой земной поверхности. Поляризационный джет (Polarization Jet, PJ), в англоязычной литературе известный как субавроральный ионный дрейф (SubAuroral Ion Drift, SAID), формируется в субавроральной области ионосферы (геомагнитные широты 70° - 50°) представляет собой узкую по широте (1° - 2° широты) полосу сильного ионного дрейфа на запад на высотах F-слоя вблизи границы проекции плазмопаузы. Скорость дрейфа ионов в такой полосе может достигать нескольких километров в секунду, а неоднородности плазменных параметров внутри могут иметь масштабы вплоть до десятков-сотен метров. Такие высокие скорости и такая структурированность плазмы влияют на прохождение радиосигнала и проявляются на ионограммах, полученных наземными ионозондами. Однако исследование параметров PJ/SAID наземными ионозондами затруднено, поскольку для этого необходимо, чтобы географическое расположение PJ/SAID совпало с направлением зондирования ионозонда, что бывает достаточно редко. Кроме того, зондирование с Земли ограничено высотой главного ионосферного максимума, что не позволяет исследовать PJ/SAID в верхней части F-слоя – на высоте измерений ионосферных спутников (450-800 км). Зондирование, осуществленное бортовым ионозондом с высоты орбиты космических аппаратов «Ионосфера-М» (800 км), позволяет получить ионограммы верхней части F-слоя ионосферы в полосе PJ/SAID над любой географической точкой (в том числе над океаном) и сравнить их с данными измерений других спутников, оборудованных дрейфметрами и зондами Ленгмюра. Кроме того, это дает возможность одновременного зондирования PJ/SAID наземным и бортовым ионозондом.

2.37 Синхронные события множественности нейтронов на двух нейтронных мониторах

Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздецкий Б.Б.

Полярный геофизический институт РАН

В лаборатории Космических лучей в Апатитах два различных регистрирующих прибора (стандартный нейтронный монитор (НМ) и бессвинцовая секция НМ) объединены высокоскоростной системой регистрации в единый детектор. Система высокоскоростной разработана в ПГИ, она является единой для двух приборов и фиксирует появление каждого импульса с точностью до 1 мкс. Используется привязка по сигналам GPS. Различия стандартного НМ и бессвинцовой секции состоят в энергетических диапазонах, в которых они эффективно регистрируют нейтроны. Стандартный НМ эффективен для частиц с энергиями от 50 МэВ до единиц ГэВ и более. Бессвинцовая секция НМ чувствительна к тепловым нейтронам и нейтронам с энергиями до сотен кэВ. Размещены оба прибора в одной комнате. Событие множественности номера М на НМ – это регистрация М нейтронов за время порядка 1-2 мс, тогда как средний интервал между регистрациями нейтронов составляет 7-9 мс. Вероятность такого события в результате случайного совпадения весьма мала и быстро убывает с ростом М, при $M > 10$ такие события при случайном совпадении возможны не более раза в год, тогда как реально они регистрируются ежеминутно. Считается, множественные нейтроны возникают как в свинцовой оболочке НМ от одиночной высокоэнергичной частицы, так и образуются в атмосфере, в том числе при ШАЛ. Во втором случае их называют адронными ливнями. Отметим, что внешняя полиэтиленовая защита НМ препятствует выходу наружу нейтронов, образовавшихся в свинце. Одновременная регистрация на НМ и бессвинцовой секции событий множественности указывает на то, что такие события множественности произошли от облаков нейтронов, накрывающих оба прибора. В адронных ливнях присутствуют нейтроны и нуклоны различных энергий. Разработана методика поиска одновременных множественностей на двух приборах. Выполнена обработка данных НМ и бессвинцовой секции за ряд лет, что составило более 1000 дней. Отобраны события множественности, одновременные на НМ и бессвинцовой секции. Анализ

отобранных событий множественности показывает, что они имеют параметры, отличающиеся от средних событий множественности на самом НМ. Это, во-первых, подтверждает разную природу событий множественности: размножение внутри свинца или внешний источник множественных нейтронов. Во-вторых, позволяет различать источники множественных нейтронов: космогенные или локальные. Таким образом, парой детекторов – нейтронным монитором и бессвинцовой секцией – имеется возможность определять источники всплесков нейтронов у поверхности земли.

2.38 Оценка ионизации космическими лучами атмосферы Земли для области высоких широт во время солнечных протонных событий

Маурчев Е.А.¹, Диденко К.А.²

¹ *Полярный геофизический институт РАН*

² *Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

Арктический регион Российской Федерации располагается в области высоких широт, в которых значение вертикальной жесткости геомагнитного обрезания принимает небольшие значения (не более 0.65 ГВ). На границе магнитосферы всегда существует поток протонов галактических космических лучей (ГКЛ), который является непрерывным и изотропным. В зависимости от своей энергии эти частицы могут достигать границы атмосферы (в этой работе условно 100 км) и взаимодействовать с ядрами кислорода и азота как через простой процесс - ионизацию, так и через более сложный - каскадный процесс, вплоть до уровня Земли. Солнечные космические лучи (СКЛ) в среднем имеют относительно низкоэнергичный спектр (от единиц МэВ до максимум 5 ГэВ), но при этом их абсолютная величина потока значительно превышает поток ГКЛ (вплоть до нескольких порядков). При этом эти частицы также как и ГКЛ взаимодействуют с атмосферой Земли и вызывают повышения скорости ионизации в диапазоне высот от 10 км до 100 км, что, в свою очередь, влияет как на увеличение значения эквивалентной дозы излучения, так и на химические процессы. В этой работе

рассматриваются примеры, в которых рассчитывались дифференциальные энергетические спектры протонов первичных СКЛ для событий 24-25 циклов солнечной активности и оценивается их влияние на скорость ионизации. Приводятся высотные профили для различных значений вертикальной жесткости геомагнитного обреза.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20038, <https://rscf.ru/project/25-17-20038/>.

2.39 Поведение высокоширотной ионосферы в период магнитной супербури 10 - 13 мая 2024 года в западном секторе арктической зоны России

*Загорский Г.А., Мингалева А.О., Благовещенская Н.Ф.,
Калишин А.С., Егоров И.М.*

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

В работе представлены данные, характеризующие поведение высокоширотной ионосферы в западном секторе арктической зоны России, во время майской супербури 2024 года. Данные были получены с помощью ионозондов, установленных на сети станций Росгидромета, осуществляющих непрерывное наклонное и вертикальное зондирование (НЗИ и ВЗИ) с частотой 4 раза в час, а также риометров, ежеминутная запись. Для анализа были привлечены данные описывающие геофизические условия и характеристики солнца и солнечного ветра до начала бури и во время неё. Проанализированные данные охватывают период с 10 по 13 мая 2024 года.

До анализируемого периода произошло наложение нескольких корональных выбросов массы (КВМ) от Солнца, которые имели место с 8 по 10 мая. В результате, 10 мая в 17:00 – 17:15 UT было зафиксировано резкое изменение в область отрицательных значений индекса SYM-H и DST, в это же время на Землю высыпался поток энергичных протонов, с энергией более 10 МэВ, что привело к длительному исчезновению отражений от F2-слоя, как хорошо видно на данных ВЗИ.

Особенно важно отметить, что в вечерние и ночные часы распространение радиоволн на высокоширотных трассах

осуществлялось исключительно благодаря отражению от спорадического Е-слоя. Это наблюдение подтверждается данными тригонометрических измерений, собранных на сети станций, которые указывают на наличие выбросов энергичных протонов в высоких широтах. Результаты анализа подчеркивают существенную значимость геомагнитных бурь для ионосферных процессов, их колоссальное влияние на радиосвязь в арктическом регионе, а также показывают неослабевающую значимость наземных методов диагностики параметров ионосферы.

2.40 Влияние возмущений магнитного поля Земли на сейсмическую обстановку на территории Азербайджанской Республики

*Байрамов А.А.¹, Абдуллаев Ф.Н.¹, Сулейманов С.С.¹,
Етирмишли Г.Дж.¹, Микайлов Х.М.²*

¹ *Республиканский Центр Сейсмологической Службы при
Национальной Академии Наук Азербайджана*

² *Бакинский Государственный Университет*

Вопросы, касающиеся связи сейсмической обстановки в том или другом районах Земли с геомагнитными возмущениями, являются одними из актуальных в области взаимодействия геофизических полей и физики предвестников землетрясений. Механические эффекты в очаге землетрясения, вариации электрофизических свойств среды, возбуждение мощных сейсмических сигналов и другие факторы оказывают влияние на режимы геофизических полей, включая геомагнитное поле. Несмотря на большое число научных публикаций, до сих пор нет общепринятого консенсуса в решении этой проблемы. Поэтому существует необходимость в дополнительных исследованиях в этом направлении. В Республиканском Центре Сейсмологической Службы при Национальной Академии Наук Азербайджана при поддержке Фонда Развития Науки, в числе прочих, проводятся исследования, касающиеся влияния геомагнитных возмущений Земли на интенсивность землетрясений на территории Азербайджанской Республики. За период с января по декабрь 2024 года были проведены измерения интенсивности землетрясений с магнитудой ML в пределах

3.0 – 5.3 и интенсивности геомагнитного шторма вариаций магнитного поля Земли с индексом по воздействию G в пределах 2 – 5. Анализ первых результатов исследований показывает, что как правило, за 5 – 8 дней перед магнитными бурями с $G = 3 – 4$ происходят форшоки землетрясений на глубинах от 50 км до 70 км, а после магнитных бурь – авершоки на меньших глубинах от 13 км до 20 км. Авторами выдвигаются две вероятные причины этих явлений: геомагнитные бури провоцируют подземные толчки и сдвиг тектонических плит; геомагнитные бури вызывают высокий градиент температур в недрах Земли на окраинах тектонических плит. Данный фактор может быть связан с эффектом Эттингсгаузена: эффект возникновения градиента температур в находящемся в магнитном поле проводника, через который протекает электрический ток. При этом, если ток протекает вдоль оси X , магнитное поле направлено вдоль оси Y , то градиент температур будет возникать вдоль оси Z . Градиент температур, в свою очередь, создает силы напряжения между структурами (тектоническими плитами). В результате этого происходят подземные толчки, с запаздыванием в несколько дней. Отметим, что это только один из факторов, являющийся причиной землетрясений.

2.41 Почему не все Форбуш-эффекты связаны с геомагнитными бурями?

Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Белов С.М.

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

Выделены и исследованы события Форбуш-эффектов в галактических космических лучах (по данным сети нейтронных мониторов) и сопутствующих геомагнитных возмущений за длительный период с 1957 по 2022 гг. Проанализированы статистические связи между различными параметрами вариаций потока космических лучей и индексами геомагнитной активности. Установлено, что величина Форбуш-эффектов нелинейно зависит от класса геомагнитной бури. Найдена умеренная корреляция (до 0.67) между экстремальными значениями различных индексов геомагнитной активности (A_p , K_p , Dst) и характеристиками космических лучей. Показано, что

одновременная регистрация экстремальных значений параметров космических лучей и геомагнитной активности происходит далеко не всегда, а зависит от знака V_z -компоненты межпланетного магнитного поля в конкретном событии.

3 Физика предвестников землетрясений

3.1 Сравнительный анализ численных методов решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии

Сергиенко Д.Ф.^{1,2}, Паровик Р.И.^{1,2}

¹ *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

² *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Математическая модель высокочастотной геоакустической эмиссии основана на системе связанных осцилляторов, описываемых линейными обыкновенными дифференциальными уравнениями второго порядка с непостоянными коэффициентами, демонстрирующими асимптотическое затухание. Каждое уравнение системы моделирует отдельный импульс эмиссии с уникальными параметрами, а обмен энергией между импульсами определяется коэффициентом линейной связи. Для математической модели был проведён количественный и качественный анализ, было доказано, что математическая модель может быть жёсткой при определённых значениях параметров. В статье представлено исследование четырёх численных методов для решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии на языке программирования Python: метод Розенброка 4-го порядка точности, метод Radau, метод BDF и метод LSODA. Реализован метод Розенброка на Python, методы Radau, BDF и LSODA взяты из библиотеки Scipy Python. В статье представлена теория каждого численного метода, что позволяет обосновать выбор методов для решения задачи. Целью работы является сравнительный анализ их эффективности по критериям точности, стабильности и вычислительной сложности. Порядок точности методов был оценен на языке Python с помощью правила Рунге, а также проанализированы их характеристики при решении системы. Результаты исследования визуализированы графически в виде осциллограмм, спектров, фазовых траекторий, а также графиков зависимости порядка точности от шага вычислений при различных условиях: наличия жесткости, неустойчивости и т.д. Согласно результатам исследования, метод Розенброка обеспечивает высокую точность для различных параметров модели, в то время как порядок других методов имеет экспериментальный порядок ниже теоретического.

Исследование позволит выбрать наиболее подходящий численный метод для анализа геоакустических процессов и может быть использовано для прогнозирования деформационных явлений в горных породах.

3.2 О приложении эредитарной математической модели для оценки изменения плотности потока радона во временной окрестности сильных землетрясений на Камчатке

Твёрдый Д.А.^{1,2}, Макаров Е.О.³, Паровик Р.И.¹

¹ *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

² *Научно-исследовательский институт цифровых технологий и искусственного интеллекта*

³ *Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал*

Для Камчатского края проблема сейсмичности имеет наивысший приоритет, так как полуостров Камчатка расположен в одном из наиболее сейсмоопасных районов Земли. Одним из методов изучения таких процессов является мониторинг изменения концентрации газа радона. В исследовании с использованием экспериментальных данных объёмной активности радона (ОАР), полученных с пунктов наблюдения Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона, показано изменение плотности потока радона (ППР) вследствие воздействия сейсмических волн и постсейсмической релаксации среды. Проводится математическое моделирование процесса накопления радона в накопительной камере на пункте наблюдения. В качестве модели рассматривается эредитарная $\alpha(t)$ -модель ОАР на основе метода дробной производной для учёта нелокальности процесса массопереноса радона в геосреде, где переменный порядок производной связан с интенсивностью процесса. Для подбора оптимальных значений некоторых параметров модели формулируется и решается коэффициентная обратная задача. Полученные модельные кривые ОАР хорошо согласуются с реальными данными, а полученные оценки ППР согласуются с теорией. Работа выполнена за счет государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

3.3 Использование нейросетевых методов для обработки акустических сигналов при прогнозе землетрясений

Короченцев В.И.¹, Шевкун С.А.¹, Губко Л.В.¹, Чень Сяолэй²

¹ *Дальневосточный Федеральный Университет*

² *China Harbin characteristics technology Co., Ltd.*

При сейсмологических наблюдениях интенсивные техногенные помехи оказывают негативное влияние. Однако в ряде работ отмечено, что техногенный источник можно использовать как зондирующий сигнал для создания дополнительной сейсмической “подсветки” геосреды и выявления неоднородностей с сильными рассеивающими, отражающими свойствами. Известен эксперимент на одном из месторождений Западной Сибири по изучению изменения акустического сигнала, вызванного поверхностным вибрационным воздействием. Вибрационное воздействие осуществлялось с частотой в диапазоне 10-33 Гц. Основным результатом проведенных исследований было инструментальное подтверждение возможности инициирования внутренних акустических колебаний воздействием с поверхности. В данной работе предлагается использовать в качестве предвестников землетрясения регистрацию изменения характеристик отклика на вибрационное воздействие. В части приема сигнала предлагается использовать опыт скважинного геоакустического мониторинга, проводимого на территории Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона. Проведено математическое моделирование с использованием нейронных сетей, предложен способ обработки регистрируемого акустического сигнала с целью выделения признаков изменения пространственного расположения неоднородностей в геосреде. Исследование выполнено при поддержке гранта FZNS-2023-0008.

3.4 Изменение осей главных напряжений как возможная причина предсейсмических аномалий направленности геоакустического излучения в пункте наблюдений «Микижа»

Гапеев М.И., Марапулец Ю.В., Солодчук А.А.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Механические процессы, определяющие и сопровождающие подготовку тектонического землетрясения, приводят к изменению напряженно-деформированного состояния земной коры. Эти изменения являются причиной возникновения аномалий в различных геофизических полях. В случае, если они возникают перед землетрясениями, их классифицируют как предвестники. Среди выявленных предсейсмических аномалий в геофизических полях на Камчатке обнаружен высокочастотный акустоэмиссионный эффект. Он заключается в росте интенсивности геоакустического излучения при увеличении скорости деформации массивов горных пород. Наиболее ярко этот эффект проявляется в килогерцовом диапазоне частот за одни–три суток перед землетрясениями на удалении первых сотен километров от их эпицентров. Показано, что при эффекте также возникает ярко выраженная неравномерность азимутального распределения геоакустического излучения, которая обусловлена ориентацией источников акустических колебаний в поле напряжений приповерхностных осадочных пород.

Для сопоставления выявленных максимумов азимутального распределения геоакустического излучения с ориентациями осей главных напряжений пород при подготовке землетрясений произведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния земной коры. Вычисления проводились в рамках статической упругой модели. Земная кора была представлена в виде изотропного упругого полупространства. Источник готовящегося землетрясения — в виде комбинации двойных пар сил, интенсивность которых выбиралась в соответствии с компонентами тензора сейсмического момента. В модель также был введен коэффициент усиления деформаций, основанный на оценке потенциальной энергии, накопленной при подготовке землетрясения. Моделирование проводилось для камчатских землетрясений,

произошедших в период с 1986 по 2020 годы. Данные по ним, содержащиеся в том числе экспериментальную оценку тензора сейсмического момента, взяты из каталога механики очагов землетрясений «Global Centroid Moment Tensor Catalog». По результатам моделирования построены азимутальные распределения направления осей главных напряжений, соответствующих сжатию и растяжению. Показано, что результаты моделирования согласуются с выявленными максимумами азимутального распределения геоакустического излучения, зарегистрированного в пункте наблюдений «Микижа».

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

3.5 Развитие методов анализа данных измерений электротеллурических потенциалов

*Закупин А.С., Стовбун Н.С., Богомолов Л.М., Костылев Д.В.,
Дудченко И.П., Гуляков С.А.*

Институт Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН

В работе представлены результаты обработки данных электротеллурических потенциалов на Южно-Сахалинском геодинамическом полигоне. Измерения ведутся с июня 2023 года, и с учётом предварительных результатов, которые были представлены в 2024 году, в настоящее время отождествлены с мониторингом сейсмогенерирующих сегментов ближайшего разлома и краткосрочным прогнозом землетрясений. Предложенные методы и средства, применяемые в наших измерениях, являются для данного направления инновационными, в том числе и по характеру предвестников. Предвестник определяется однозначно и непротиворечиво. На первом этапе он проявляется в появлении некоторой (однозначно выделяемой полосовым фильтром) шумовой компоненты в ночное время. Эта ночная (в соответствии с заходом и восходом солнца по местному времени) компонента представлена квазипериодическими импульсами длительностью 2-3 секунды. После первого появления ночной шум может продолжительное время существовать (многие месяцы), причём каждый день, и параметры импульсов практически не меняются. На втором

этапе (за несколько недель до землетрясения) в ночном шуме изменяются длительность сигнала, период его следования, форма и амплитуда импульса. Перед самым землетрясением все наблюдаемые изменения достигают максимума. В настоящее время за два года измерений на Южно-Сахалинском геодинамическом полигоне выделено два эпизода ретроспективного прогноза землетрясений в ближней зоне (до 20 км) Апеловского разлома (Юг острова Сахалин). Землетрясения произошли 9 августа 2023 года ($M=3.4$) и 24 января 2025 года ($M=2.1$), причём фактура предвестника коррелирует с энергией события. В работе также приведен подробный анализ ближайших к пункту регистрации сейсмогенерирующих сегментов Апеловского разлома, который уточняет что эти два землетрясения единственные из независимых (созависимые исключены из рассмотрения) за всё время. Притом, что предвестника тоже два и они идеально совпадают с сейсмическими событиями, то корреляция между двумя процессами очевидно очень высока.

3.6 Особенности развития сейсмического процесса перед дуплетом землетрясений в Турции (06.02.2023, $M_w=7.8$, $M_w=7.6$)

Закупин А.С.

Институт Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН

В работе представлены результаты исследования сейсмического процесса в районе Восточно-Анатолийского разлома (Турция), где в феврале 2023 года произошли два катастрофических землетрясения (дуплет). Построены графики активности для шести областей с центром в эпицентре первого землетрясения. Выделены характерные периоды с постоянной скоростью сейсмического процесса и точки перехода. Обнаружены локальные активизации в 2012 и 2022 гг., которые приурочены к эпицентрам дуплета и являются доминирующими на протяжении первых сотен километров по разлому. Все активизации были приурочены к одной и той же зоне немного восточнее эпицентра первого февральского землетрясения. Показано, что эти активизации не соответствуют стандартной схеме работы сейсмического очага, то есть не имеют однозначно определяемого главного события и характерного

афтершокового процесса. Скачкообразный процесс активности в 2022 году закончился за 40 дней до дуплета землетрясений, и может быть рассмотрен в качестве краткосрочного прогностического признака. Главными характеристиками такой краткосрочной аномалии в сейсмической активности является сокращение длительности каждой последующей активизации и уменьшение времени между ними. Локальная активизация 2012 года, судя по распределению эпицентров землетрясений, вероятно, является начальным этапом развития процесса, который получил продолжение в 2022 году.

3.7 Геоакустические наблюдения в удаленном пункте «Крутоберегово»

Мищенко М.А., Сенкевич Ю.И.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

На севере Камчатки пункте наблюдений «Крутоберегово» с осени 2021 года проводится мониторинг сигналов геоакустической эмиссии. Накоплен почти двухлетний непрерывный ряд акустических данных. Геоакустическая эмиссия рассмотрена в виде потока акустических импульсов. Представлены результаты анализа динамики распределения амплитуды импульсов и их сопоставления с региональным сейсмическим каталогом.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

3.8 Инстантонная модель потока форшок-афтершоковых событий (единый кинетический подход)

Богомолов Л.М.¹, Родкин М.В.^{1,2,3}, Сычев В.Н.¹

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН*

² *Институт физики Земли им. О.Ю Шмидта РАН*

³ *Институт теории прогноза землетрясений и
математической геофизики РАН*

Инстантоны – локализованные во времени возмущения физических полей, которые рассматриваются в ряде разделов теоретической физики как упрощенная модель переходных процессов. Название «инстантоны» подчеркивает их аналогию с солитонами, т.е. пространственно-локализованными волновыми возмущениями, которая проявляется при замене в уравнениях для волновой формы текущей координаты x на время t . Наглядный образ инстантонного решения – производная по времени от логистической (S - образной) зависимости, описывающей переходный процесс. Трактовка деформационных процессов в области вокруг готовящегося очага землетрясения как перехода между состояниями «до» и «после» главного события довольно тривиальна при рассмотрении на качественном уровне. Но количественное описание форшоков и афтершоков проводится, как правило, отдельно. Использование кинетических уравнений, имеющих инстантонные решения, для моделирования потока сейсмических событий перед и после главного удара позволяет унифицировать описание форшоковых и афтершоковых последовательностей. Сходство этих последовательностей видно уже из подобия математических выражений для прямого и обратного законов Омори – Утсу. Еще более тесную аналогию между ними показали исследования обобщенной окрестности сильного землетрясения (ООСЗ). Было убедительно показано, что сходство распространяется также на аномалии изменения наклона графика повторяемости (средней магнитуды землетрясения) и на ряд других характеристик процесса активизации. При этом все выявляемые в ООСЗ аномалии допускают вполне определенную количественную параметризацию. Естественно, в разных случаях значения параметров соответствующих регрессионных соотношений и такие характеристики, как некое среднее отношение числа фор- и афтершоков, варьируют.

Полученные в ООСЗ эмпирические закономерности мы используем для подбора параметров инстантонной модели. Цель доклада – продемонстрировать плодотворность использования инстантонной модели на примере землетрясений в южной части о-ва Сахалин за 2003–2022 гг. Эмпирические зависимости сейсмической активности от времени строились для территории в пределах (44.5° – 50.5° С.Ш., 141.5° – 43.5° В.Д.). При сопоставлении эмпирических графиков и решений кинетических уравнений были подобраны параметры модельных уравнений для инстантонов. Показано, что удовлетворительное сходство временных зависимостей в интервале плюс минус 20 суток от главного события обеспечивают сравнительно простые кинетические уравнения первого порядка. Более сложные уравнения второго порядка позволяют описать закономерность, что количество афтершоков и период их активности больше, чем для форшоков. Инстантонное описание обобщает естественным образом модель саморазвивающихся процессов (СРП), в рамках которой выделяется стадия взрывного роста числа форшоков перед главным событием, что может быть прогнозным признаком. Реализация СРП есть не что иное как хорошо известный случай режимов с обострением. И она сталкивается с принципиальной трудностью – описываемый этой моделью неограниченный рост активности, т.е. сингулярность решения, перед или в момент главного события не отвечает реальным наблюдениям, да и вообще является чисто математической абстракцией. Инстантонная модель устраняет это противоречие, так как из нее получаются решения с пиком активности, но без сингулярности. Максимальная активность может превышать начальную на один – два порядка, причем пик достигается при накоплении определенного числа событий. Это число зависит от начальных условий и может рассматриваться как прогнозный параметр. Сценарий с инстантонами находится в соответствии с представлениями о концентрационном критерии разрушения сплошности среды.

3.9 Исследование динамики объемной активности радона с учетом напряженно-деформированного состояния геосреды

Сковпень Г.А.¹, Паровик Р. И.²

¹ Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга

² Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Эманиационный метод исследования миграционных свойств радона изначально применялся для поиска урановых руд, но его применение расширилось. Метод использует математические модели для анализа распространения радона в почвах, горных породах, атмосфере и других материалах, что важно для понимания радиационного облучения и защиты от него в зданиях и сооружениях, а также для прогнозирования геодинамических процессов, связанных с сейсмической активностью и горными ударами в шахтах.

В данном случае будем рассматривать следующую задачу:

$$\frac{dC(t)}{dt} = -\lambda C(t) + q(t), \quad C(t_0) = C_0, \quad (1)$$

где $C(t)$ – концентрация радиоактивного компонента в пористой геосреде на единицу объема, к-во частиц/м³; $t \in [t_0, T]$ – время рассматриваемого процесса; t_0, T – начальный и конечный момент времени, с; $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6}$ – постоянная радиоактивного распада, с⁻¹; $q(t) = q_0 \cdot \exp(f(\sigma(t)))$ – функция источника радона, к-во частиц/(м³с), характеризует поступление радиоактивного компонента в ее напряженном состоянии, которое определяется функцией $f(\sigma(t))$, q_0 – интенсивность эманирования радиоактивного компонента в не напряженном состоянии.

Задачу Коши (1) можно переписать в терминах ОАР в силу того, что она обычно измеряется на пунктах регистрации радонового мониторинга. Для перехода к ОАР необходимо воспользоваться формулой:

$$A(t) = \frac{\lambda C(t)}{\eta},$$

где η – коэффициент пористости.

Особенность работы заключается в новом подходе со стороны терминов объёмной активности радона, что приводит к новым задачам для анализа. Полученные модельные расчёты были сопоставлены с реальными данными для проверки их точности и релевантности.

Финансирование. Государственное задание ИКИР ДВО РАН №124012300245-2. Тема «Взаимодействие физических процессов в системе ближнего космоса и геосфер» (2024-2028 гг.).

3.10 Литосферно-ионосферное взаимодействие и сопровождающие его явления

Шевцов Б.М., Шереметьева О.В.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Рассматривается комплекс физических процессов, порождающих взаимодействие литосферы и ионосферы. Напряжения в земной коре, вызывающие пластические деформации, сопровождаются дислокационными изменениями, генерирующими импульсы электрического тока. Генерация электрического тока в горных породах приводит к объемному разделению электрических зарядов и выходу их на земную поверхность. Вследствие низкой проводимости нижней атмосферы формируется объемный электрический заряд у земной поверхности (электродный эффект), а за счет токов смещения формируется объемный электрический заряд противоположного знака в нижней ионосфере. Над морской поверхностью электризация атмосферы протекает аналогично. Конфигурация объемных электрических зарядов в атмосфере поддерживается генерацией электрического тока в горных породах. Электрические заряды у земной поверхности могут быть центрами концентрации водяных паров, а выделяемая при этом теплота испарения может быть причиной пульсаций температуры и мерцания теплового излучения атмосферы. В то же время объемные заряды в ионосфере могут быть причиной высыпаний заряженных частиц из радиационных поясов. Совокупность этих слабых и неустойчивых физических процессов рассматривается как комплекс предвестниковых критических явлений подготовки землетрясения. Многолетние наблюдения за этими

процессами позволили установить вероятности их возникновения, которые можно использовать в целях прогноза сейсмических событий.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

3.11 Мультипараметрический мониторинг в системе прогнозирования сильного землетрясения на Камчатке

Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К.

Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал

С конца 70-х гг. XX в. на Камчатке проводятся комплексные наблюдения с целью изучения предвестников землетрясений. Особенностью мультипараметрической сети геофизических и геохимических наблюдений является ее расположение на небольшой территории Петропавловск-Камчатского полигона (ПКП). Целью исследования является изучение эффекта комплексного проявления предвестников (ЭКПП) в мультипараметрических данных для обеспечения прогноза сильного землетрясения, опасного для населения и инфраструктуры Петропавловск-Елизовской агломерации. Под ЭКПП понимается заблаговременное проявление не менее 80 процентов видов предвестников из всей их рассматриваемой совокупности. С использованием опубликованных материалов, выполнен анализ ЭКПП перед мелко-среднефокусными землетрясениями с магнитудами $M_w=6.6$ и более по данным о пяти видах предвестников в 1987-2004 гг. и по четырнадцати видам предвестников в 2005-2022 гг. В течение 1987-2022 гг. произошли семь землетрясений, перед которыми фиксировался ЭКПП. Оценены параметры таких землетрясений: магнитуды $M_w=6.6-7.8$, гипоцентральные расстояния до центра ПКП $d_h=110-210$ км, отношение гипоцентрального расстояния к размеру очага землетрясения L , км (Завьялов, Зотов, 2021) $d_h/L=1.6-3.8$, отношение $M_w/\lg d_h=3.08-3.39$. Все такие землетрясения сопровождалось на территории ПКП сотрясениями интенсивностью 4.5 – 5.5 баллов по шкале MSK-64. Исключением является землетрясение 8 марта 1999г., $M_w=7.0$, $d_h/L=2.8$, перед которым ЭКПП

не проявлялся. Это землетрясение произошло через 15 месяцев после сильнейшего Кроноцкого землетрясения на фоне постсейсмических деформационных и гидрогеологических процессов. Обсуждается перспектива применения ЭКПП в системе прогнозирования землетрясений для более обоснованной оценки величин магнитуды и удаленности ожидаемого сильного землетрясения, по сравнению с возможностями отдельных сейсмопрогностических методов и теоретическими оценками зоны подготовки сильного землетрясения, в частности, по «формуле Добровольского».

3.12 Нейродетектор аномалий высокочастотной акустической эмиссии в периоды предшествующие и периоды следующие за сильными землетрясениями на Камчатке

Сенкевич Ю.И.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Представлены результаты разработки классификатора обнаруживаемых специфических отклонений характеристик сигнала высокочастотной акустической эмиссии, проявляющихся в периоды предшествующие сильным землетрясениям и периоды следующие после таких землетрясений с использованием методов искусственного интеллекта.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

3.13 Численные оценки и лабораторные исследования теплового механизма электромагнитного инициирования землетрясений

Новиков В.А.^{1,2}, Кульков Д.С.³, Паров С.В.³, Горынин И.П.³

¹ *Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия*

² *Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия*

³ *Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан*

Несмотря на большой объем выполненных полевых экспериментов и наблюдений, а также лабораторных исследований, подтвердивших существование электромагнитного инициирования землетрясений, физический механизм этого явления до сих пор не ясен, что сдерживает его практическое использование в целях снижения сейсмической опасности, как в части искусственной электромагнитной разрядки тектонических напряжений, так и в части краткосрочного прогноза землетрясений при электромагнитном триггерном воздействии сильных вариаций естественного геомагнитного поля на очаг землетрясения. В данной работе рассмотрена предложенная ранее гипотеза теплового триггерного механизма воздействия электрического тока на пористую флюидонасыщенную горную породу, когда джоулев нагрев флюида (минерализованной воды) в порах и трещинах приводит к росту внутривещного давления и снижению эффективной прочности горной породы. Численными оценками протекания тока в пористой флюидонасыщенной среде показано, что повышение температуры флюида и, как следствие, его давления в порах составляет несколько процентов, что может объяснить триггерный эффект воздействия электрического тока, когда геосреда находится в напряженно-деформированном состоянии, близком к пределу прочности горных пород. Данные результаты подтверждены в экспериментах на одноосном прессе с цилиндрическими образцами из искусственного песчаника и мрамора в форме прямоугольного параллелепипеда с квадратным сечением с различной пористостью, а также в экспериментах с модельной целевой полостью, имитирующей трещину или пору. Численные оценки и лабораторные эксперименты показывают, что гипотеза о тепловом триггерном

воздействии электрического тока на горные породы может быть принята в качестве рабочей для дальнейшей проработки в условиях лабораторных экспериментов на прессе и пружинно-блочной модели сейсмогенного разлома для определения пороговых значений уровня сдвиговых напряжений и величины электрического тока в модельном разломе, приводящих к триггерному эффекту.

3.14 Свойства деформационного процесса в фазах форшоков и афтершоков для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги, определяемые дробными параметрами эмпирических функций распределения

Шереметьева О.В., Шевцов Б.М.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Исследование проводится в рамках дробной модели деформационного процесса в сейсмоактивном регионе. В качестве модели рассматривается составной степенной процесс Пуассона в дробном представлении по времени. Вероятностные характеристики этого процесса выражает функция Миттаг-Лефлёр со степенным аргументом, которая учитывает степенное распределение частот повторяемости событий. Для верификации модели используются данные каталога землетрясений Камчатского филиала ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН» за период с 01.01.1962 по 31.12.2002 для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги. Расчёт эмпирических законов распределения форшоков и афтершоков проводится на основании двух алгоритмов, первый из которых рассматривает события, коррелирующие только с главным событием на основании принятых критериев пространственно-временной и энергетической связности событий. Второй алгоритм учитывает ветвление процесса, рассматривая события статистически связанные как с главным событием, так и со связанными с главным. Эмпирические законы распределения аппроксимируются трёхпараметрической функцией Миттаг-Лефлёр. Значения дробных параметров характеризуют свойства

эредитарности и нестационарности деформационного процесса в сейсмоактивном регионе. Проведено сравнение значений дробных параметров эмпирических законов распределения форшоков и афтершоков при использовании двух алгоритмов и сделаны выводы о влиянии класса главного события на их значения.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № НИОКТР 124012300245-2).

3.15 Поиск УНЧ сигналов от литосферных источников по магнитотеллурическим данным

Пилипенко В.А.¹, Зинкин Д.В.¹, Шлыков А.А.², Касимова В.А.³

¹ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

² *Санкт-Петербургский государственный университет*

³ *Единая геофизическая служба РАН, Камчатский филиал*

Основной проблемой изучения электромагнитных возмущений, связанных с сейсмической активностью, является разработка эффективных алгоритмов, позволяющих отличить эти воздействия от природной или техногенной деятельности. Предлагаемый нами метод основан на особенностях гипотетических сигналов сейсмического происхождения и требует одновременного использования как магнитной, так и электрической составляющих ультра-низкочастотного (УНЧ) сигнала. Предлагаемый подход дает принципиальную возможность дискриминации магнитосферно-ионосферных и сейсмогенных возмущений по кажущемуся импедансу возмущений (т.е. отношению спектральных амплитуд электротеллурической и магнитной компонент). Для теоретического обоснования метода рассчитаны электромагнитные поля в системе земля-атмосфера, создаваемые подземным горизонтальным токовым источником конечной длины. Моделирование позволило детально рассмотреть характерные особенности УНЧ отклика на подземный крупномасштабный излучатель, которые могут быть использованы для поиска электромагнитных предвестников землетрясений. Численные расчеты показывают, что кажущийся импеданс электромагнитного поля подземного источника на земной поверхности на порядок превышает импеданс

Земли, что может быть использовано для дискриминации возмущений от сейсмогенных источников. Также предсказано, что при одинаковой величине горизонтальной магнитной возмущенности подземный источник создает в скважине гораздо большее вертикальное электрическое поле E_z , чем магнитосферно-ионосферный источник. Однако все эти особенности проявляются только в окрестности литосферного источника (<30 км для глубины 20 км). Импедансный метод обнаружения аномальных сигналов литосферного происхождения апробирован по данным магнитотеллурических наблюдений на обсерватории Верхняя Паратунка на Камчатке.

3.16 Сейсмические измерения с помощью лазерных интерферометров-деформографов

Дубров М.Н.¹, Александров Д.В.¹, Ларионов И.А.²

¹ *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*

² *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Изучение колебаний земной поверхности, вызываемых землетрясениями, извержениями вулканов и мощными динамическими процессами в атмосфере Земли и Мировом океане, является важным разделом экспериментальной сейсмологии и физики генезиса землетрясений. Данные, получаемые с помощью измерителей деформаций - лазерных деформографов, служат существенным дополнением к геофизической информации, основным источником которой являются различного рода акселерометры, сейсмометры, геофоны. Результаты проводимых нами на протяжении многих десятилетий работ по созданию и применению протяженных лазерных интерферометров-деформографов для сейсмических наблюдений представлены в настоящем докладе. В исследованиях используются две базовые конструкции инструментов: 1) деформографы, построенные по схемам классического равноплечего или модернизированного неравноплечего интерферометра Майкельсона; 2) деформографы на основе лазерного интерферометра с

оптической обратной связью. Приводится описание схем установки приборов, входящих в состав системы лазерных интерферометров-деформографов с пространственным разнесением от 400 м до 6.7 тыс. км. Регистрируются деформации земной поверхности, вызванные сейсмическими и акустическими ее колебаниями с целью выделения слабых геофизических сигналов на фоне случайных помех. Применение частотно-стабилизированных и термоуправляемых лазеров, а также систем измерения сдвигов интерферограммы компенсационного и модуляционного типов обеспечивают абсолютное инструментальное разрешение 0.1...0.01 нм на измерительных базисах 3-300 м, защищенных воздухом наполненной трубой при их наземном или подземном размещении в термостабильных условиях. Анализируются погрешности измерения деформаций вследствие нестабильности оптической длины измерительного плеча интерферометра и флуктуаций частоты лазера. Основные характеристики деформографов подтверждаются результатами регистрации реальных геофизических процессов. Минимальная амплитуда измеряемых относительных деформаций находится на уровне $\epsilon=10(-11)-10(-12)$ и ограничивается фоном локальных микросейсмических шумов. Демонстрируются результаты наблюдения аномальных сейсмических процессов, предшествующих и сопровождающих сильнейшие землетрясения прошлых лет, в том числе двух последних разрушительных землетрясений: 06.02.2023 Mw 7.8, Турция и 28.03.2025 Mw 7.7, Мьянма. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН №075-00395-25-00 и ИКИР ДВО РАН №124012300245-2.

3.17 Использование цифровых методов связи для краткосрочного прогноза землетрясений

*Короченцев В.И., Шевкун С.А., Стаценко Л.Г., Губко М.А.,
Гриценко В.В.*

Дальневосточный Федеральный Университет

В данной работе предлагается расширить набор предвестников землетрясения за счет выявления флуктуации во времени зондирующего сигнала, в качестве которого используются электромагнитные волны. Зондированию подвергают непосредственно

земной массив, предпочтительно в сейсмоопасных районах, при этом излучатель зондирующего сигнала располагают под поверхностью Земли. За счет этого снижается число внешних факторов, искажающих характер информационного сигнала. Сигнал с приемных антенн может быть передан через спутниковый ретранслятор в центр обработки данных. Проведено математическое моделирование для выделения признаков, сопровождающих процессы зарождения упругих деформаций, и соответствующего им изменения магнитных и электрических постоянных. Для прогноза можно использовать как временной так и пространственный характер изменения признаков. Данный способ можно использовать для прогнозов землетрясения при высокой оперативности получения результатов. Исследование выполнено при поддержке гранта FZNS-2023-0008.

3.18 Статистический анализ ионосферных возмущений, предшествующих наступлению землетрясений в Камчатском регионе

Павлов А.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Возмущения, регистрируемые в разных областях ионосферы за несколько часов или суток до наступления сравнительно сильных землетрясений, могут рассматриваться как возможные ионосферные предвестники этих землетрясений. С целью идентификации сейсмоионосферных возмущений, предшествующих наступлению землетрясений в Камчатском регионе, в работе использованы результаты измерений, проведённые на ионосферной станции вертикального радиозондирования, расположенной в с. Паратунка (52.97° с.ш., 158.24° в.д.) за период 2016-2021 гг. В качестве возможных ионосферных предвестников землетрясений рассматривалось появление в условиях низкой геомагнитной активности статистически значимых отклонений от фонового уровня предельной частоты отражения $foEs$, частоты экранирования $fbEs$ и действующей высоты $h'Es$ спорадического

слоя E_s , критической частоты $foF2$ и высоты $hmF2$ максимальной электронной концентрации слоя $F2$, а также высыпание заряженных частиц из радиационных поясов в ионосферу, формирование диффузионного спорадического слоя E_s , формирование спорадического слоя E_s типа r , разветвленный или прерывистый след на ионограммах вблизи критической частоты $foF2$. Для оценки прогностической эффективности комплекса ионосферных возмущений использовались методики А.А.Гусева, Г.М. Молчана, критерий Хансена-Койпера, а также вычислялась достоверность и надежность предвестника. Оценки прогностической эффективности проводились для землетрясений с магнитудами $M \geq 5.0$, $M \geq 5.5$, $M \geq 6.0$, произошедших на глубинах до 100 км и эпицентральных расстояниях до 500 км от места расположения ионосферной станции. Получены эмпирические зависимости, связывающие эпицентральные расстояния землетрясения и время упреждения комплекса ионосферных возмущений момента наступления землетрясений с их магнитудой.

Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

3.19 Статистика сейсмоионосферных эффектов в F-области ионосферы в ночное и дневное время по данным станции вертикального ионосферного зондирования Токио

Липеровская Е.В.¹, Родкин М.В.^{1,2,3}

¹ *Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН*

² *Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН*

³ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН*

При исследовании литосферно-ионосферных связей за сейсмоионосферные эффекты, как правило, принимают возникновение областей повышенных или пониженных значений плотности ионизации, наблюдаемых во временной и пространственной окрестности землетрясений. По литературным данным, время проявления сейсмоионосферных эффектов обычно составляет до 5 суток до землетрясений и несколько дней после, эффекты в

F-области наблюдались для землетрясений M6+. Предположение, что сейсмоионосферные эффекты лучше выявляются в ночное время, высказывалось неоднократно. В большинстве случаев эти выводы делались на основе анализа отдельных событий. Задача работы - сравнить амплитуду сейсмоионосферных эффектов в F-области в дневное и ночное время и оценить их статистическую достоверность. По данным японской станции вертикального зондирования ионосферы Токио (Kokubunji) за 1957-2020 годы рассмотрены часовые вариации критической частоты foF2 в связи с землетрясениями с M6+, H<70 км, R<2000 км. Частота foF2 зависит от 11-летнего и 27-дневного солнечных циклов, от времени суток и от сезона. С целью минимизации вклада сильных длиннопериодных вариаций при поиске предполагаемых сейсмоионосферных аномалий величин foF2 для каждого часа рассматривались df -отклонения foF2 от скользящей медианы, нормированные на эту же медиану. Магнитовозмущенные дни исключались. Возможность неоднократного учета одних и тех же интервалов времени также исключалась, для чего была проведена сортировка по магнитуде землетрясений, начиная с сильнейшего. Анализ проводился в порядке убывания магнитуд землетрясений. Интервал наблюдения, отвечающий окрестности сильного землетрясения, исключается из дальнейшего анализа. Далее проводилось наложение эпох с использованием только ночных и/или дневных часов. Ночной интервал был выбран с 19 до 04 LT, дневной – с 10 до 16 LT. Осредненный сейсмоионосферный эффект выражается в увеличении df за 1-4 сут до землетрясений и в уменьшении в течение 1-3 сут после. С целью исключить 27-дневные вариации было предложено использовать разность ночных и дневных вариаций. При использовании дневных интервалов такой эффект наблюдается на расстоянии до 1500 км от эпицентров, при использовании ночных данных - на расстоянии до 2000 км. Методом моделирования случайного процесса была проведена статистическая оценка достоверности наблюдаемого эффекта. Было получено, что в случае анализа дневных, ночных часов и разности ночных и дневных часов неслучайность осредненного эффекта более 0.95.

3.20 Модернизация деформографа-интерферометра в пункте «Карымшина»: описание и результаты измерений

Ларионов И.А.¹, Дубров М.Н.², Васькин В.А.¹

¹ *Институт космифизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН*

² *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН*

В работе приведено описание модернизации системы регистрации лазерного деформографа-интерферометра, установленного в экспедиционном пункте «Карымшина» ИКИР ДВО РАН. Прибор используется для исследований деформационного процесса в приповерхностных осадочных породах, которые проводятся в сейсмоактивном регионе на полуострове Камчатка. Излагаются результаты измерений деформаций в течении зимне-весеннего периода 2025 г., показано влияние метеорологических факторов на проводимые измерения, приведены примеры регистрации некоторых сейсмических событий.

3.21 Вариации потока тепловых нейтронов 20-21.11.2024 г.

*Балабин Ю.В.¹, Тертышников А.В.², Сыроешкин А.В.³,
Обельченко Д.С.⁴*

¹ *Полярный геофизический институт РАН*

² *Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.
Федорова*

³ *Российский университет дружбы народов имени Патриса
Лумумбы*

⁴ *Воронежский государственный университет*

В вариациях интенсивности потока низкоэнергичных (тепловых) нейтронов в Анапе выявлен предвестник слабого землетрясения Западного Кавказа и эффект от техногенного землетрясения 21.11.2024 г., подтверждающий поток тепловых нейтронов “снизу”

из-за деформаций вещества земной коры. Учтены возмущения космической погоды. Отмечены аномальные изменения потоков высокоэнергичных нейтронов, регистрируемых нейтронными мониторами на финской станции Оулу и в Апатитах после техногенного события. Разработана методика обработки данных измерений и экспресс-анализа аномалий на основе четвертого момента распределения временных рядов в скользящем временном окне и метода “Контрольных карт”. Обсуждаются признаки предвестников в вариациях потока тепловых нейтронов, которые могут быть обусловлены прохождением волны деформаций в земной коре. Приведены примеры регистрации аналогичных техногенных событий. Для техногенных сейсмических событий датчик тепловых нейтронов в Анапе позволяет решать задачи сейсмографа.

3.22 Вариации вертикальной составляющей электротеллурического поля и сейсмическая активность южной части Сахалина в 2024-2025 годах

*Стовбун Н.С.¹, Богомолов Л.М.¹, Закупин А.С.¹,
Дудченко И.П.¹, Гуляков С.А.¹, Костылев Д.В.²*

¹ *Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН,*

² *Единая геофизическая служба РАН, Сахалинский филиал*

С января 2024 года на территории Института морской геологии и геофизики функционирует стационарный пункт мониторинга вертикальной составляющей электротеллурического поля (ВЭТП). Вертикальная компонента ЭТП измеряется по разности потенциалов между металлическими пластинами, расположенными в грунте одна над другой, на глубине около 2 м. Было установлено две системы пластин, расстояние между которыми составляет 10 м. В качестве АЦП используется 8-канальный модуль аналогового ввода модели «ADAM-4017». Регистрация ведется непрерывно с частотой 10 Гц. Основная цель данного исследования - анализ вариаций ВЭТП в зависимости от изменения сейсмичности юга Сахалина. Мониторинг ВЭТП на юге Сахалина представляет особый интерес благодаря наличию коровых землетрясений, эпицентры которых часто располагаются вблизи населённых пунктов.

Измерения, проводимые на расстоянии 10–50 км от эпицентров, способствуют изучению геофизических процессов в регионе с выраженной сейсмической активностью. В процессе анализа измерений на всех каналах были обнаружены четыре «бухтообразные» аномалии различной длительности и формы. Аномалии ярко выражены на фоне среднего значения потенциала, при этом максимальная длительность составляет 102 дня, а минимальная — 17 дней. В ходе анализа каталога землетрясений юга Сахалина ($M > 3$) было установлено, что два ближайших к измерительному пункту землетрясения по времени совпадают с окончанием первых двух аномалий. Третья аномалия завершилась за 2 суток до глубоководного землетрясения (глубина очага 453 км) с $M = 6.1$. При этом анализ всех землетрясений каталога показал, что из 30 событий, произошедших с января по ноябрь 2024 года, 24 совпадают с периодами обнаруженных аномалий. Этот результат оказался значимым, и в конце 2024 года был установлен дополнительный измерительный пункт в западной части юга Сахалина (Невельский городской округ). Методика установки и измерительная аппаратура полностью идентичны уже действующей станции. При этом западная часть юга Сахалина характеризуется более высокой сейсмической активностью по сравнению с центральной частью. Анализ изменений ВЭТП на двух станциях юга Сахалина позволит более точно выявить появление подобных аномалий в зависимости от уровня сейсмичности и оценить их потенциал как предвестников сейсмических событий.

3.23 Вариации параметров электромагнитного поля для сильных и слабых землетрясений Северного Тянь-Шаня

Баталева Е.А., Непеина К.С.

Научная станция РАН в г. Бишкеке

На территории Северо-Тянь-Шаньского сейсмоактивного региона уже более 20 лет проводятся исследования вариаций компонент естественного электромагнитного поля в диапазоне частот 10-2 Гц - 40 кГц. В настоящей работе нами рассмотрены сейсмические события 2024 г. (Китай, 22.01.2024 г., $M_{\text{рв}} 6,9$ и Кыргызстан

04.03.2024 г. 06:22:04 UTC, Мрв 5,4) и 2025 г. (Таджикистан, 13.04.2025 04:24:01 UTC, Мрв 5,9 и Казахстан 28.03.25 г., 10:52:43 UTC, Мрв 5,1). Наблюдения выполнены в двух пунктах магнитотеллурического мониторинга, расположенных в Чуйской впадине (Аксу 42.60911 с.ш., 74.00833 в.д.; Чон-Курчак 42.62828 с.ш., 74.60671 в.д., Северный Тянь-Шань) на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП). Особое внимание уделяется результатам, полученным на стационарном мониторинговом пункте Аксу, где установлена магнитотеллурическая станция Phoenix MTU 5 и сейсмостанция, то есть имеется возможность оценить время прихода сигнала на оба прибора. За период наблюдений обнаружен ряд аномалий компонент электромагнитного поля, отождествляемых с проявлениями отклика от землетрясений с Мрв более или равной 5. Детальный анализ данных сейсмического и магнитотеллурического мониторинга позволил установить связь произошедших землетрясений с вариациями компонент регистрируемого электромагнитного поля, глубиной залегания очага, энергии и координат эпицентра сейсмического события. Учитывая отличие физических механизмов подготовки землетрясений на разной глубине земной коры и верхней мантии, можно объяснить различие отклика геологической среды на процессы их подготовки. Наблюдаемые вариации могут быть обусловлены механоэлектрическими процессами, возникающими на экстремальной стадии подготовки очага землетрясения и в ходе реализации сейсмического события. Перед сильными сейсмическими событиями наблюдаются деформации горных пород, резкое изменение флюидного режима и многое другое, что приводит к изменению физических параметров геологической среды, например, электропроводности и изменению в системах тока, что, в свою очередь, приводит к аномальному поведению регистрируемых сигналов. Результаты исследований, в комплексе с другими данными мониторинговых наблюдений, полученными на территории БГП, при объединении их с технологией искусственного интеллекта и машинного обучения могут найти применение при разработке методов контроля за сейсмической активностью в потенциально опасных регионах. Работа выполнена в рамках государственного задания НС РАН № 10210552806445-4-1.5.1.

1 Atmosphere physics

1.1 A comprehensive precision study of high-resolution spectra of deuterated methane in the region of 4.1-5.5 μm

Gromova O.V., Ulenikov O.N., Bekhtereva E.S.

Tomsk Polytechnic University

As a part of the project of study the features of solar radiation absorption by methane in the Earth's atmosphere, high-precision comprehensive study of the vibrational-rotational structure of the deuterated methane molecule (precision line positions and absolute strengths of vibrational-rotational lines) were performed in the range of 4.1-5.5 μm , where nine interacting vibrational-rotational bands of this molecule are located. As a result of both experimental and theoretical research, information was obtained (absorption line positions, absolute line strengths, parameters of the model of the methane molecule) which is several times higher both in an amount and an accuracy in comparison with the data available in the literature.

The work was supported by the Tomsk Polytechnic University in the frame of the PRIORITY- 2030 project.

1.2 Analysis of the spectrum of nitrogen oxide isotopologues in the region 1.86 μm

Borkov Yu.G., Sulakshina O.N., Sinitsa L.N.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS

Nitrogen oxide, being a chemically active molecule, plays an important role in atmospheric chemistry, in the mechanisms of ozone generation and destruction. The NO molecule participates in combustion processes, it is also present in the emission spectrum of night planetary atmospheres and interstellar space. Of current interest is also the infrared emission of nitric oxide in the middle atmosphere during high-energy proton fallout. In turn, the study of the spectra of highly excited states of this molecule and its isotopologues provides information about the dynamic processes occurring at the intra- and intermolecular levels.

To study the spectrum of nitrogen oxide isotopologues, a mixture from the IZOTOP company was chosen, represented by two isotopologues: 80% $^{15}\text{N}^{18}\text{O}$ and 20% $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$. As a result of isotopic exchange in such a mixture, all six isotopologues of nitric oxide were formed. The absorption spectrum of nitric oxide was recorded in the range of 4000 - 7000 cm^{-1} using a Bruker IFS-125M Fourier spectrometer with a spectral resolution of 0.0056 cm^{-1} . The recorded spectrum was analyzed in the region of 5200 – 5500 cm^{-1} , where vibrational-rotational lines of the 3-0 band of the main transitions between the $^2\Pi_{1/2}$ and $^2\Pi_{3/2}$ electronic states of six nitric oxide isotopologues were first detected. As a result of the analysis, 625 vibrational-rotational lines were found, representing Λ -doublets in the 3-0 band of the main transitions between the electronic states $^2\Pi_{1/2}$ and $^2\Pi_{3/2}$ with the maximum value of the rotational quantum number $J=31.5$. For the first time, the parameters of the Λ -splitting in this band were determined, as well as the positions and relative intensities of both the resolved components of the Λ -doublet and the unresolved doublets. A weighted processing of the frequencies of the registered transitions was carried out and spectroscopic parameters for the vibrational states $v=0.3$ were determined. With the constants found, calculations of the transition frequencies in the 3-0 vibrational band up to $J=35.5$ were performed. A comparison of the calculated transition frequencies with those given in the HITRAN database and the Exomol project was carried out.

1.3 Atmospheric responses to solar and geomagnetic forcing in 2024

Mironova I., Bobrov N., Doronin G., Mironov A.

Saint Petersburg State University

In 2024, a series of solar eruptive events occurred that resulted in powerful geomagnetic disturbances. An extreme geomagnetic storm was recorded on May 10–11, 2024 and became the most powerful geomagnetic event according to the Dst index over the last two solar activity cycles since the geomagnetic storms in 2003. Several more powerful geoeffective solar events resulted in geomagnetic storms in March, June, and October. All events were accompanied by

precipitation of high-energy electrons and protons, which in turn could not but affect variations in the composition of the upper and middle atmosphere.

The paper presents the latitude-longitude distribution of precipitation of energetic particles with energies greater than 40 keV, the estimates of which are important for studying the reaction of the inner ionosphere, upper and middle atmosphere during geomagnetic disturbances. The paper presents analyzed fluxes of protons and energetic electrons obtained from the POES satellites (METOP01, METOP03, NOAA15, NOAA18 and NOAA19) during events associated with solar eruptive and geomagnetic events in 2024.

Here we also evaluate the vulnerability of the ozone layer to space weather processes. Seasonal and latitudinal effects of ozone depletion associated with strong geomagnetic storms and geoeffective solar events are considered separately. We show results of enhancements of mesospheric volume mixing ratios of HO_2 and nitric acid HNO_3 as well as ozone depletion during energetic particle precipitation. We utilize mesospheric observations of HO_2 , HNO_3 and ozone from the Microwave Limb Sounder (MLS/Aura). Analysis of observations made with the MLS/Aura show the highest volume mixing ratios of HO_2 and HNO_3 and also deepest ozone destruction are observed at the north polar vortex right after the maximum flux of energetic particles participation.

Acknowledgements

The study of proton precipitation was conducted within the framework of the grant of St. Petersburg State University, project code 124032000025-1. The study of the effects of particle precipitation in the Earth's atmosphere was conducted within the framework of the agreement between St. Petersburg State University and the Scientific Research Institute of Nuclear Physics of Moscow State University under the grant of the Russian Science Foundation No. 22-62-00048.

1.4 Determination of fair weather for atmospheric electricity measurements

Smirnov S.E.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Measurements of atmospheric electricity are very sensitive to weather conditions. Fair weather for atmospheric electricity was determined by the method of an observer expert assessment. With the transition to automatic digital methods of meteorological parameter measurements, the necessity of determination of the criteria for fair weather appeared. In this paper we develop the fair weather criteria based on digital measurements in summer and winter periods of observations according to the limited set of meteorological instruments. A data base of fair weather since 2009 up to the present time was formed. The algorithm for determination of fog during a day based on air humidity measurements was suggested. Morning convective generator effect appear sometimes in the diurnal variation of atmospheric electricity. The time of morning convection maximum is determined by the sunrise time. This entails the problems of electric field diurnal variation averaging over a long period of time. It was suggested to take into account the days with morning convective generator effect separately from the days without this effect during long data series processing. The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

1.5 Energy spectra during the increase of background gamma radiation in the Arctic and at mid-latitudes

Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B.

Polar Geophysical Institute

In Apatity and in the Rostov region, measurements of the differential energy spectrum of electromagnetic radiation in the range of 0.1-4 MeV were carried out. This radiation is formed in the atmosphere as a secondary radiation flux from the interaction of

cosmic rays with the atmosphere. The spectrometers are assembled on scintillation crystals NaI(Tl) with diameter 75x75 mm in size. The spectrometers are calibrated using the lines of cesium-137, sodium-22 and cobalt-60, the resolution on the line of 660 keV (cesium-137) is 5.1%. In Apatity, the spectrometer operates in the spectrum monitoring mode all year round, and in the summer of 2023, the background gamma radiation spectrum was monitored for three months in mid-latitudes (Tatsinskaya station, Rostov region). More than five dozen increases with an amplitude of more than 10% were recorded in Apatity. In Tatsinskaya, more than a dozen gamma radiation increases during precipitation were recorded during the summer season, similar to the increases observed in Apatity. Of specific interest is the possibility of measuring spectra during thunderstorms, which are usual in the southern regions of Russia. Analysis of the spectra measured in Apatity and Tatsinskaya showed that the spectra during increases are very close, although the observation points differ in geophysical and climatic conditions. Changes in the spectra during increases are continuous, the influence of radionuclide lines is insignificant: the energy brought by quanta emitted by radionuclides is about 10% of the total energy of the quanta that made up the increase. In both points, the upper energy limit for the radiation associated with the increase is determined. It is equal to 2.5 MeV for Apatity and Tatsinskaya. A feature of the Rostov region climate is “dry” thunderstorms: high thunderstorm activity in the absence of any precipitation. It was found that “dry” thunderstorms do not cause an increase in gamma radiation and do not manifest themselves in the spectra. At the same time, even small precipitations (about 1-2 mm, when dry soil is only slightly moistened by rain) without any thunderstorm activity caused an increase and corresponding changes in the spectrum. Therefore, we can confidently conclude: strong electric fields between clouds do not affect the gamma radiation flux generated in the atmosphere from cosmic rays and reaching the earth’s surface.

1.6 Extreme Magnetic Storm of May 10–19, 2024: Coupling between Neutral and Charged Components of the Upper Atmosphere and the Effect on Radio Systems

*Yasyukevich Y.V., Vasiliev R.V., Rubtsov A.V., Egorov Ya.I.,
ISTP SB RAS Collaboration*

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS

Active exploration of space for communication, navigation, and Earth remote sensing in recent decades has drawn increased attention to the study of the Sun's impact on the Earth and requires creating effective models for space weather forecast. Magnetic storms that produce disturbances in the ionosphere and atmosphere are the strongest manifestation of space weather. Among such events is the magnetic storm that started on May 10, 2024, during which the auroral oval reached 19° N. Over the past 20 years since the last magnetic storm of similar intensity was observed, new scientific facilities have been put into operation as part of the National Heliogeophysical Complex of the Russian Academy of Sciences. A huge decrease in the electron density (by a factor of five relative to the background level) and record breaking airglow of the upper atmosphere (the atomic oxygen red line airglow exceeded 25 kR) compared to the strongest storms in solar cycle 23 were recorded. The combined optical and radiophysical measurements in Eastern Siberia, supported by data from global networks, demonstrated the correlation between the temperature increase in the upper atmosphere and a strong decrease in the ionospheric electron density at mid-latitudes due to increased recombination during the storm. Combined measurements from ionosonde and high-frequency radar networks have shown a significant deterioration in the conditions of radio wave propagation. The complementarity of the currently deployed scientific instruments opens up new opportunities for monitoring the state of the near-Earth space, as well as for studying and modeling dynamic processes during such extreme phenomena with unprecedented detail.

The work was supported by the Russian Science Foundation No. 23-17-00157.

1.7 Features of the global propagation of geomagnetic pulsations Pc1s

*Parkhomov V.A.¹, Mishin V.V.², Marchuk R.A.², Dovbnja B.V.³,
Baishev D.G.⁴, Khomutov S.Y.⁵, Eselevich V.G.², Shiokawa K.⁶*

¹ *Baikal State University*

² *Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS*

³ *Schmidt Institute of Physics of The Earth RAS*

⁴ *Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS*

⁵ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

⁶ *Nagoya University, Japan*

The article presents the results of studies of latitude-longitude patterns of geomagnetic pulsations Pc1s based on the data of induction magnetometers at two international testing sites CARISMA (<https://www.carisma.ca/>) and IUGONET (<https://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/magne/>).

The pulsations of the studied type were first discovered and described in [Fukunishi et al. 1981; Dovbnja and Zotov, 1985]. The dynamic spectrum of Pc1s is a series of successive signals, frequency (0.1 - 1 Hz). The quasi-period of their repetition (5-12 minutes) does not depend on the latitude of the observation point. The oscillations are typical for periods of moderate magnetic activity and are observed with a higher probability at $K_p = 1-2$. According to the authors, there were no cases of simultaneous occurrence of signals at stations separated by latitude. Later, Kim et al., [2015] observed such oscillations for ~ 20 hours at the CARISMA test site in the latitude range of $L \sim 4 - 6$, but in a narrow longitudinal sector ($\sim 20^\circ$). We observed Pc1s pulsations at two test sites in the longitude range of $\sim 180^\circ$ and latitude of $\sim 25^\circ$. The arrival of the diamagnetic structure of the solar wind (DS SW) caused a substorm, during which several broadband trains of PiB pulsations were observed, and after its end, Pc1s trains were observed for 16 hours. Main results:

1. Pc1s were observed after a moderate substorm (SML ~ -500 nT) globally in longitude from Istok station to PINA station and in the range of geomagnetic latitudes of $40^\circ \div 64^\circ$.

2. The maximum amplitude in latitude corresponds to the statistical projection of the plasmopause ($L \sim 4 - 6$ Re).

3. The detected longitudinal delay in the registration of pulsations can be associated with the azimuthal drift of ions causing the generation of pulsations.

4. Two possible sources of ions are discussed - the penetration of alpha particles from the SW DS, as well as oxygen ions from the ionosphere during the substorm.

1.8 Forecasting $F_{10.7}$ index using the Variational Mode Decomposition Algorithm and the Deep-Learning Time-series Dense Encoder model

Egorov Ya.I.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS

Accurate prediction of upper-atmosphere conditions is critical to improving the efficiency of satellite operations and mitigating risks associated with large debris re-entries. Atmospheric drag, which significantly affects spacecraft trajectories, is highly dependent on solar activity. One of the most important index of solar activity is the $F_{10.7}$ index. This study presents a novel deep learning model developed to predict this index. The proposed model combines a variational mode decomposition (VMD) algorithm with a Time-series Dense Encoder (TiDE) neural network. A comparative analysis with existing models shows that the proposed approach achieves a twofold improvement in the forecasting accuracy of the $F_{10.7}$ index. A daily online forecasting service has been implemented with 7- and 27-day predicting horizons.

The work was supported by the Russian Science Foundation No. 23-17-00157.

1.9 Geomagnetically Induced Currents (GICs) during space weather events in May and October 2024

*Despirak I.V.¹, Setsko P.V.¹, Lubchich A.A.¹, Sakharov Ya.A.¹,
Selivanov V.N.²*

¹ *Polar Geophysical Institute*

² *Northern Energetic Research Centre, Kola Science Center RAS*

The occurrence of GIC in electrical circuits in the northwest of Russia during two strong storms of the space age on 10-12 May and 7-12 October 2024 was studied. The analysis was carried for long periods- from 10 to 12 May and from 07 to 12 October and based on GIC direct measurements at 3 stations (Vykhodnoy, Loukhi and Kondopoga) located at auroral zone latitudes from 62° to 69° GLAT°. It was confirmed that GIC sources are distributed over MLT sectors: sources of an intense GICs (15–30A) in the evening and night sectors were substorms and supersubstorm, while sources of GICs (15–30A) in the morning sector were Pc5/Pi3 geomagnetic pulsations. Besides, there were several strongest GIC peaks of 50-62 A. These peaks were caused by the superposition of these sources and local magnetic disturbances caused by a large jump in the solar wind dynamic pressure and the turning IMF BZ component from negative to positive values. The feature of May storm was the presence of two supersubstorms (SSS) in night and day sectors. GICs in the day sector were linked to intensifications of the eastward electrojet during the development of the second SSS.

1.10 Global Navigation Satellite Systems to study the Earth's ionosphere

*Yasyukevich Y V.¹, Astafyeva E.², Egorov Ya. I.¹, Kiselev A.V.¹,
Lebedev V. P.¹, Maletckii B.M.², Padokhin A.M.¹, Salimov B.G.¹,
Vesnina A.M.¹*

¹ *Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS*

² *Université Paris Cité, Institut de Physique du Globe de Paris,
CNRS UMR, Paris, France*

The Global navigation satellite systems (GNSS) provide vast data sets to study the Earth's ionosphere and various aspects of space weather impact. The talk will briefly review GNSS-based experimental studies of the ionospheric effects from solar flares, solar terminator, solar eclipses, magnetic storms, etc. Recent events such as the ionospheric effects of the 2023 Turkey earthquake, or the 18 November 2023 Starship explosion are discussed in details. Such researches are based on total electron content variations. Our team developed a free-to-use system to treat GNSS data – SIMuRG (<https://simurg.iszf.irk.ru>). The system could be useful for studying the ionospheric space weather. We have also developed a tool to forecast the TEC and forecast indices to drive ionospheric models.

The work was supported by the Russian Science Foundation No. 23-17-00157.

1.11 Hardware and software complex based on special-purpose surface facilities and a small spacecraft designed to investigate the ionosphere and geomagnetic field processes within the territory of Belarus

*Aronov G.A.¹, Kotov D.S.², Naumov A.O.³, Kadymau A.A.¹,
Laziuk V.M.¹*

¹ *Center of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus*

² *Unitary Enterprise “Geoinformation Systems” of the National Academy of Sciences of Belarus*

³ *Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus*

An active shift of the magnetic north pole from the Canadian Arctic side towards Russia observed in the Northern hemisphere over the past decades, as well the currently occurring peak of the 11-th solar activity cycle are responsible for the fact that the polar lights appear much more often in the territory of Belarus. The processes taking place in the ionosphere and geomagnetic field can have a significant impact on radio communication, radiolocation, radio navigation, aviation security, energy infrastructure, etc. A hardware-software complex based on special-purpose surface facilities and a small spacecraft was designed to investigate the processes occurring in the ionosphere and geomagnetic field within the territory of Belarus. This complex makes it possible to evaluate the “space weather” impact on various aspects of the technological infrastructure. The creation of this complex is currently highly relevant in the context of the implementation of high-tech productions in our country, as well as the development of the space industry and the Belarusian space system of Earth remote sensing.

1.12 Impact of total water vapor content variations on the radiative forcing of carbon dioxide and methane in the atmosphere

Chesnokova T.Yu.¹, Firsov K.M.², Razmolov A.A.²

¹ *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS*

² *Volgograd State University*

The shortwave (solar) and longwave fluxes of the Earth's surface and atmosphere determine the radiation balance and regulate atmospheric circulation. Water vapor plays a key role in the greenhouse effect and affects both the microclimate of a region and the global climate. However, according to the international IPCC climate reports, the increase in atmospheric carbon dioxide and methane is now considered as the main factor in the global warming, while the contribution of water vapor to the observed increase in the temperature of the Earth's surface and atmosphere over the past century is manifested through its feedbacks.

Instantaneous radiative forcing of carbon dioxide and methane (the difference in IR radiation fluxes at different CO_2 and CH_4 contents in the Earth's atmosphere) is a way to estimate the impact of increasing greenhouse gas concentrations on the heating of the atmosphere and the Earth's surface. In our work, based on mass calculations, we estimated the effect of the total water vapor content variation in the atmosphere on the IR radiation fluxes and radiative forcing of carbon dioxide and methane due to the increase in the concentration of CO_2 and CH_4 over the past 50 years for mid-latitude conditions (Lower Volga and Western Siberia). The vertical profiles of temperature and humidity were taken according to the data of aerological and satellite sounding of the atmosphere. Statistical methods were used to study the effect of the overlap of the absorption bands of H_2O with the bands of CO_2 and CH_4 on the results of calculating the radiative forcing of these gases in the atmosphere at different water vapor contents.

It was shown that the radiative forcing of CO_2 at the Earth's surface sharply decreases with an increase in the total content of H_2O in the atmosphere, which leads to less heating of the Earth's surface. It was found that the radiative forcing of CO_2 in the troposphere increases in absolute value with increasing water vapor content, while the radiative forcing of CH_4 in the troposphere does not depend on the value of the total water vapor content in the vertical column of the atmosphere.

The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, SB RAS).

1.13 Linear extrapolation method for dynamic spectra of whistlers recorded in Kamchatka to calculate nose frequency

Marchenko L.S., Parovik R.I.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Electromagnetic waves of VLF range that propagate along the Earth's magnetic field lines are called whistlers. It is known that using whistlers, it is possible to calculate the electron concentration of the plasmasphere by knowing the nose frequency and absolute group delay time (limiting variance). However, such calculations are complicated by the fact that at mid latitudes, whistlers are usually recorded within the frequency range below the nose frequency, which is typical for Kamchatka. Moreover to determine the delay time, it is necessary to know initiating atmospherics (lightning discharge), and it is practically impossible to do on a spectrogram. Therefore, methods based on the extrapolation of a whistler trace from the available part of a spectrum are typically used.

The paper proposes a method of linear extrapolation of whistler spectra recorded in Kamchatka. The essence of the method lies in forming a certain linear functional: $Q_i(f) = (t_i\sqrt{f_i})^{-1}$, where times t_i and the corresponding frequencies f_i are taken from the whistler trace. Then the straight line $Q(f)$ is extrapolated until it intersects with the frequency axis ($Q = 0$), yielding the value f_0 , that is linearly related to the nose frequency f_n according to the ratio: $f_0 = \alpha f_n$, $\alpha = 3.09 \pm 0.04$. Furthermore, extrapolation of the straight line $Q(f)$ until it intersects the ordinate axis ($f = 0$) gives the extreme dispersion D_0 , which can be obtained from the ratio $Q_0 = 1/D_0$. Knowing the parameters f_n and D_0 , one can calculate the characteristic of the electron density using Park's methodology within the framework of diffusion equilibrium model.

Next, in this paper, the nose frequency f_n and limiting variance D_0 were calculated for the whistlers recorded in Kamchatka, based on which electron concentration in the plasmasphere was estimated.

The work was carried out at the expense of the State assignment of IKIR FEB RAS (reg. topic No. 124012300245-2).

The experimental data used in this work were obtained from the Shared Use Center “North-East Heliogeophysical Center” (SWHC CUC) CKP_558279.

1.14 Mathematical modeling of electric field dynamics inside a fractal cloud environment

Kumykov T.S.¹, Parovik R.I.²

¹ *Institute of Applied Mathematics and Automation of the Kabardino-Balkarian Scientific Center RAS*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS*

One of the most important electrical parameters of thunderclouds is the electric field strength, the measurement of which is a complex task. Due to the high cost of natural experiments that provide an idea of the electric fields of cumulonimbus clouds, researchers have to resort to developing mathematical models that can replace natural observations, and in recent years, due to the rapid development of computer technology, numerical modeling is becoming increasingly widespread. Therefore, the development of models that allow the study of the electrical state of thunderstorm activity of convective clouds is very relevant.

The results of studies of electrophysical processes occurring in thunderclouds are reflected both in classical works of the last century and in the works of modern geophysicists, in which clouds are considered without taking into account the fractality of the cloud environment.

Geophysicists began to talk about the fractal shape of clouds after the publication of B. Mandelbrot’s work, although the description of the dynamics of the cloud fractal environment itself remains a problem. Currently, in the field of atmospheric physics, mathematical models are being created using one of the modern scientific concepts called fractal

(fractional) dynamics. In this paper, considering a convective cloud as a fractal medium, we consider a thunderstorm model of cumulonimbus clouds, which takes into account the influence of the time-varying fractality parameter of the medium on the dynamics of the electric field strength $E(t)$, starting from a certain initial strength, which is described by a fractional differential equation:

$$\frac{1}{\theta^{2-\alpha(t)}} \partial_{0t}^{\alpha(t)} E(t) + \frac{B_1}{\theta^{1-\beta(t)}} \partial_{0t}^{\beta(t)} E(t) + B_2 E(t) = 0 \quad (1)$$

where

$$\begin{aligned} B_1 &= 2\pi\lambda_{\text{ef}} + \frac{\omega r_k}{r_g} - \frac{16}{3}\pi RnAr_g^2 v_g, \\ B_2 &= \frac{16}{3v_k}\pi RnAr_g v_g \omega g_k (v_g - v_k) + \\ &+ (4\pi \cdot \lambda_{\text{ef}} - 16/3\pi RnAr_g^2 v_g) \left(\frac{\omega r_k}{r_g} + \pi\lambda_{\text{ef}} \right), \end{aligned}$$

r_g – hailstone radius; r_k – radius of the drop; v_g, v_k – final velocity of fall of hailstone and drop; A – constant; ω is the droplet shedding frequency from a hailstone, λ_{ef} is the effective conductivity, $t \in [0, T]$ is the time, $T > 0$ is the simulation time, n is the hailstone concentration (const), θ is a positive constant, represents the characteristic time of the process in the fractal structure of a thundercloud, which can be associated with relaxation processes in it, Gerasimov-Caputo fractional derivatives $1 < \alpha(t) < 2$, $0 < \beta(t) < 1$:

$$\begin{aligned} \partial_{0t}^{\alpha(t)} E(t) &= \frac{1}{\Gamma(2-\alpha(t))} \int_0^t \frac{\ddot{E}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\alpha(t)-1}}, \\ \partial_{0t}^{\beta(t)} E(t) &= \frac{1}{\Gamma(1-\beta(t))} \int_0^t \frac{\dot{E}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\beta(t)}}, \end{aligned}$$

where $\Gamma(\cdot)$ – gamma function.

For the model equation (1) the following initial conditions are valid: $E(0) = E_0$, $\dot{E}(0) = 0$, and as a basis for the mechanism of charge generation, we take electrification during the collision of hailstones with drops. The developed model takes into account two key aspects: the fractal properties of the cloud medium and its characteristic parameter of the fractional structure θ . The approach is based on the apparatus

of fractional integro-differential calculus. The study confirms that the temporal fractality of cumulonimbus clouds has a direct impact on intra-cloud electrodynamic processes. In the model, this property is taken into account through: the phenomenological parameters α and β , which determine the intensity of the change in the field strength; the characteristic time θ of its evolution.

The proposed approach will allow: to supplement the modern theory of thunderstorm electricity, considering the cloud as a natural fractal object; to improve forecasting of thunderstorm activity; to improve climate models; to deepen the understanding of atmospheric electrodynamic processes.

The significance of the study lies in the creation of a theoretical basis for the analysis of the relationship between the fractal structure of clouds and their electrical characteristics.

The work was carried out within the framework of the research topic of the IPMA KBSC RAS, reg. No. 125031904215-5 (problem statement and interpretation of results) and the state assignment of IKIR FEB RAS, reg. No. 124012300245-2 (calculation algorithm, computer modeling and visualization of results).

1.15 Modeling and Analysis of Cosmic Ray Flux Variations Data Using Machine Learning Methods: Application to Space Weather Problems

Mandrikova O.V., Mandrikova B.S.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Currently, given the active development of information technologies, the possibilities of constructing models of cosmophysical parameters and methods for their study are significantly expanding. The relevance of such problems is due to both theoretical aspects, for example, the study of the global structure of the Universe, and applied areas related to the study of the impact of various space weather factors on near-Earth space. The paper describes the machine learning methods developed by the authors for analyzing data on cosmic ray (CR) flux variations, based on a combination of neural networks of

the Autoencoder and Kolmogorov-Arnold architectures with wavelet filtering. The methods allow suppressing hardware white noise, as well as natural correlated interference associated with solar activity cycles. Numerical implementation of the methods allows them to be used in real time (at the rate of data receipt by the processing system). The problem of detecting Forbush effects preceding and accompanying geomagnetic storms is solved. Data from ground-based neutron monitors of high-latitude stations [nmdb.eu] are used. The paper compares the methods from the standpoint of their effectiveness in the task of space weather forecasting. Algorithmic solutions are proposed that use combinations of the developed methods to detect and estimate the parameters of Forbush effects of different types (sudden short-period increases or decreases in the CR flux intensity, deep Forbush decreases, GLE events). The report presents the results of applying the methods for the period 2023-2025, containing geomagnetic storms of different strengths and physical nature.

The work was carried out at the expense of the State Assignment of IKIR FEB RAS (reg. topic number 124012300245-2).

1.16 Numerical forecast of thunderstorms over the metropolitan area taking into account different aerosol loads

Dementyeva S.O.^{1,2}, Blagina A.P.^{1,2}, Kulikov M.Yu.^{1,2}

¹ *Institute of Applied Physics RAS*

² *Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod*

The development of numerical weather forecast models is one of the most effective ways to provide timely warnings about hazardous meteorological phenomena and reduce the risks of their negative consequences. The advantage of numerical mesoscale modeling is that the model is not tied to a specific territory, which makes numerical models a universal research tool. However, to obtain a forecast with high accuracy, it is usually necessary to take into account the local features of the considered territories. For territories with significant anthropogenic emissions, one of such factors is the aerosol load. The paper presents a numerical modeling of convective events in the Nizhny Novgorod region, taking into account different aerosol loads in order to improve

the quality of thunderstorm forecast. The center of the considered region is the city of Nizhny Novgorod. This is an industrial metropolis located in the central part of the East European Plain, at the confluence of the Oka and Volga rivers. The mesoscale weather forecast model WRF-ARW is used as a basic numerical modeling tool. To determine the electrical parameters of thunderclouds, the parameterization of electrical processes is used, which includes a non-inductive mechanism of charge separation on solid hydrometeors. A series of numerical experiments to account for various levels of aerosol load was performed. For this purpose, the parameterization of microphysical processes was used, which explicitly takes into account the activation of aerosols in the form of condensation of cloud droplets or ice particles. In this parameterization, the numerical values of aerosol concentrations can be taken from the GOCART global model calculations averaged over 7 years with a resolution of 0.5 deg. in longitude and 1.25 deg. in latitude. In addition, an arbitrary initial distribution of aerosols can be specified. In particular, local features of aerosol concentration over an urban agglomeration can be added, which are not taken into account in the GOCART model due to a rather coarse spatial resolution. Thus, by varying the input distribution of aerosols, numerical experiments were conducted in the work to simulate thunderstorms taking into account different aerosol loads; various scenarios were compared and their results were verified; optimal modeling parameters were identified in the context of improving the quality of thunderstorms forecasting. The work was carried out at the expense of the state assignment of UNN No. 0729-2020-0037.

1.17 Numerical modeling of QBO and ENSO phase impact on the atmospheric waves' processes

Didenko K.A.^{1,2}, Koval A.V.^{1,3}, Ermakova T.S.^{1,3}, Fadeev A.S.¹

¹ *Saint Petersburg State University*

² *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS*

³ *Russian State Hydrometeorological University*

A series of numerical experiments to study the impact of the Quasi-Biennial Oscillation phase of the zonal wind in the equatorial stratosphere (QBO) and the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on stationary and westward travelling planetary waves (PWs) with different zonal wave numbers and periods were performed. The simulation was carried out for boreal winter conditions using the general circulation model of the middle and upper atmosphere (MUAM). The results of the studies demonstrated that the impact of tropical oscillations is capable of changing the PW amplitudes by up to 35% in the areas of their maxima. Under the El Niño conditions, regardless of the QBO phase, the amplitudes' maximum of stationary PW with wave number 1 (SPW1) shift toward high latitudes. The structure of SPW2 amplitudes is basically opposite to the structure of SPW1. Increases of the upward wave activity fluxes of 5-, 10-, 7-day PWs, as well as the amplitudes of 10- and 7-day PWs are modelled when easterly QBO phase is superimposed on the warm ENSO phase. Attenuations of the individual PW amplitudes and wave activity fluxes are typically observed under the westerly QBO conditions, as well as under La-Niña/westerly QBO conditions combination in special cases, such as SPW1. The PW study is important due to their significant influence on the circulation of the middle and upper atmosphere, including the configuration of the stratospheric polar vortex which deformation can influence the occurrence of extreme weather events in the Arctic and Asia-Pacific Region during the boreal winter.

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant No 25-47-00122).

1.18 Payload for the study of atmospheric gamma-ray flashes and transient phenomena onboard small satellite “Scorpion”

*Bogomolov V.V.^{1,2}, Belov A.A.¹, Bogomolov A.V.¹,
Voskresenskoy E.D.², Iyudin A.F.¹, Klimov P.A.¹, Kucherenko I.A.²,
Murashov A.S.¹, Svertilov S.I.^{1,2}*

¹ *M.V. Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobel'tsyn
Institute of Nuclear Physics*

² *M.V. Lomonosov Moscow State University, Physical Department*

The Scorpion small satellite in the cubesat 16U format is scheduled for launch in 2025. Its payload is a complex of scientific equipment from SINP MSU, designed primarily to study transient phenomena in the upper atmosphere. The payload includes the TGS gamma-ray spectrometer, the SONET optical and UV photometer and spectrometer, as well as a complex of cosmic radiation detectors and a biocontainer for studying the influence of space factors on microorganisms. The satellite will be launched into a circular polar orbit with a height of 500 km suitable for observations in all areas, including the areas of thunderstorm activity near the equator and high latitudes important for studying phenomena related to solar activity.

The TGS device is a scintillation gamma-ray spectrometer that performs measurements in the range from 50 keV to 10 MeV. It consists of four modules providing a sensitive area of about 250 cm². Two of modules represent position-sensitive detectors based on 64 detecting pixels with size 10 mm × 10 mm × 20 mm, viewed by SiPM semiconductor photodetectors. Other modules are based on large area CsI(Tl) crystals. The device will generate data both in the traditional monitoring format, which contains counting rates in several energy channels, and in the event by event recording format, which allows recording the flash time profile with microsecond accuracy. It is necessary for studying TGFs with a characteristic duration of 200 microseconds.

SONET scientific equipment is designed to study the spatial and temporal dynamics and spectral composition of radiation from transient atmospheric phenomena and lightning discharges. It includes the AURA-T telescope, being a highly sensitive imaging photometer, a spectrometer whose main purpose is to identify the type and height

of the flash, and a limb camera, being a pinhole camera aimed at the limb with an angular resolution of 30 mrad.

Both mentioned instruments will provide joint research of upper and the data of other devices of the Scorpion cubesat payload will be also used for the analysis. The expected daily data volume of 100 MB will allow detailed information to be transmitted to Earth with simultaneous measurements by all instruments.

1.19 Precise determination of the line positions of CO molecule in a wide spectral range from microwaves to the visible spectrum

Ulenikov O.N., Bekhtereva E.S., Gromova O.V.

Tomsk Polytechnic University

Modern problems of atmospheric physics require increasing the accuracy of measurement and calculation of the absorption of solar radiation passing through the Earth's atmosphere by various absorbing components of the atmosphere, one of the main ones being CO. As a consequence, the availability of highly accurate information on the parameters of the spectral lines of the absorbing components of the atmosphere is a very important condition for the successful solution of numerous problems of atmospheric optics and related fields of science.

Within the framework of a new unique method developed in the group of molecular spectroscopy of Tomsk Polytechnic University for determining the basic parameters of molecules from high-precision experimental data of the microwave and submillimeter ranges based on information on the positions of 30 microwave lines of $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ and $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ isotopologues, the positions of absorption lines of more than 20 vibrational-rotational bands of different isotopologues of the CO molecule were determined with a mean accuracy of 10^{-4} cm^{-1} in a wide spectral range from microwaves to the visible region of the spectrum. The report discusses both the features of the new developed method and the results of its application to determining the absorption spectrum of CO. The work was supported by the Tomsk Polytechnic University in the frame of the PRIORITY- 2030 project.

1.20 Regional lightning density parameterization based on volumes with a certain radar reflectivity

Blagina A.P.^{1,2}, Dementyeva S.O.^{1,2}, Shatalina M.V.^{1,2}

¹ *A. V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics RAS*

² *Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod*

Numerical models, such as the Weather Research and Forecasting Model (WRF), are widely used for weather forecasting. These models are used to predict dangerous convective weather events, such as thunderstorms. To do this, both the direct calculation of electrical parameters based on modeling data and the parameterization of electrical processes can be used. This paper proposes a new method of parameterization of the spatial density of lightning based on thunderstorm volumes. Thunderstorm volumes are defined as the number of model cells with radar reflectivity exceeding a certain threshold. The reflectivity is calculated from WRF data, and the threshold value is determined by considering regional features of thunderstorm development in different latitudes. We are also searching for the optimal technique for applying the threshold value to the entire model range, or to the area between isotherms within which the separation of electric charge occurs most efficiently. The developed parameterization will be verified according to the World Wide Lightning Location Network (WWLLN). The work was carried out at the expense of the state assignment of UNN No. 0729-2020-0037.

1.21 Research of Dynamic Processes under Uncertainty Using a Meteorology Problem Example

Kudrinskaya O.B.¹, Parovik R.I.²

¹ *Vitus Bering Kamchatka State University*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The research includes computer simulation of atmospheric phenomena based on atmospheric pressure indicators and using the theory of fuzzy sets.

Currently, considerable attention of scientists is focused on the development of models of dynamic processes complicated by the presence of uncertainty and lack of completeness of the initial data. The solution to this problem is the application of fuzzy set theory, which makes it possible to analyze situations in which standard methods with a clear definition of boundaries do not provide the required level of accuracy.

Dynamic processes occurring in complex systems are often influenced by external and internal fluctuations, interference, and random factors, which creates uncertainty in the initial conditions and input parameters. Classical mathematical models often have difficulties in describing such situations. Therefore, the use of fuzzy logic methods is of particular importance, since it makes it possible to reflect the fuzzy characteristics of objects, indistinctly outlined boundaries and fuzzy probabilistic dependencies of system states.

A fuzzy set is a mathematical model of a class with blurred (fuzzy) boundaries. The basis of this approach is logic based on fuzzy truth, blurred connections, and fuzzy inference rules. Fuzzy logic is widely used in various scientific fields, and today mathematical modeling from the perspective of fuzzy sets is used in those scientific fields in which it is difficult or impossible to obtain accurate quantitative estimates. These areas include economics, meteorology, sociology, etc. When solving complex problems and analyzing complex systems, it has been observed that the more complex a system is, the less accurate judgments about its behavior become, but it is precisely such judgments that often have the greatest practical value.

The patterns that determine the behavior of processes and phenomena in conditions of uncertainty are closely related to random

events that can develop differently even under absolutely identical circumstances. Considering such patterns as events in a state of uncertainty, it should be noted that the very description of uncertainty significantly depends on the quantity and quality of the available source data. Thus, an accurate numerical analysis of the dynamics of complex systems is insufficient for the practical study of real processes or phenomena. This circumstance makes it necessary to use approaches where the objects of analysis are not specific numbers, but rather fuzzy sets.

The algorithm for calculating deterministic and integral ranking indices for describing the characteristics of atmospheric conditions using fuzzy sets is implemented in the mathematical software environment Maple2021 using the LinearAlgebra linear algebra library. Studies have shown that when atmospheric pressure is moderate or moderately high, the weather is clearer and sunnier the next day compared to extremely low pressure conditions.

As part of the study, it was shown by examples that integral ranking indexes provide more accurate results compared to traditional deterministic indexes. The limitation of deterministic indexes is to ignore the shape and type of the membership function of the compared fuzzy quantities. To eliminate this disadvantage, integral ranking indexes are used, which allow taking into account the features of the membership function forms and increase the accuracy of the analysis.

1.22 Supersubstorms during superstorm on 10-12 May 2024

Despirak I.V., Lubchich A.A., Yagodkina O.I.

Polar Geophysical Institute

The aim of this study is to conduct the detailed analysis of the strong geomagnetic disturbances during superstorm on 10–12 May 2024. It was the second-strongest geomagnetic storm of the space era (SYM/H -518 nT). Storm main phase was observed from 17:15 UT on May 10 to 02:15 UT on May 11, the recovery phase was registered on May 11-13. Extremely intense geomagnetic disturbances so-called supersubstorms (SML<-2500 nT) were recorded during the superstorm. According to the SuperMAG data base, there were several

SSS events: at 19:20 and 19:50 UT, 22:35 and 22:40 UT on 10 May, at 09:00 and 09:50 UT, at 12:45, 13:32 and 13:43 UT on 11 May, 2024. The planetary space-time distribution of the magnetic disturbances during this SSS were studied using the data collected from the ground-based networks (SuperMAG, INTERMAGNET and IMAGE) as well as the magnetic registrations by the Iridium constellation of 66 satellites at 780 km altitude, distributed over six orbit planes spaced equally in longitude (AMPERE project). We studied the extremal geomagnetic disturbances during SSS by examining the morphology of the auroral electrojets, the planetary pattern of the field-aligned currents (FAC), the corresponding positive magnetic bays at mid-latitudes, and their solar wind drivers. Different features of SSS development during these four events are discussed.

1.23 Vibrational structure and absorption spectrum of methane in a wide range up to the visible region of the spectrum

Bekhtereva E.S., Gromova O.V., Ulenikov O.N.

Tomsk Polytechnic University

Modern problems of atmospheric physics require increasing the accuracy of measurement and calculation of the absorption of solar radiation passing through the Earth's atmosphere by various absorbing components of the atmosphere, of which a special role is given to methane, as one of the main absorbing components of the Earth's atmosphere.

Within the framework of the method of analytical determination of wave functions (both vibrational and vibrational-rotational) in symmetrized form developed by us and having no analogues in the world, the centers of all vibrational-rotational bands of various symmetries of the methane molecule up to 12000 cm^{-1} were determined with high accuracy for the first time. The obtained results create a good basis for high-precision determination of both the vibrational-rotational structure of the absorption spectra of this molecule and prediction of the frequency dependence of the absorption coefficient of methane in the entire infrared region of the spectrum.

The work was supported by the Tomsk Polytechnic University in the frame of the PRIORITY- 2030 project.

1.24 Development of methods for studying physicochemical processes in the mesosphere - lower thermosphere based on satellite sensing data

*Kulikov M.Yu.^{1,2}, Belikovich M.V.^{1,2}, Chubarov A.G.^{1,2},
Dementyeva S.O.^{1,2}, Feigin A.M.¹*

¹*A. V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics RAS*

²*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod*

This report presents a short review of studies where the equilibrium of chemically active atmospheric gases is used in the retrieval of unmeasurable (poorly measured) characteristics of the troposphere, stratosphere and mesosphere - lower thermosphere. We summarize our studies about the development of mathematically correct analysis of trace gas equilibrium, that employs simulations of the global 3D chemical transport model, and the applications of these studies in satellite data processing at the mesosphere-lower thermosphere altitudes.

2 Geophysical fields and their interaction

2.1 A model of a 6-cell geodynamo with two types of cell arrangement

Feshchenko L.K., Vodinchar G.M.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

A low-mode model of the geodynamo driven by six-jet convection in the Earth's core has been developed. The model is based on indirect data on the large-scale structure of convection. These data were obtained earlier than the splitting functions of the Earth's free oscillations.

Note that the six-cell convective structure for the Earth's liquid core was obtained as a result of direct numerical modeling for a certain value. It is of interest to develop a combined model of six-cell convection in which the vertical velocity component would be described by a linear combination of spherical harmonics Y_2 and Y_3 . This combined model is described in the paper.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.2 Application of Kolmogorov-Arnold neural networks to the tasks of analysis and forecasting of the geomagnetic index Dst

Polozov Y.A., Mandrikova O.V.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The paper proposes the use of neural networks of KAN architecture to solve the problem of analysis and forecasting of the geomagnetic index Dst data. Using the KAN capabilities of determining functional dependencies, the nature of relationships between input data (Dst index values and parameters of the interplanetary environment) and output data of the network (forecasted values of the Dst index) is studied on the basis of trained neural networks. The Dst forecasting was carried out for the period 2021-2023 with a 3-hour advance. It

is shown that different parameters of the interplanetary environment make different contributions to the Dst forecasting, depending on the position of their previous values on the time axis. The results of the operation of the trained neural networks during the periods of geomagnetic disturbances are shown. The results show the promising potential of the proposed approach for the tasks of space weather analysis and forecasting. The work was carried out at the expense of the State Assignment of IKIR FEB RAS (reg. topic number 124012300245-2).

2.3 Assessment of the south magnetic pole drift rate from the 19th to the 21st Century

Semakov N.N.^{1,2}, Ukolov D.A.^{3,1}

¹ *Novosibirsk State University*

² *Arctic and Antarctic Research Institute*

³ *Unified Geophysical Service RAS*

This study assesses the velocity and direction of the South Magnetic Pole drift from the 19th to the 21st century. The analysis is based on geomagnetic observation data from areas of the Southern Hemisphere where the magnetic inclination exceeds 60°. Regional peculiarities in the location of calculated magnetic poles have been identified, along with general patterns of their movement. To refine the drift parameters, over 40 series of angular geomagnetic observations were conducted during the 70th Russian Antarctic Expedition (2024–2025) on sea ice and in coastal Antarctic oases.

2.4 Automatic algorithm for geomagnetic storm selection

Abunina M.A., Maurchev E.A., Shlyk N.S., Belov A.V., Abunin A.A.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS

Some parameters of geomagnetic activity (Ap and Kp indices) were studied for the long period (1932 – 2023). General statistical changes

in the number of geomagnetic storm intervals for the entire observation period, as well as for individual solar cycles, were considered. It was shown that about 46% of time the geomagnetic activity remains quiet, and only 7% of time magnetic storm intervals are observed. An algorithm for automatic selection of geomagnetic storms was developed. The duration (in hours) of magnetic storms for the entire study period is considered.

2.5 Characteristics of low-frequency emission from ground based transmitter observed on “Ionosfera” satellites.

*Kolpak V.I.^{1,2}, Mogilevsky M.M.¹, Evdokimova M.A.¹,
Chugunin D.V.¹, Andreevsky S.E.², Shlugaev Y.V.³, Zhiltsov M.V.⁴*

¹ *Space Research Institute RAS*

² *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Waves Propagation RAS*

³ *The Radiophysical Research Institute*

⁴ *“NPP” ASTRON ELECTRONICS LTD*

The «Ionosfera» satellites are equipped with a complex consisting of the NVK2 device, the MD magnetic sensor, and the ED electric sensors. Using the measurements of electromagnetic fields by this complex in the frequency range of 10 Hz – 23 kHz, an analysis of the signals of ground-based VLF transmitters received on board the spacecraft was performed. The zones of ionospheric illumination by transmitter signals were determined based on statistical analysis. Comparison of these zones with the zones obtained on the Demeter satellite show that the illuminated areas are currently significantly smaller than during the operation of the Demeter satellite. This may be due to solar activity, which leads to an increase in the density of the ionosphere. The amplitude-frequency analysis of the transmitter signals that passed through the magnetosphere indicates interwave interaction near the equatorial region – the transmitter signals are modulated by oscillations of the force tube in which the signal propagates. The results on the broadening of the transmitter signals obtained on the “Intercosmos-19” satellite were confirmed.

2.6 Characteristics of the current carrying electron populations in the intense electron-scale current sheets in the Earth magnetotail

Leonenko M.V., Grigorenko E.E., Zelenyi L.M.

Space Research Institute

Using MMS satellite observations in the Earth's magnetotail, it has been shown that in hot, collisionless plasma turbulized by the propagation of a bursty bulk flow from the primary reconnection region, multiple secondary sources of electron acceleration are formed. Such sources can be regions of secondary microreconnections occurring at electron kinetic scales. Thus, the MMS satellites have, for the first time, enabled the discovery that in plasma turbulized by a bursty bulk flow, energy can be dissipated through multiple cascading microreconnections formed in superthin, intense current sheets. In this study, the current carrying electron populations in intense current sheets at electron kinetic scales are investigated. A method for isolating the current carrying population is proposed, and both the concentration and the non-gyrotropy of these populations are determined. The presence of non-gyrotropy indicates that the electrons are demagnetized. A comparison of the characteristics of the current carrying populations in current sheets of different types -parallel and perpendicular to the external magnetic field - in various regions of the plasma sheet of the Earth's magnetotail is also carried out.

This work was supported by the Russian Science Foundation (23-12-00031).

2.7 Database of geodynamo fields eigenmodes parameters and geodynamo spectral models coefficients

Lisytkin S.S., Vodinchar G.M., Kazakov E.A., Feshchenko L.K.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Geodynamo is a complex nonlinear interaction of three geophysical fields in the Earth's core: speed, magnetic induction and temperature. Spectral models are often used in the study of geodynamo problems. The compilation of spectral models requires the calculation of the parameters of the basic modes, and then the coefficients of the model (Galerkin coefficients).

The geodynamo spectral model has three field components: velocity, magnetic, and temperature. The problems of the velocity and magnetic fields are solved separately in the class of toroidal and poloidal fields.

Galerkin coefficients are integrals over the volume of a liquid core from very cumbersome multiplicative combinations of basic modes and vector analysis operators in spherical coordinates. The modes themselves are expressed in terms of spherical harmonics and spherical Bessel functions.

Each mode of the velocity and magnetic field is determined by multi-indexes of the form (k,n,m, type), where k, n, and m correspond to the sampling of the spectrum in r , θ and φ , respectively, and type is the binary index of the mode type: toroidal or poloidal. Temperature modes are determined by multi-indices (k,n,m) .

To calculate the toroidal velocity modes, it is necessary to find the eigenvalues μ_{kn}^T and the coefficients A_{kn}^T and B_{kn}^T , for poloidal μ_{kn}^P and C_{kn}^i . For temperature values, the eigenvalues λ_{kn} and the coefficients a_{kn} , b_{kn} are calculated. For magnetic toroidal modes η_{kn}^T and a_{kn}^T , poloidal η_{kn}^P and a_{kn}^P

Galerkin combinations are obtained: C_{li} , H_{si} , W_{pi}^α , E_{li} , W_{pij} , Q_{lij} , F_{sin} , B_{li} .

The obtained eigenvalues of modes and coefficients are placed in the database.

The report describes a database for storing and recording eigenvalues of modes and coefficients (Galerkin coefficients) of equations of the geodynamo spectral model. All calculations are performed in

Maple. The mariadb database management system is used to record values and query data.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.8 Dependence of plasmasphere density on geographic longitudes according to satellite measurements

Chugunin D.V., Kotova G.A.

Space Research Institute

The work is devoted to the study of the dependence of the plasmaspheric magnetic flux tubes filling on geographic longitude during quiet time. Despite the fact that the magnetosphere is mainly described by magnetic coordinates, the filling of it with ionospheric plasma is also affected by the difference in the illumination of the base of the magnetic field lines. This issue is studied in this work using measurements of ion concentration on the INTERBALL satellite and electron concentration on the ERG satellite. For the study, only long quiet periods were selected, during which the magnetic flux tubes had time to fill with plasma to diffusion equilibrium. It was shown that for the same geomagnetic coordinates, the plasma density in the plasmasphere depends on geographic longitude. This dependence is also studied for different seasons.

2.9 Determination of lightning discharge height by the multiple-beam interferometry method

*Malkin E.I., Shevtsov B.M., Kazakov E.A., Cherneva N.V.,
Sannikov D.V.*

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The electric discharge height was earlier determined by the VLF radio direction finder by the method of two-ray interferometry.

The essence of the method is the comparison of model and real spectra of signal strength. In this paper, in order to improve the accuracy of determination of a lightning discharge height, the multiple-beam interferometry method is used. The height, estimated by the convolution of the model power spectrum with the real power spectrum of a signal, coincides with the stratopause region where temperature has local maximum and which evidently promotes height electric discharge.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.10 Disturbances of midlatitude sub-ionospheric signals during intensive and super geomagnetic storms

Solovieva M.S.¹, Korkina G.M.², Bulatova N.R.², Kasimova V.A.²

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS*

² *Kamchatka Branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service RAS"*

Data of the continuous monitoring of the sub-ionospheric signals in Petropavlovsk-Kamchatsky have been used to analyze nighttime variations in the amplitude and phase of mid-latitude JJY (40 kHz) signal during the main stage of strong and extreme geomagnetic storms over three solar cycles (2000-2024). The results show that for the total 53 geomagnetic storms, only 15 caused disturbances in the radio signal. The effect was found for those geomagnetic storms whose main stage was during the local night. There were 19 such cases in total. The amplitude anomalies of the JJY signal ranged from 3 to 18 dB, phase anomalies varied from 29° to 135°. No direct relationship was found between the strength of geomagnetic activity and the JJY signal anomaly. In 4 cases, when the main stage of magnetic storms was during the local day or during the movement of the solar terminator through the signal propagation path, an anomalous shift in the position of characteristic minima in the diurnal variation of sub-ionospheric signals at the moments of sunset or sunrise relative to their normal position was found. Minima shifted by 1-2 hours towards increasing the duration of the nighttime.

2.11 Do solar flares and sudden storm commencements trigger earthquakes?

Zinkin D.V., Pilipenko V.A.

Institute of Physics of the Earth RAS

The possibility of a trigger effect of solar activity and related disturbances of the geomagnetic field on the Earth's seismicity is actively discussed in the geophysical literature. In particular, the idea of solar flares and sudden storm commencements (SSCs) as triggers of planetary seismic activity is popular. The paper provides a statistical test of these hypotheses. The statistics of shallow earthquakes on the Sun-illuminated side of the Earth before and after solar flares and SSCs of 2010-2020 in the range of ± 2 days and ± 1 hour, respectively, are considered by the superimposed epoch method. There were no statistically significant changes in seismicity within the limits imposed on the depth and local time of the earthquake source. The results cast doubt on the hypothesis of solar flare or SSC as possible triggers of earthquakes. Nonetheless, some statistical results are still hard to comprehend on the basis of existing notions.

2.12 Experimental complex for the study of anomalous effects in geophysical fields in the north Tien Shan region

Pak G.D.¹, Salikhov N.M.¹, Nurakynov S.M.¹, Shepetov A.L.^{1,2}

¹ *Ionosphere Institute LLP Aerospace Committee of the Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry*

² *P. N. Lebedev Physical Institute RAS*

4 March 2024, an M6.1 earthquake occurred in the seismically active region of the North Tien Shan at the epicentral distance of 12.2 km from the geophysical monitoring complex. The preparation of this seismic event we detected in a real time eight days before the main shock, when a characteristic cove-like depression appeared in the gamma-ray flux in the borehole at a depth of 100 metres. We detected the preparation processes of this seismic event in real time eight days before the main shock, when a characteristic cove-like depression appeared in

the gamma-ray flux in the borehole at a depth of 100 metres, which most likely indicated an approaching earthquake. The experimental geophysical complex used to record the anomalous effects of the M6.1 earthquake preparation is located at the scientific station (N43.042 E76.944) at an altitude of 3340-3400 m above sea level. The following were used in the work:

- Multi-channel geophysical recorder MGR-02-16 is located at an altitude of 3400 m. The device is designed for monitoring the temporal variations of the Earth's natural pulsed electromagnetic field at two frequencies VLF - 7.5 kHz and 10.0 kHz. Two mutually orthogonal ferrite antennas of the geophysical recorder are set in the north-south (7.5 kHz) and west-east (10.0 kHz) directions. The counting of pulses is counted at 10-second intervals.
- IMS-008 magnetic sensor of induction type, which registers the variation of the horizontal component of the earth's magnetic field strength in the ULF range (0.0001 - 20 Hz) with a sampling frequency of 66.6 Hz. The magnetic sensor is oriented in a north-south direction. To ensure that only signals in the ULF frequency range were recorded, a 12-order Chebyshev low-pass filter with a cut-off bandwidth of 20 Hz was used. A notch filter was also used to better suppress signals from the 50 Hz industrial network.
- a borehole about 300 m deep, quipped for the study of seismogenic effects. The borehole is filled with water to a depth of 150 ± 5 meters.
- NaI(Tl) crystal gamma detector (SDN.30, diameter $\varnothing 40$ mm) has been installed in a borehole at a depth of 100 meters designed to measure variations in the gamma-ray flux. The gamma detector was calibrated using the reference sources Am-241 (Eu=60 keV) and Cs-137 (Eu=660 keV). Gamma ray pulses were counted at 10 second intervals in six energy ranges: 20-40, 40-80, 80-200, 200-400, 400-800 and >800 keV. Three temperature sensors are installed at the depths of 1, 24 and 39 meters and one outside near the borehole. The air temperature in the borehole below 24 metres varies by a few hundredths of a degree, providing stable conditions for the operation of electronic circuits and the NaI(Tl) crystal, which are affected by temperature variations. The ground part of all geophysical recorders has a temperature stabilization of about $20 \pm 0.25^\circ$ C.

For the registration of the ionospheric response to disturbances propagating from the lithosphere to the height of the ionosphere, we use the method of Doppler sounding on an inclined radio path with continuous carrier. Doppler measurements are based on the principle of operation of the phase-locked loop (PLL) and the possibility of measuring the Doppler frequency shift of a larger amplitude beam in the conditions of a multibeam signal is realised. The selection of the optimal radio frequency is carried out according to the British Broadcasting Corporation (BBC) catalogue (www.short-wave.info). Doppler shift measurements ($f=7245$ kHz) were made on the inclined radio pass Dushanbe-orzu (Tajikistan) - Almaty (Institute of Ionosphere). The receiving Doppler equipment is located in the two measuring points: Institute of Ionosphere (43.17594° N, 76.95342° E) and Radiopolygon Orbita (43.05831° N, 76.97361° E). The completed study of seismogenic anomalies in various geophysical fields indicated the final stage of preparation for a major earthquake.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number AP19678127 "Development of the methods for geophysical fields monitoring in the lithosphere-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system in a seismically hazardous region of Northern Tien Shan".

2.13 Effect of extremely low-frequency magnetic fields in the Schumann resonance frequency band on electric reactions in plants

*Grinberg M.A.^{1,2}, Ilin N.V.¹, Nemtsova Yu.A.², Sarafanov F.G.¹,
Ivanova A.V.², Dolinin A.A.¹, Pirogova P.A.², Vodeneev V.A.²,
Mareev E.A.¹*

¹ *Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics RAS*

² *Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod*

In the electromagnetic field frequency spectrum, there are special bands of interest, which, on the one hand, due to various reasons, can change in natural conditions, on the other hand, have a pronounced impact on the state of living organisms. One such band is the extremely low-frequency Schumann resonance fields. Determining the effect of

such magnetic fields on living organisms is interesting in evolutionary and ecological aspects, since the severity of the spectral band associated with Schumann resonances can be modified due to its dependence on global lightning activity under climate change conditions.

The experiments studied the effect of a magnetic field with a frequency of the second harmonic of the Schumann resonance (14.3 Hz) on the electrical reactions of wheat plants (*Triticum aestivum* L.). Electrical reactions, which are coordinated changes in the electrical potential on cell membranes in living organisms, are a universal signal that can trigger a variety of physiological responses to environmental factors (temperature, light, mechanical action, etc.). It has been shown that an increased magnetic field (9 mT) with a frequency of 14.3 Hz enhances the electrical responses of plants caused by light. An additional study of frequencies in the vicinity of the second harmonic (10.5, 13.3, 14.3, 15.3, 18 Hz) demonstrates the presence of a resonance effect for biological responses: the influence of a field with a frequency of 14.3 Hz was most pronounced.

The studies were carried out within the framework of the state task of the IAP RAS № FFUF-2025-0009 and the scientific program of the National Center for Physics and Mathematics, section № 10 “Experimental laboratory astrophysics and geophysics”.

2.14 Effects of the X3.9 class solar flare on the high-latitude ionosphere on May 10, 2024

*Mingaleva A.O., Blagoveshchenskaya N.F., Kalishin A.S.,
Egorov I.M., Borisova T.D.*

Arctic and Antarctic Research Institute

We examine the ionospheric effects of the X3.9 class solar flare occurred in the active region AR13664 of the Sun at 06:54 UT on May 10, 2024. In the course of the solar flare the X-ray and ultraviolet radiation leads to the electron density increase in D-, E-, and F region of the ionosphere causing the sudden ionospheric disturbances (SID). One of the SID types is the Short wave fadeout (SWF) induced by the X ray radiation of the Sun leading the electron density enhancements in the lower ionosphere (D-region). It was completed the detailed analysis of the behavior of the ionospheric and radio wave propagation

features during the Sudden ionospheric disturbance of the SWF type induced by the X3.9 class solar flare on May 10, 2024. The effects were analyzed from 06:00 to 10:00 UT by using the vertical ionospheric sounding (VIS) data and oblique ionospheric sounding (OIS) data both obtained at stations located in the west Arctic region of the Russian Federation. The VSI and OSI sessions were carried out once every 15 minutes. It was shown that during SWF the minimum frequency, f_{min} , on the VSI ionograms increase. In the same time the OSI data on several radio paths demonstrate the increase of the lowest observable frequencies (LOF), the disappearance of the high order modes on the ionograms and narrowing the operation frequency range, indicating an increase of the absorption in the lower ionosphere. A comparison of the behavior of f_{min} and LOF with the absorption measured by riometers at the high latitude stations was made. The study of the Sudden ionospheric disturbances is of not only scientific but also applied interest. These disturbances have a significant impact on the reliability of spacecrafts, radio communication systems, radio navigation, and over- horizon radars.

2.15 Experience of application the GPR method in areas of active volcanism

Pavlova V.Yu.¹, Akbashev R.R.²

¹ *Vitus Bering Kamchatka State University*

² *Kamchatka Branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service RAS"*

Some of the most interesting and challenging regions for application the GPR method are areas of active volcanism. The large thickness of the soil-pyroclastic cover, polygenetic soil profiles, a significant number of buried soil horizons separated by tephra layers of different granulometric composition and age, on the one hand, create good conditions for the formation of clear lines of equal phases of reflected signals (phase axes) on the GPR profile, and on the other hand, complicate their interpretation. The existing experience of application the GPR method in areas with active volcanoes is small. Many aspects of application the GPR method in volcanic areas remain insufficiently studied. All this determines the relevance of the study. This paper

presents the results of long-term research application the GPR method in areas of active volcanism in Kamchatka, as well as on Paramushir Island (Kuril Islands). For the first time, ground penetrating radar facies have been identified in the area of some volcanoes. This touches upon current issues of the genesis of volcanic deposits, which helps to clarify the nature of volcanic activity in the study area. The GPR method makes it possible to study in detail the upper part of the geological section with the determination of the thickness of the layers, as well as the identification of ground penetrating radar facies, which contributes to the study of the process of relief formation in areas of active volcanism. The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (within the framework of the state assignment FZSS-2025-0007) and the research theme «Application of the GPR method in Kamchatka» (Vitus Bering Kamchatka State University).

2.16 Experiments on study upper atmosphere and space weather monitoring on-board Moscow university satellites

Svertilov S.I.¹, Bogomolov V.V.², Bogomolov A.V.³, Iuydin A.F.³, Kalegaev V.V.¹, Myagkova I.N.³, Osedlo V.I.⁴

*M.V. Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobel'tsyn
Institute of Nuclear Physics*

The main goals and objectives of Moscow University space missions to study the upper atmosphere, monitoring of space weather and solar activity are considered. Currently, the Moscow University nanosatellite constellation Sozvezdie-270 is being deployed, i.e. 20 cubesat satellites have been launched, 11 of which continue to operate in orbit. The Sozvezdie-270 project also involves the creation of a network of receiving stations distributed along the meridians. The main goal of the multi-satellite constellation is to monitor space weather and electromagnetic transients of various natures, including atmospheric, astrophysical and solar origin. To conduct experiments on CubeSat satellites, various instruments have been developed to detect high-energy charged particles (mainly electrons and protons), gamma quanta in near-Earth space, as well as optical (ultraviolet

and red) atmospheric glow. By now, important information on the effects of space weather associated with various manifestations of solar flare activity and its influence on the geomagnetic environment in near-Earth space has been obtained during measurements on the satellites of the Moscow University constellation. In particular, data on the dynamics of sub-relativistic electron fluxes in the precipitation areas of the inner ($L = 1.7 - 1.8$) and outer belts - the so-called slot region ($L = 2.2 - 3.0$) have been obtained, new data on rapid variations in electron fluxes on the Arctic edge of the outer belt and in the polar cap have been obtained. Of particular note are the results of observations of phenomena that lead to significant changes in radiation conditions in near-Earth space. In particular, such phenomena include the penetration of solar cosmic rays into the polar cap regions, leading to significant restructuring of radiation fields in the inner magnetosphere. Also important for determining local dose loads on given orbits is the change in the spatial structure of the distribution of high-energy electron flows in the outer belt due to magnetic storms, which in turn are caused by changes in the parameters of the solar wind due to active processes on the Sun. The use of a group of satellites that allows simultaneous measurements in different areas of near-Earth space provides conditions for virtually continuous patrolling of solar flare activity in the hard range of the electromagnetic spectrum.

2.17 Geomagnetic response to the Mww 7.7 earthquake Myanmar on March 28, 2025

Riabova S.A.^{1,2}

¹ *Institute of Geosphere Dynamics RAS*

² *Institute of Physics of the Earth RAS*

The geomagnetic response to the Mww 7.7 earthquake that occurred in Sagaing County, Myanmar, on March 28, 2025, at 12:50:54 local time (06:20:54 UTC) is analyzed. The epicenter of the main shock of the earthquake was located 14 km north-northwest of Sagaing City and 16 km west of Mandalay City. The initial data were the registration data of three components of magnetic induction on the Earth's surface, carried out at two Vietnamese observatories "Phu Thi" and "Dalat" and at two Indian magnetic observatories "Chowthuppal" and

“Hyderabad”. The data of instrumental observations of geomagnetic field variations with a discretization of 1 min, presented on the website of the International INTERMAGNET network are used. The observed geomagnetic variations are interpreted as the result of the propagation of three types of waves caused by the earthquake: seismic Rayleigh waves generating acoustic waves, atmospheric internal waves excited at the epicenter of the earthquake, and slow magnetohydrodynamic waves caused by the dissipation of acoustic-gravity waves in the lower ionosphere. The research was carried out within the framework of the state assignment of the Sadoysky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences “Transformation of geophysical fields as the main factor of intergeospheric interactions” (No. 125012700798-8) and within the framework of the state assignment of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences.

2.18 Ionospheric response to the tsunami after the 2011 Tohoku-oki earthquake

Riabova S.A.^{1,2}

¹ *Institute of Geosphere Dynamics RAS*

² *Institute of Physics of the Earth RAS*

The aim of research is to study the ionospheric response to a tsunami following the earthquake that occurred in Japan on March 11, 2011. The earthquake occurred at 05:46 UT (14:46 LT) east of the Japanese island of Honshu and had a magnitude of 9.0. This earthquake (called the Tohokuoki event) generated a tsunami reaching a height of several tens of meters, which led to the accident at the Fukushima1 nuclear power plant and a tragedy of national scale. To analyze the response of the lower ionosphere, geomagnetic monitoring data from the Honolulu station were used. In order to determine the time of the tsunami arrival on Honolulu Island, water level data were used, obtained using the tidal tsunami monitoring station 1612340, located on the coast of Honolulu. To analyze the response of the upper ionosphere, GPS satellite data were used, allowing the determination of variations in the total electron content of the ionosphere. During data processing and analysis, it was found that wave disturbances of the total electron content and geomagnetic disturbances precede the

arrival of the tsunami, and the detected ionospheric variations are in the frequency range of internal gravity waves (IGWs). In addition, it was found that the low-frequency part of the disturbance arrives earlier, as it should be for IGWs generated by tsunamis. The research was carried out within the framework of the state assignment of the Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences “Transformation of geophysical fields as the main factor of intergeospheric interactions” (No. 125012700798-8) and within the framework of the state assignment of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences.

2.19 Multi-satellite group of spacecraft for radiation monitoring in near Earth Space

*Osedlo V.I.¹, Pavlov N.N.¹, Rubinshtein I.A.¹, Svertilov S.I.²,
Tulupov Yu.V.¹*

¹*M.V. Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobel'tsyn
Institute of Nuclear Physics*

²*Physics Department of Lomonosov Moscow State University*

The main radiation components in near-Earth space (NES) include charged particles of ionospheric and magnetospheric plasma, fluxes of energetic particles of the Earth's radiation belts (ERB), solar and galactic cosmic rays (SCR and GCR) in a wide energy range. The relevance of monitoring of these particle fluxes is due to both fundamental scientific and applied problems. Scientific goals associate with solving the problems of particle acceleration, wave-particle interactions, nonlinear dynamic processes in magnetospheric plasma, etc.. Applied aspects mainly connected with that, since intense increases in the space radiation fluxes can lead to damage and failure of spacecraft (SC) electronic equipment, cause disruption of short-wave communications in high-latitude areas, lead to failures in navigation systems, and reduce the accuracy of global navigation and positioning systems. To predict the dynamics of radiation fields in the near-Earth space, it is necessary to monitor them in different orbits in a wide range of altitudes, i.e. from low circular (400 - 500 km) to high-apogee and geostationary (up to 40 000 km). One of the ways to solve this problem is to use observations using identical instruments installed

on satellites of a multi-level (by altitude) grouping of spacecraft. It seems that meteorological and geophysical satellites launched into different orbits with instruments installed on them that ensures the detection of charged particles (mainly electrons and protons) in a wide energy range, i.e. from parts of keV to tens (electrons) and hundreds (protons) of MeV can be considered as such a group. The instruments were developed at the SINP MSU and for a number of years has been providing multi-satellite measurements on spacecraft launched into orbits with a wide range of altitudes, i.e. Meteor (circular orbit 830 km), Ionosfera-M (circular orbit 820 km), Arktika-M (elliptical orbit with apogee and perigee altitudes of 39 000 and 600 km), Electro-L (geostationary orbit in the equatorial plane at an altitude of 36 000 km). Recently, the constellation of meteorological and geophysical spacecraft has been supplemented by nanosatellites of the CubeSat format. As part of the implementation of Moscow University's own space program, a multi-satellite constellation of such spacecraft is being deployed in orbit. Currently, 20 CubeSat satellites have been launched, which also carry identical particle and quantum detectors, specially adapted for operation on this spacecraft. The experience of using measurements on a multi-level grouping spacecraft using the detecting instruments of the SINP MSU are analyzes in the report. Also there are discussed results of observations of some effects of space weather observed in 2024. It is concluded that by using information from identical instruments on spacecraft located at different altitudes, it is possible to obtain a more complete picture of the spatial distribution and dynamics of particle and quantum fluxes in large areas of the near-Earth space.

2.20 Model of seismic electric field generation in the atmosphere

Khaerdinov N. S.

Institute for Nuclear Research RAS

Previously, a number of publications covered a unique event that occurred in the Caucasus in the period 01-02.09.2019. In it, in the Central Caucasus region, in good weather, according to variations in secondary cosmic ray particles recorded by the Carpet complex

installation, a thunderstorm field in the atmosphere was observed, ending with the glow of the night sky. Increases in the total electron content of the ionosphere were also recorded, correlating with field disturbances. In the Lesser Caucasus region, during this period, another complex installation, Aragats, observed thunderstorm activity, episodically accompanied by the registration on the ground, at the height of the mountains, gamma radiation and ascending compact luminous formations. Using archival data from satellite images (<https://weather.us>) and data on the location of active faults in Eurasia (AFEAD) (<http://neotec.ginras.ru/database.html>), examples of correlation of thunderstorm activity over deep faults of the Lesser Caucasus with disturbances of electrical parameters measured in the mountains of the Central Caucasus by the “Carpet” installation were obtained. A scenario of the geophysical process that took place in the Caucasus during the specified period is proposed, which qualitatively explains the observation data.

2.21 Modernization of the Verkhnyaya Paratunka electrotelluric observation station, Eastern Kamchatka: first results of observations

Kasimova V.A., Kopylova G.N.

*Kamchatka Branch of the Federal Research Center “Unified
Geophysical Service RAS”*

In 2023, modernization of the station Verkhnyaya Paratunka was carried out, including measurements of electrotelluric potential (TP) differences on four lines (100-20 m) with a frequency of 1 Hz, meteorological parameters (atmospheric pressure, air temperature), as well as soil temperature and humidity at depths of 0.3 and 1.7 m. The results of continuous monitoring of observed parameters are presented in comparison with geomagnetic activity and seismicity for the period from February 2, 2024 to January 31, 2025. A significant influence of seasonal snowmelt during spring on level of TP difference variations was detected, when air temperature reaches 15°C, and soil humidity increases by 20 percent at depth of up to 1.7 m (second half of April - May). Liquid precipitation in May–November was also accompanied by TP variations. High-frequency oscillations

caused by disturbances of the Earth's magnetic field with magnetic intensity index $K_p=6$ and more were detected in variations of telluric potential difference, which represent magnetic storms from “moderate” with class $G=2$ to “extreme” class $G=5$, according to NOAA classification (National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>). Of the 44 magnetic storms considered, 12 storms with class $G3-G5$ were most clearly manifested in the telluric potentials. The most powerful event during the period under consideration was the extreme strong magnetic storm on May 11, 2024 ($Dst=-412$ nT, class $G=5$), which caused intense disturbances of telluric potentials with amplitudes of up to 0.6 mW/m during the day. Variations of telluric potentials during 14 shallow-to-medium-focus earthquakes with $Ml=5.3-7.0$ (according to Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences), which occurred at epicentral distances of $de=70-160$ km, were also considered. Most of seismic events are related to activation caused by the earthquake of August 17, 2024, $Ml=7.0$, $de=150$ km, and its foreshock-aftershock process. Most of the considered earthquakes occurred during magnetic storms. In particular, the earthquake of August 17, 2024, as well as its foreshock and aftershocks, coincided with the occurrence of magnetic storms of class $G2$. Therefore, the identification of weak seismogenic effects in TP variations presented a certain difficulty.

2.22 Monitoring Pc3 Pulsations in Magnetic Storm Conditions using a VLF Recorder

Sivokon V.P.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

In magnetic storm conditions, it is difficult to distinguish Pc3 pulsations against the background of higher intensity pulsations, such as Pc5. Using the nonlinear properties of the block transformer of the Mutnovskaya GeoPP, it is possible to obtain the effect of modulation by Pc3 pulsations of harmonics of industrial current flowing in the high-voltage line. A VLF recorder located at a distance of about 2 kilometers from the power transmission line is used as a receptor of

these harmonics. Analysis of the obtained data showed the fundamental possibility of using the VLF direction finder for a new purpose.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.23 Multiscale model of a geodynamo driven by 6-cell convection

Vodinchar G.M., Feshchenko L.K.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The advantage of low-mode geodynamo models is that they allow reproducing long time series of velocity, temperature and magnetic induction model fields. However, these models are very difficult to combine with turbulent convection in the Earth core. For this, it is necessary to use not molecular, but turbulent values of dissipative coefficients. These values themselves are properties not so much of the medium as of a specific flow of this medium, which means they must be calculated. One possible approach is to couple a low-mode large-scale model with some model of small-scale turbulence. In order to preserve a reasonable number of modes ($\sim 20 - 30$), it is possible to couple a large-scale model with a shell model of turbulence. The idea of such a coupling for constructing multiscale turbulence models was first proposed by D.D. Sokolov and P.G. Frick in 2003. The shell model uses a power hierarchy of scales, which allows covering the inertial range scalings with a relatively small number of modes.

The report presents and discusses a combined model that combines the previously studied low-mode 6-cell geodynamo model and a specially developed non-local shell model of magneto-convection. These submodels exchange information with each other. The shell submodel allows calculating the turbulent values of the dissipative coefficients of a large-scale 6-cell geodynamo. The large-scale submodel gives the boundary values of the collective variables of the shell part.

The data exchange schemes between the submodels and the results of computational experiments are discussed.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.24 New GLE74 (11.05.24) In Solar Cosmic Rays

Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Mikhalko E.A., Gvozdevskiy B.B.

Polar Geophysical Institute

In May 2024, a GLE event occurred (it is designated GLE74). The increase in cosmic rays was recorded by the global network of neutron monitors. A few days before, a previous solar flare caused a coronal mass ejection that reached Earth on 10.05.2024. This ejection caused a strong magnetic storm, and in cosmic rays produced a significant Forbush decrease: more than 10%. These circumstances complicate the analysis of GLE74. Generation of solar cosmic rays occurred in the active region AO 13664 of the Beta-Gamma-Delta type with coordinates S17W47, the flare had a class X5.8, the maximum radiation was reached at 01:39 UT on 11.05.2024. At the time of the beginning of GLE74, a magnetic storm was raging on Earth, the Dst-index was below -400 nT, and at the end of the previous day, the Forbush effect began in cosmic rays, caused by the arrival of a plasma cloud from the previous one. The decrease in the cosmic ray flux due to the Forbush effect on polar neutron monitors was 10%. The small amplitude of the event complicates the isolation of such an event against the background of a general decrease in the level, however, it is possible. The data of the world network is sufficient to solve the inverse problem: determining the parameters of the solar cosmic ray flux. At the neutron monitors in Apatity and Barentsburg (Spitsbergen), the increase in the cosmic ray flux was 4-5%. In addition, to calculate the asymptotic reception cones of neutron monitors, an accurate description of the magnetosphere state is required. We usually use the Tsyganenko-01 model, which describes the magnetosphere well in a quiet and disturbed state. For our method of solving the inverse problem, which uses a detailed and accurate calculation of the asymptotic reception cones of neutron monitors, the uncertainty of the magnetosphere state introduces the main error in the solution, so an accurate specification of the magnetosphere state is important. The Tsyganenko-03 model is suitable for describing the magnetosphere state during a storm. Previously, it was used to solve the inverse problem in the GLE66 event (10/29/03), when the Dst-index dropped below -450 nT, and showed good agreement with real observations. The Tsyganenko-03 model was also used to solve the inverse problem for GLE74. The result of the solution is

the energy spectra and pitch-angle distribution of the solar cosmic ray flux during the maximum phase of the event with a 5 minutes step.

2.25 New vision on traditional problems: whistlers

*Evdokimova M.A.¹, Mogilevsky M.M.¹, Chugunin D.V.¹,
Andreevsky S.E.², Shlugaev Y.V.³, Zhiltsov M.V.⁴*

¹ *Space Research Institute*

² *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Waves Propagation RAS*

³ *Radiophysical Research Institute (NIRFI)*

⁴ *“NPP” ASTRON ELECTRONICS LTD*

On the board of the “Ionosfera” satellites, continuous recording of signal waveforms in the range from 10 Hz to 23 kHz is carried out using NVK2 instruments, the magnetic sensor MD, and electric sensors ED. We used the results of these measurements to analyze the passage of whistlers registered onboard through the ionosphere and their propagation along the magnetic field line. A statistical analysis was conducted, and based on it, the spatial distribution of whistlers was constructed: fully dispersed signals are observed closer to high latitudes, while partially dispersed signals are observed closer to the equator.. During local nighttime, whistlers are observed significantly more frequently than during the daytime, which is consistent with the generally accepted understanding of changes in ionospheric density. Outside the plasmasphere, whistlers are not observed. The obtained statistical distribution of whistlers registered onboard is compared with the distribution of lightning discharges on the Earth’s surface. To identify lightning discharges, the ground-based lightning detection network Blitzortung.org was used. With the help of this network, the presumed location of the source of whistler signal registered onboard was identified for the first time.

2.26 Perspectives of one-point direction finding and distance measuring in VLF range in Kamchatka

Kaisin A.V., Malkin E.I.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The paper suggests the algorithm for thunderstorm location in VLF range. It is based on interferometry methods and one-point direction finding. The method of one-point direction finding involves recording of electric and magnetic components followed by azimuth calculation. Interferometer measurements are used to determine the distance to a source with respect to the height of ionospheric reflecting layer and the delay time of ionospheric reflection relative to the ground wave signal. Verification of the accuracy of one-point thunderstorm location method is based on the comparison with the data of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN).

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.27 Project “Ionosphere”

Chugunin D.V., Ionosphere team

Space Research Institute

The Ionosphere project consists of four low-orbit satellites, the first pair of which was launched in late 2024. The project is aimed at studying solar-terrestrial and ionosphere-magnetospheric connections and monitoring the upper ionosphere. The satellites are equipped with a wide range of instruments, there are devices for measuring particles of various energies, a set of equipment for radiophysical measurements, etc. The report presents the goals and objectives of the project, the composition of the scientific instruments and its characteristics. The first results obtained are presented.

2.28 Recognizing a group of whistlers in VLF radio signals

Luttseva E.A.¹, Vodinchar G.M.²

¹ *Kamchatka State Technical University*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

This paper describes an approach to recognizing a group of whistlers in the frequency-time spectra of VLF radio signals. The original signal undergoes the following processing stages: signal filtration, transition to a new coordinate system for straightening whistler images, and searching for groups of whistlers whose straightened images intersect at one point on the time axis.

The work was carried out at the expense of the research and development work of the State Technical University of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kamchatka State Technical University” (state registration number 124022500267-1) and IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.29 Registration of geomagnetically induced currents at the Mutnovskaya geothermal power plant

Gvozdarev A.Y.¹, Khomutov S.Y.¹, Sivokon V.P.¹, Uchaikin E.O.²

¹ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation,
FEB RAS*

² *Gorno-Altai State University*

In March 2025, a system for recording geomagnetically induced currents in the neutral grounding bus of block transformer was installed at the Mutnovskaya geothermal power plant. The grounding bus of the transformer is covered by current clamps, in which two Hall sensors are installed. The signal from these sensors is recorded by a measuring system based on a microcontroller and a 24-bit ADC. To calibrate the measurements, a bipolar calibration signal with an amplitude of 0.4151 A, generated by a special calibration unit, is

applied every two hours via a current loop entering the clamp. Time synchronization is performed using GPS. The installation's own noise does not exceed 10 mA. The report discusses methodological features and measurement results. The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (Reg. №subject registration 124012300245-2).

2.30 Relationship between strong variations of geomagnetic field and seismic activity

Novikov V.A.¹, Lazareva E.A.²

¹ *Joint Institute for High Temperatures RAS*

² *Research Station RAS in Bishkek*

Theoretically it was shown that a solar flare can cause the pulsations of geomagnetic field (GMF) and a burst of telluric currents in seismogenic faults comparable in density to electric currents in the Earth's crust generated by an artificial source and resulted in a spatiotemporal redistribution of regional seismicity. As a verification of the proposed approach the statistical analysis of impact of the top 50 solar flares (SF) of X-class on the global seismic activity, as well as on the earthquake (EQ) preparation zones located in illuminated part of the globe and in the area of 5000 km radius around the subsolar point (SSP) was carried out. It is shown by a method of epoch superposition that for all cases the increase of seismicity is observed, especially in the region around the SSP (by 1.4 times) during 10 days after the SF in comparison with preceding 10 days. Based on the field and laboratory results it is clear that the dynamic and electromagnetic (EM) triggering of EQs is possible when the Earth's crust is in the subcritical stress-strain state. Usually, it occurs in the local aftershock areas of strong EQs during the stress redistribution after the main shock. The case study of aftershock sequence of strong M=9.1 EQ (Sumatra-Andaman Islands, 26.12.2004) after the SF of X7.2 class (20.01.2005) demonstrated that the number of aftershocks with M>2.5 increases more than 20 times after the SF with a delay of 7 days. For the case of the Darfield EQ (M=7.1, 04.09.2010, New Zealand) it was shown that strong SFs of class X and M probably triggered three strong aftershocks (M>5.5) with the same delay of 6 days on the Port Hills fault, which is the most sensitive to external EM impact from point

of view of the fault electrical conductivity and orientation. Similar results were obtained for aftershock sequence responses of 7 strong EQs of Northern California to 24 strong variations of the horizontal component dBx of the GMF ($|dBx/dt| > 50$ nT/min) recorded at the Fresno Observatory in the period 1991-2024. The physical mechanism of EM-EQ triggering may be connected with fluid behavior during EM impact, similarly to EQ triggering by strong remote EQ. For verification of this hypothesis a statistical analysis of seismicity was performed at three geothermal fields in Northern California during 24 strong variations of GMF. A statistically significant rise in seismicity of geothermal fields with delay of 2 to 10 days after the GMF variation is shown, when the daily number of EQs exceeds the average number of EQs determined for the previous 15 days, plus a threefold value of the standard deviation. This effect indicates not only the presence of an EQ triggering potential for GMF pulsations, but also the possible role of fluids in the EM triggering of EQs. An approach to obtaining additional prognostic data for short-term earthquake forecast based on the results of reliably recorded seismicity responses to strong external EM impacts is proposed and discussed.

The research was supported by RSF (project No. 24-27-00205).

2.31 Response of near-surface sedimentary rock acoustic emission on a close lightning stroke at “Karymshina” site

Marapulets Yu.V.¹, Rulenko O.P.², Mishchenko M.A.¹

¹ *Institution Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS*

² *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

Disturbances of meteorological values, electric field in the near-ground atmosphere and near-surface sedimentary rock acoustic emission at “Karymshina” site are under investigation. These disturbances were recorded in time vicinity of the lightning stroke, which occurred at the distance of 1.2 km from the site on October 11, 2022. It was discovered from the features of the jump of atmospheric electric field potential gradient that the stroke was from a cloud to the ground with negative charge transfer to it. The

field relaxation time after the stroke was determined. The effective electric conductivity in the cloud, associated with electric losses caused by ohmic and turbulent conductivity, was estimated. It was $2 \cdot 10^{-13}$ S/m.

Anomalous acoustic radiation of the near-surface sedimentary rocks appeared 128 s after the lightning stroke. It was simultaneously recorded by the three-coordinate seismic receiver in the frequency range of 0.5–400 Hz and three spaced acoustic emission receivers at the frequencies of 0.05–10 kHz. The acoustic disturbances recorded by each of four sensors differed in time form and spectrum. These features of sedimentary rock response on deformation can be explained by the difference in composition and size-consist of rocks at sensor installation points.

Possible mechanism of acoustic emission generation in near-surface sedimentary rocks during the electric charge transfer from a lightning cloud is suggested.

This study was supported by the State Assignment of the IKIR FEB RAS, research project registration no. 124012300245-2 and by the State Assignment of the IVS FEB RAS, research project registration no. 124031400016-8.

2.32 Seismogenic effects in the variation of geophysical field before a M6.1 earthquake in the North Tien Shan region

Salikhov N.M.¹, Pak G.D.¹, Nurakynov S.M.¹, Shepetov A.L.^{1,2}

¹ *Ionosphere Institute LLP Aerospace Committee of the Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry*

² *P. N. Lebedev Physical Institute RAS*

Seismogenic effects in the variation of geophysical field before a M6.1 earthquake in the North Tien Shan region On 4 March 2024, an M6.1 earthquake occurred in the seismically active region of the North Tien Shan at the epicentral distance of 12.2 km from the geophysical monitoring complex. In megapolis Almaty city at the distance of 30 km from epicentre this earthquake was felt with intensity of 5-6 MSK-64 scale. The preparation of this seismic event we detected in a real time eight days before the main shock, when a characteristic

cove-like depression appeared in the gamma-ray flux in the borehole at a depth of 100 metres. We detected the preparation processes of this seismic event in real time eight days before the main shock, when a characteristic cove-like depression appeared in the gamma-ray flux in the borehole at a depth of 100 metres, which most likely indicated an approaching earthquake. Previously, we repeatedly recorded similar effects of cove-like decrease of gamma ray flux intensity in the borehole (at the depth of 40 and 100m) before earthquakes of magnitude M4.2-7.1. Seismogenic effects of earthquake preparation in variations of geophysical fields: natural pulse electromagnetic field of the Earth at frequencies of VLF range (7500 Hz and 10000 Hz); electromagnetic signals of ULF range (0,0001 - 20 Hz); intensity of gamma-ray flux in the borehole at the depth of 100 m; Doppler frequency shift (DSF) of ionospheric signal. A temporal conjugacy of the appearance of anomalous effects in variations of electromagnetic waves of the VLF and ULF frequency ranges with the dynamics of the gamma-ray flux in the subsoil layers of rocks at the stage of earthquake preparation has been established. Doppler method of the ionosphere sounding has been applied for investigating the possibility of seismogenic disturbances propagate from the lithosphere to the heights of ionosphere. A sequence of disturbances was revealed: first in variations of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth and gamma-ray flux in the borehole, indicating the activation of tectonic processes in the lithosphere, and then in the DSF of the ionospheric signal and immediately in variations of electromagnetic waves of the ULF range before the earthquake. All observations were carried out taking into account the current geomagnetic situation (<https://ionos.kz/geomagnetic-observatory>). Quasi-simultaneous occurrence of seismogenic anomalies in different geophysical fields indicates the final stage of preparation of a large earthquake.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number AP19678127 "Development of the methods for geophysical fields monitoring in the lithosphere-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system in a seismically hazardous region of Northern Tien Shan"

2.33 Small effects in magnetic measurements at observatories: influence of temperature

*Khomutov S.Y.¹, Gvozdev A.Y.¹, Arora Kusumita²,
Lingala Manjula²*

¹ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

² *CSIR-NGRI, India*

Various aspects of the effect of temperature on magnetic measurements at the observatories Paratunka (IKIR FEB RAS, Russia), Hyderabad and Choutuppal (CSIR-NGRI, India) are considered. Hardware means for monitoring and controlling the temperature in measuring pavilions and outdoor are described. An assessment is made of the possible temperature effects in the measurement results with magnetometers of various types. The complexity of the actual consideration of these effects, aimed at increasing the reliability of the magnetic data obtained, is emphasized. The work of S. Khomutov and A. Gvozdev was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.34 Small effects in magnetic measurements at observatories: possible impact of car traffic on highways

Khomutov S.Y., Gvozdev A.Y.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The increasing of the technical saturation of human activity leads to an increase in the number of possible sources of noise in the measurement results at magnetic observatories. For example, the movement of cars along the highway located near the Paratunka Observatory (IKIR FRB RAS, Kamchatka, Russia) is potentially a similar source. During the workshops held by the observatory staff for the youth events that the Kamchatka Government organized in 2023–2024, direct measurements of signals in a magnetic field that occur at distances up to 40 m from passing cars along the highway

were carried out. The recorded anomalies range from 2 to 120 nT, depending on the distance, type of car and driving direction. In general, the effect decreases as R^{-3} and is not expected to be significant in regular magnetic measurements performed at a distance of about 250 m from the highway. Another effect of the non-magnetic nature is the vibrations of the soil created by multi-ton loaded trucks passing along the highway. These fluctuations are visually noticeable as motion of the pendulum autocompensator of the vertical circle scale of the theodolite 3T2KP used for absolute observations, and can manifest themselves as fluctuations of magnetic sensors on the gimbal in the magnetometers FGE-DTU and dIdD GSM-19FD. The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.35 Spectral method of direction finding of VLF radiation sources

Malkin E.I.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The antenna complex, azimuth determination methods, complex calibration and checking processes are described in detail. The developed method for azimuth determination based on electromagnetic signal spectral components is described. The spectral method involves determination of the azimuth from VLF spheric spectral component values. Special attention is given to the validity test of the obtained data. As the result, the data bases obtained from the observation complexes of AWDANet, WWLLN and the VLF direction finder were synchronized. Tests on the control sample showed that this method error is $\sim 0.2^\circ$.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

2.36 Study of polarization jet/SAID based on measurements by Russian satellites Ionosfera-M

*Sinevich A.A.^{1,2}, Chernyshov A.A.¹, Chugunin D.V.¹,
Pulinets S.A.¹, Tsybulya K.G.³, Mogilevsky M.M.¹*

¹ *Space Research Institute*

² *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation RAS*

³ *Institute of Applied Geophysics*

Polarization Jet (PJ, also known as Subauroral Ion Drift, SAID) is a phenomenon occurring in the subauroral ionospheric plasma, representing a narrow band of strong westward drift of ions at F-layer altitudes near the boundary of the plasmopause projection. In this paper, measurements of the LAERT ionosonde on board the Ionosfera-M satellite are used for the first time to study the PJ/SAID structure. In addition, a comparison made with measurement data from other instruments on various satellites, as well as with measurements from ground-based ionosondes. The IonoZond project is aimed at solving the problems of monitoring near-Earth space and fundamental research into space plasma and wave processes in it. Each satellite of the IonoZond satellite system carries a satellite ionosonde LAERT, which allows sounding the ionosphere above any point on the earth's surface. Polarization Jet (PJ), known as SubAuroral Ion Drift (SAID), is formed in the subauroral region of the ionosphere (geomagnetic latitudes 70°-50°) and is a narrow in latitude (1°-2° latitude) band of strong ion drift to the west at F-layer altitudes near the boundary of the plasmopause projection. The ion drift velocity in such a band can reach several kilometers per second, and the irregularities of the plasma parameters inside can have scales up to tens to hundreds of meters. Such high velocities and such plasma structuring affect the passage of a radio signal and are manifested in ionograms obtained by ground-based ionosondes. However, studying the PJ/SAID parameters with ground-based ionosondes is difficult, since this requires the geographic location of the PJ/SAID to coincide with the direction of ionosonde sounding, which is quite rare. In addition, sounding from the Earth is limited by the height of the main ionospheric maximum, which does not allow studying PJ/SAID in the upper part of the F-layer at the height of ionospheric satellite measurements (450-800 km). Sounding

carried out by an onboard ionosonde from the orbital altitude of the Ionosfera-M spacecraft (800 km) allows obtaining ionograms of the upper part of the ionosphere F-layer in the PJ/SAID band over any geographic point (including over the ocean) and comparing them with measurement data from other satellites equipped with driftmeters and Langmuir probes. In addition, this makes it possible to simultaneously sound PJ/SAID by a ground-based and onboard ionosonde.

2.37 Synchronous neutron multiplicity events on two neutron monitors

Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevskiy B.B.

Polar Geophysical Institute

In the Cosmic Ray Laboratory in Apatity, two different recording devices (a conventional neutron monitor (NM) and a lead-free NM section) are combined into a single detector by a high-speed recording system. The high-speed system was developed at PGI, it is common for both devices and records the occurrence of each pulse with an accuracy of 1 mcs. GPS signals are used. The differences between the standard NM and the lead-free section are in the energy ranges in which they effectively record neutrons. The standard NM is effective for particles with energies from 50 MeV to several GeV and more. The lead-free section of the NM is sensitive to thermal neutrons and neutrons with energies up to hundreds of keV. Both devices are located in the same room. An event of multiplicity of the number M on the NM is the registration of M neutrons in a time of about 1-2 ms, while the average interval between neutron registrations is 7-9 ms. The probability of such an event as a result of a random coincidence is very small and quickly decreases with increasing M; at $M > 10$, such events are possible no more than once a year by chance, while in reality they are registered every minute. It is believed that multiple neutrons arise both in the lead shell of the NM from a single high-energy particle and are formed in the atmosphere, including during extensive air showers. In the second case, they are called hadron showers. Note that the external polyethylene protection of the NM prevents the neutrons formed in the lead from escaping. Simultaneous registration of multiplicity events on the NM and lead-free section indicates that

such multiplicity events originated from neutron clouds covering both devices. Hadron showers contain neutrons and nucleons of different energies. A method for searching for simultaneous multiplicities on two devices has been developed. The NM and lead-free section data have been processed for a number of years, which amounted to more than 1000 days. Multiplicity events that are simultaneous on the NM and lead-free section have been selected. Analysis of the selected multiplicity events shows that they have parameters that differ from the average multiplicity events on the NM itself. Firstly, this confirms the different nature of the multiplicity events: multiplication inside the lead or an external source of multiple neutrons. Secondly, it allows distinguishing between the sources of multiple neutrons: cosmogenic or local. Thus, a pair of detectors—a neutron monitor and a lead-free section—makes it possible to determine the sources of neutron bursts near the earth’s surface.

2.38 The Earth’s atmosphere cosmic ray ionization estimation for the high latitude region during solar proton events

Maurchev E.A.¹, Didenko K.A.²

¹ *Polar Geophysical Institute*

² *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS*

The Arctic region of the Russian Federation is located in the area of high latitudes, in which the value of the vertical geomagnetic cutoff rigidity takes small values (no more than 0.65 GV). At the boundary of the magnetosphere, there is always a galactic cosmic ray proton flux (GCR), which is continuous and isotropic. Depending on their energy, these particles can reach the boundary of the atmosphere (in this work, 100 km) and interact with oxygen and nitrogen nuclei through either a simple process, ionization, or a more complex cascade process, down to ground level. On average, solar cosmic rays (SCR) have a relatively low-energy spectrum (from units of MeV to a maximum of 5 GeV), but at the same time their absolute flux value significantly exceeds the GCR flux (up to several orders). At the same time, these particles, as well as GCR, interact with the Earth’s atmosphere and cause an

increase in the ionization rate in the altitude range from 10 km to 100 km, which, in turn, affects both an increase in the equivalent radiation dose and chemical processes. In this paper, we consider examples in which the differential energy spectra of protons of primary SCR were calculated for events of 24-25 cycles of solar activity and their effect on the ionization rate is estimated. Altitude profiles for various values of vertical geomagnetic cutoff rigidity are presented.

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant No 25-17-20038), <https://rscf.ru/project/25-17-20038/>.

2.39 The behavior of the high-latitude ionosphere during the magnetic storm of May 10-13, 2024 in the western part of the Arctic region of Russia

*Zagorskiy G.A., Mingaleva A.O., Blagoveshchenskaya N.F.,
Kalishin A.S., Egorov I.M..*

Arctic and Antarctic Research Institute

This work presents data characterizing the behavior of the high-latitude ionosphere in the western sector of the Arctic zone of Russia during the May superstorm of 2024. The data were obtained using ionosondes installed at the Rosgidromet station network, which conducts continuous oblique and vertical sounding (OSI and VSI) at a frequency of 4 times per hour, as well as riometers that record data every minute. For the analysis, data describing geophysical conditions and solar and solar wind characteristics before and during the storm were considered. The analyzed data covers the period from May 10 to May 13, 2024.

Prior to this analyzed period, several coronal mass ejections (CME) from the Sun occurred from May 8 to May 10. As a result, on May 10, between 17:00 and 17:15 UT, a sharp change was recorded in the region of negative values of the SYM-H and DST index, and at the same time, a flow of energetic protons with energies exceeding 10 MeV reached the Earth, leading to a prolonged disappearance of reflections from the F2 layer, as clearly seen in the VSI data.

It is particularly important to note that in the evening and nighttime hours, the propagation of radio waves along high-latitude

paths occurred exclusively due to reflections from the sporadic E-layer. This observation is supported by riometric measurements collected from the station network, indicating the presence of energetic proton bursts at high latitudes. The results of the analysis highlight the significant importance of geomagnetic storms for ionospheric processes, their enormous impact on radio communication in the Arctic region, and also demonstrate the continued relevance of ground-based methods for diagnosing ionospheric parameters.

2.40 The influence of disturbances in the Earth's magnetic field on the seismic situation in the territory of the Republic of Azerbaijan

*Bayramov A.A.¹, Abdullayev F.N.¹, Suleymanov S.S.¹,
Yetirmishli G.Dj.¹, Mikailov Kh.M.²*

¹ *Republican Seismic Survey Center of the Azerbaijan National
Academy of Sciences*

² *Baku State University*

The problems concerning the connection between the seismic situation in one or another region of the Earth and geomagnetic disturbances are among the most pressing in the field of interaction of geophysical fields and the physics of earthquake precursors. Mechanical effects at the source of an earthquake, variations in the electrical properties of the medium, excitation of powerful seismic signals and other factors influence the regimes of geophysical fields, including the geomagnetic field. Despite the large number of scientific publications, there is still no generally accepted consensus on solving this problem. Therefore, there is a need for additional research in this direction. At the Republican Center for Seismological Service at the National Academy of Sciences of Azerbaijan, with the support of the Science Development Fund, among others, research is being conducted on the influence of geomagnetic disturbances of the Earth on the intensity of earthquakes in the territory of the Azerbaijan Republic. For the period from January to December 2024, measurements were taken of the intensity of earthquakes with a magnitude M_L in the range of 3.0 - 5.3 and the intensity of a geomagnetic storm of variations in the Earth's magnetic field with an impact index G in the range of 2 - 5.

The analysis of the first research results shows that, as a rule, 5–8 days before magnetic storms with $G = 3-4$, earthquake foreshocks occur at depths from 50 km to 70 km, and after magnetic storms, aftershocks occur at shallower depths from 13 km to 20 km. The authors put forward two probable reasons for these phenomena: 1) geomagnetic storms, interacting with powerful flows of electric fields in the Earth's crust, cause aftershocks and shifts of tectonic plates; 2) geomagnetic storms cause high temperature gradients in the Earth's interior at the edges of tectonic plates. This factor may be associated with the Ettingshausen effect: the effect of the appearance of a temperature gradient in a conductor located in a magnetic field through which an electric current flows. At the same time, if the current flows along the X axis, the magnetic field is directed along the Y axis, then a temperature gradient will appear along the Z axis. The temperature gradient, in turn, creates tension forces between structures (tectonic plates). As a result, aftershock occur with a delay of several days. Note that this is only one of the factors that causes earthquakes.

2.41 Why aren't all Forbush effects associated with geomagnetic storms?

Shlyk N.S., Belov A.V., Abunina M.A., Belov S.M.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS

Forbush decreases in galactic cosmic rays (according to data from a network of neutron monitors) and accompanying geomagnetic disturbances over a long period from 1957 to 2022 have been identified and studied. Statistical relationships between various parameters of cosmic ray flux and geomagnetic activity indices are analyzed. It has been established that the magnitude of Forbush decreases depends nonlinearly on the class of geomagnetic storm. A moderate correlation is found between the extreme values of various geomagnetic activity indices (Ap, Kp, Dst) and the characteristics of cosmic rays. It is also shown that the simultaneous registration of extreme values of cosmic rays and geomagnetic activity parameters does not always occur but depends on the sign of the Bz-component of the interplanetary magnetic field in a particular event.

2.42 Statistical analysis of abnormal phase-shift quiet days in low/mid-latitudes during low and high solar activities in solar cycle 24

Ali M.^{1,2}, Nahayo E.², Katamzi-Joseph Z.^{1,2}, Tshisaphungo M.²

¹ *Rhodes University, Makhanda 6140, Eastern Cape, South Africa*

² *South African National Space Agency (SANSA), Hermanus, 7200, Western Cape, South Africa*

Abnormal Phase Shift Quiet Days (APQDs), phase shifts observed in the regular normal quiet day variations of the horizontal component of the Earth's magnetic field, have been compared statistically during low (2009) and high (2015) solar activities. 1-min data from 15 pairs of INTERMAGNET conjugate geomagnetic observatories were used. Quiet days were selected using a 1-minute Symmetric-H (SYM-H) index, $|\text{SYM-H}| \leq 10$ nT. Hourly values of Solar quiet (Sq) variations of the horizontal H-component, used to identify APQDs, were calculated after data conversion to local solar time and correction for non-cyclic variations. Sq focus positions have been calculated and cross-examined with the equivalent current vectors. Seasonal deviations of Sq focus positions from normal Sq focus magnitude latitudes ($\pm 30^\circ$) have been analyzed for three longitude sectors selected between ($\pm 60^\circ$) magnetic latitudes (North/South America, Europe/Africa, and Asia-Japan-Australia). The results show that most variations of Sq focus positions in 2009 were in the D-season (Jan, Feb, Nov, Dec) and J-Season (May, Jun, Jul, Aug), and the highest percentage occurrence of normal Sq focus positions in 2009 and 2015 in the Northern Hemisphere (NH) were 3.8% and 8.3% in the E-Season (March, April, September, October) and D-season, respectively. In the D-season, the highest occurrence of APQDs at Low-Latitudes ($|LL| \leq 30^\circ$) in 2009 and 2015, 30% and 31% of APQDs were identified in the NH, and in the Southern Hemisphere (SH), 9% and 13%, respectively. At Mid-Latitudes ($30^\circ \leq |ML| \leq 60^\circ$), the highest occurrence of APQDs in 2009 were identified in the D-season with 23% and 28% in the NH and SH, respectively. In 2015, the highest APQDs were identified in the E-Season, 14% and 24% in the NH and SH, respectively. The ML observatory of CZT had unusually higher APQD percentages of 57% and 71% in 2009 and 2015, respectively. At LL, a South Atlantic Anomaly observatory HUA showed a relatively higher percentage of APQDs in 2009 with 11% and anomalous APQD amplitudes ranging between 45 to 138

nT. At the normal Sq focus positions, in 2009, 9 and 5 APQDs were identified in the NH and SH, respectively, and in 2015, only 4 APQDs were identified in the NH.

3 Physics of earthquake precursors

3.1 Comparative analysis of numerical methods for solving a mathematical model of high-frequency geoacoustic emission

Sergienko D.F.^{1,2}, Parovik R.I.^{1,2}

¹ *Vitus Bering Kamchatka State University*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The mathematical model of high-frequency geoacoustic emission is based on a system of coupled oscillators described by linear ordinary differential equations of the second order with variable coefficients demonstrating asymptotic attenuation. Each equation of the system simulates a separate emission pulse with unique parameters, while the energy exchange between the pulses is determined by the linear coupling coefficient. A quantitative and qualitative analysis was carried out for the mathematical model, and it was proved that the mathematical model can be rigid for certain parameter values. The paper presents a study in the Python programming language of four numerical methods for solving a mathematical model of high-frequency geoacoustic emission: the Rosenbrock 4th order of accuracy method, Radau, BDF, and LSODA. The Rosenbrock method is implemented on Python, the Radau, BDF, and LSODA methods are taken from the Scipy Python library. The paper presents the theory of each numerical method, which makes it possible to justify the choice of methods for solving the problem. The purpose of the work is a comparative analysis of their effectiveness according to the criteria of accuracy, stability and computational complexity. In Python, the accuracy order of the methods was evaluated using the Runge rule, and their characteristics were analyzed when solving the system. The results of the study are visualized graphically in the form of waveforms, spectra, phase trajectories, as well as graphs of the order of accuracy depending on the calculation step under various conditions: stiffness, instability, etc. According to the results of the study, the Rosenbrock method provides high accuracy for various parameters of the model, while the order of the other methods has an experimental order lower than the theoretical one. The study will allow choosing the most appropriate numerical method for analyzing geoacoustic processes and can be used in predicting deformation phenomena in rocks.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.2 About application of the heredity mathematical model for estimation of radon flux density changes in the temporal vicinity of strong earthquakes in the Kamchatka

Tverdyi D.A.^{1,2}, Makarov E.O.², Parovik R.I.¹

¹ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

² *Digital technologies and artificial intelligence development research
institute*

³ *Kamchatka Branch of the Federal Research Center “Unified
Geophysical Service RAS”*

For Kamchatka region the problem of seismic activity has the highest priority, as Kamchatka peninsula is located in one of the most earthquake-dangerous regions of the Earth. One of the methods of studying such processes is monitoring of changes in radon gas concentration. In the study, using experimental data of volumetric radon activity (RVA) obtained from observation points of the Petropavlovsk-Kamchatka geodynamic polygon, the change of radon flux density (RFD) due to the impact of seismic waves and postseismic relaxation of the medium is shown. Mathematical modelling of the process of radon accumulation in the accumulation chamber at the observation point is carried out. As a model we consider an heredity $\alpha(t)$ -model of RVA based on the method of fractional derivative to take into account the non-locality of the process of radon mass transfer in the geosphere, where the variable order of the derivative is related to the intensity of the process. The coefficient inverse problem is formulated and solved to select optimal values of some model parameters. The obtained model RVA curves are in good agreement with real data, and the obtained estimates of RFD are in agreement with the theory.

The work was carried out of the state assignment of IKIR FEB RAS (No. 124012300245-2).

3.3 Applying neural network methods for acoustic signals processing in earthquake prediction

Korochentsev V.I.¹, Shevkun S.A.¹, Gubko L.V.¹, Chen Xiao Lei²

¹ *Far Eastern Federal University*

² *China Harbin characteristics technology Co., Ltd.*

During seismological observations, intense man-caused interference has a negative impact. However, man-caused interference can be used as a sensing signal to create additional seismic “illumination” of the geo-environment and identify inhomogeneities with strong scattering and reflecting properties. There is a well-known experiment at one of the deposits in Western Siberia to study changes in the acoustic signal caused by surface vibration. The vibration effect was carried out with a frequency in the range of 10-33 Hz. The main result of the conducted research was instrumental confirmation of the possibility of initiation of internal acoustic vibrations by exposure from the surface. In this paper, it is proposed to use the registration of changes in the characteristics of the response to vibration as precursors of an earthquake. In terms of signal reception, it is proposed to use the experience of downhole geoacoustic monitoring conducted on the territory of the Petropavlovsk-Kamchatsky geodynamic polygon. Mathematical modeling using neural networks has been carried out, and a method for processing the recorded acoustic signal has been proposed in order to identify signs of a change in the spatial location of inhomogeneities in the geo-environment. This work has been supported by the grant FZNS-2023-0008.

3.4 Changes in the axes of the principal stresses as a possible cause of pre-seismic anomalies in the direction of geoacoustic radiation at the Mikizha observation point

Gapeev M.I., Marapulets Yu.V., Solodchuk A.A.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Mechanical processes that determine and accompany the preparation of a tectonic earthquake lead to a change in the stress-strain state of the earth's crust. These changes are the cause of anomalies in various geophysical fields. If they occur before earthquakes, they are classified as precursors. Among the identified pre-seismic anomalies in geophysical fields in Kamchatka, a high-frequency acoustic emission effect was discovered. It consists of an increase in the geoacoustic radiation intensity with an increase in the rock deformation rate. This effect is most clearly manifested in the kilohertz frequency range one to three days before earthquakes at a distance of the first hundreds of kilometers from their epicenters. It is shown that with the effect, a strongly marked unevenness of the azimuthal distribution of geoacoustic radiation also occurs. It is caused by the orientation of the sources of acoustic oscillations in the stress field of near-surface sedimentary rocks.

To compare the identified maxima of the geoacoustic radiation azimuthal distribution with the orientations of the principal stresses axes of rocks during the earthquakes preparation, mathematical modeling of the stress-strain state of the earth's crust was performed. Calculations were carried out within the framework of a static elastic model. The earth's crust was represented as an isotropic elastic half-space. The source of the preparing earthquake was represented as a combination of double pairs of forces, the intensity of which was selected in accordance with the components of the seismic moment tensor. A strain amplification factor based on an estimate of the potential energy accumulated during the preparation of the earthquake was also introduced into the model. The modeling was carried out for Kamchatka earthquakes that occurred between 1986 and 2020. The data on them, including an experimental estimate of the seismic moment tensor, were taken from the "Global Centroid Moment Tensor Catalog". Based on the modeling results, azimuthal distributions of the

direction of the main stresses axes corresponding to compression and tension were constructed. It was shown that the modeling results are consistent with the identified the azimuthal distribution maxima of geoacoustic radiation recorded at the observation point “Mikizha”.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.5 Development of methods for analyzing electrotelluric potential measurement data

*Zakupin A.S., Stovbun N.S., Bogomolov L.M., Kostylev D.V.,
Dudchenko I.P., Gulyakov S.A.*

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS

The paper presents the results of processing electrotelluric potential data at the Yuzhno-Sakhalinsk geodynamic polygon. The measurements have been carried out since June 2023, and based on the preliminary results that were presented in 2024, they are currently being identified with monitoring of the seismogenerating segments of the nearest fault and short-term earthquake forecasting. The proposed methods and tools used in our measurements are innovative for this area, including the nature of the precursors. The harbinger is defined unambiguously and consistently. At the first stage, it manifests itself in the appearance of a certain (unambiguously allocated bandpass filter) noise component at night. This nocturnal component (in accordance with sunset and sunrise in local time) is represented by quasi-periodic pulses lasting 2-3 seconds. After the first appearance, nighttime noise can exist for a long time (many months), and every day, and the pulse parameters practically do not change. At the second stage (a few weeks before the earthquake), the duration of the signal, the period of its repetition, the shape and amplitude of the pulse change in the night noise. Before the earthquake itself, all the observed changes reach a maximum. Currently, over two years of measurements at the Yuzhno-Sakhalinsk geodynamic polygon, two earthquake retrospective prediction episodes have been identified in the near zone (up to 20 km) of the April fault (South of Sakhalin Island). The earthquakes occurred on August 9, 2023 (M=3.4) and January 24, 2025 (M=2.1), and the precursor texture correlates with the energy of the event. The paper

also provides a detailed analysis of the seismogenerating segments of the April fault closest to the registration point, which clarifies that these two earthquakes are the only independent ones (codependent ones are excluded from consideration) for all time. Despite the fact that there are also two precursors and they perfectly coincide with seismic events, the correlation between the two processes is obviously very high.

3.6 Features of the development of the seismic process before the earthquake doublet in Turkey (02/06/2023, Mw=7.8, Mw=7.6)

Zakupin A.S.

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS

The paper presents the results of a study of the seismic process in the area of the East Anatolian Fault (Turkey), where two catastrophic earthquakes (doublet) occurred in February 2023. Activity graphs have been plotted for six regions centered at the epicenter of the first earthquake. Characteristic periods with a constant velocity of the seismic process and transition points are highlighted. Local activations were detected in 2012 and 2022, which are confined to the epicenters of the doublet and are dominant throughout the first hundreds of kilometers along the fault. All the activations were confined to the same area slightly east of the epicenter of the first February earthquake. It is shown that these activations do not correspond to the standard scheme of operation of a seismic source, that is, they do not have an unambiguously definable main event and a characteristic aftershock process. The spasmodic process of activity in 2022 ended 40 days before the earthquakes doublet, and can be considered as a short-term predictive sign. The main characteristics of such a short-term anomaly in seismic activity are a reduction in the duration of each subsequent activation and a decrease in the time between them. The local activation in 2012, judging by the distribution of earthquake epicenters, is probably the initial stage in the development of the process, which was continued in 2022.

3.7 Geoacoustic observations at the remote point “Krutoberegovo”

Mishchenko M.A., Senkevich Yu.I.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

In the north of Kamchatka, the Krutoberegovo observation point has been monitoring geoacoustic emission signals since the fall of 2021. An almost two-year continuous series of acoustic data has been accumulated. Geoacoustic emission is considered as a stream of acoustic pulses. The results of the analysis of the dynamics of the pulse amplitude distribution and their comparison with the regional seismic catalog are presented.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.8 Instanton pattern of foreshock - aftershock events flow (unified kinetic approach)

Bogomolov L.M.¹, Rodkin M.V.^{1,2,3}, Sychev V.N.¹

¹ *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS*

² *Schmidt Institute of Earth Physics RAS*

³ *Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical
Geophysics RAS*

Instantons are temporally localized perturbations of physical fields, which are considered in numerous fields of theoretical physics as a simplified model of transient processes. The name “instantons” emphasizes their similarity with solitons, i.e. spatially localized wave disturbances, which manifests itself when replacing the current x coordinate with time t in the waveform equations. The treating of the process of earthquake preparation and realization as a transition between the states “before” and “after” the main event is quite trivial when considered at a qualitative level. But the quantitative description of foreshocks and aftershocks is usually carried out separately. The use of kinetic equations with instanton solutions for modeling the flow of seismic events before and after the main shock enables to

unify the description of foreshock and aftershock sequences. The likeness of these sequences is already visible from the similarity of mathematical expressions for the direct and inverse Omori-Utsu laws. An even closer analogy between them has been shown by studies of the generalized vicinity of a large earthquake (GVLE). It was demonstrated convincingly that the similarity also extends to anomalies in the b-values and to a number of other activation characteristics. Meanwhile, all GVLE anomalies allow for a quantitative parameterization. In different cases the variations occur, of the parameters of the corresponding regressions and characteristics such as a certain average ratio of the number of foreshocks and aftershocks. We use the empirical patterns obtained in the GVLE to select parameters of the instanton model. The aim of the presentation is to demonstrate the mentioned and other advantages of the instanton model using the example of earthquakes in the southern part of Sakhalin Island in 2003-2022. Empirical temporal dependences of seismic activity were constructed for the area 44.5° - 50.5° N., 141.5° - 143.5° E. The satisfactory correspondence of time dependencies in the interval 20 days before and after from the main event is provided by relatively simple kinetic equations of the first order. More complicated second-order equations allow us to describe the well - known generalization that the number of aftershocks and the period of their activity are greater than for foreshocks. The instanton model naturally modifies the model of self-developing processes (SDP), within which the stage of explosive growth in the number of foreshocks before the main event is highlighted, which may be used as an indicator for a seismic prediction. The realization of the SDP is nothing more than a well-known case of blow-up regimes. The principal problem of the SDP is the unlimited growth of activity described by this model, i.e. the singularity of the solution, before or at the time of the main event does not correspond to real observations. The instantaneous model is able to eliminates this contradiction.

3.9 Investigation of radon volume activity dynamics taking into account the stressed-deformed state of geomedium

Skovpen G.A.¹, Parovik R.I.²

¹ *Vitus Bering Kamchatka State University*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The emanation method for studying radon migration properties was originally used to search for uranium ores, but its application has expanded. The method employs mathematical models to analyze the distribution of radon in soils, rocks, atmosphere, and other materials, which is important for understanding radiation exposure and protection in buildings and structures as well as predicting geodynamic processes associated with seismic activity and rock bursts in mines.

In this case, we will consider the following problem:

$$\frac{dC(t)}{dt} = -\lambda C(t) + q(t), \quad C(t_0) = C_0, \quad (2)$$

where $C(t)$ – represents the concentration of a radioactive component per unit volume in porous geological medium, particles/m³; $t \in [t_0, T]$ – denotes time over which the process is considered; t_0, T – are initial and final moments of time, s; $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6}$ – is the constant of radioactive decay, s⁻¹; $q(t) = q_0 \cdot \exp(f(\sigma(t)))$ – is the source function representing the input of the radioactive component under stress conditions determined by the function $f(\sigma(t))$, q_0 –stands for the intensity of radon emanation in an unstressed state.

The Cauchy problem(2) can be rewritten in terms of VRA (Volume Radon Activity Rate) due to the fact that it is usually measured at points of radon monitoring registration. To transition to VRA, one must use the formula from:

$$A(t) = \frac{\lambda C(t)}{\eta},$$

where η is the porosity coefficient.

The novelty of this work lies in a new approach regarding terms related to volumetric activity of radon, leading to new challenges for analysis. Model calculations were compared with real data to verify their accuracy and relevance.

Funding. State assignment of IKIR FEB RAS No. 124012300245-2. Topic «Interaction of physical processes in the system of near space and geospheres» (2024-2028).

3.10 Lithospheric-ionospheric interaction and its accompanying phenomena

Shevtsov B.M., Sheremetyeva O.V.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

A complex of physical processes generating the interaction of the lithosphere and ionosphere is considered. Stresses in the Earth's crust that cause plastic deformations are accompanied by dislocation changes that generate electric current pulses. The generation of electric current in rocks leads to the volumetric separation of electric charges and their release to the earth's surface. Due to the low conductivity of the lower atmosphere, a volumetric electric charge is formed at the earth's surface (electrode effect), and due to displacement currents, a volumetric electric charge of the opposite sign is formed in the lower ionosphere. Above the sea surface, atmospheric electrification proceeds similarly. The configuration of volumetric electric charges in the atmosphere is supported by the generation of electric current in rocks. Electric charges near the earth's surface can be centers of concentration of water vapor, and the heat of evaporation released at the same time can cause temperature fluctuations and flickering of thermal radiation from the atmosphere. At the same time, volumetric charges in the ionosphere can be the cause of precipitation of charged particles from radiation belts. The totality of these weak and unstable physical processes is considered as a complex of precursor critical earthquake preparation phenomena. Long-term observations of these processes have allowed us to establish the probabilities of their occurrence, which can be used to predict seismic events.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.11 Multiparametric monitoring in the strong earthquake forecasting system in Kamchatka

Kopylova G.N., Serafimova Yu.K.

Kamchatka Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service RAS”

Since the end of the 1970s, comprehensive observations have been conducted in Kamchatka to study earthquake precursors. A special feature of the multiparametric network of geophysical and geochemical observations is its location on a small territory of the Petropavlovsk-Kamchatsky testing site (PKTS). The aim of the study is to investigate the effect of integrated manifestation of precursors (EIMP) in multiparametric data to ensure the forecast of a strong earthquake that is dangerous for the population and infrastructure of the Petropavlovsk-Yelizovo agglomeration. By EIMP we mean the early manifestation of at least 80 percent of the types of precursors from their entire set under consideration. Using published materials, an analysis of the EIMP before shallow-medium focus earthquakes with magnitudes $M_w=6.6$ and more was performed based on data on five types of precursors in 1987-2004 and on fourteen types of precursors in 2005-2022. During 1987-2022, seven earthquakes occurred before which the EIMP was recorded. The parameters of such earthquakes were estimated: magnitudes $M_w=6.6 - 7.8$, hypocentral distances to the center of the PKTS $d_h=110-210$ km, the ratio of the hypocentral distance to the size of the earthquake source L , km (Zavyalov, Zotov, 2021) $d_h/L=1.6 - 3.8$, ratio $M_w/\lg d_h=3.08-3.39$. All such earthquakes were accompanied in the territory of the PKTS by tremors with an intensity of 4.5 – 5.5 points on the MSK-64 scale. An exception is the earthquake of March 8, 1999, $M_w=7.0$, $d_h/L=2.8$, which occurred 15 months after the strongest Kronotsky earthquake against the background of post-seismic deformation and hydrogeological processes. Before this earthquake, there was no EIMP. The prospects of using the EIMP in the earthquake forecasting system for a more substantiated assessment of the magnitude and distance of an expected strong earthquake are discussed, in comparison with the capabilities of individual seismic forecasting methods and theoretical assessments of the preparation zone of a strong earthquake, in particular, according to the “Dobrovolsky formula”

3.12 Neural-detector of high-frequency acoustic emission anomalies in periods preceding and following Strong earthquakes in Kamchatka

Senkevich Yu.I.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

There are represented the developing results of the deviations classifier of a high-frequency acoustic emission signal characteristics in periods preceding strong earthquakes and periods following such earthquakes using artificial intelligence methods.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.13 Numerical estimates and laboratory studies of the thermal mechanism of electromagnetic earthquake initiation

Novikov V. A.^{1,2}, Kulkov D. S.³, Parov S. V.³, Gorynin I. P.³

¹ *Joint Institute for High Temperatures RAS*

² *Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS*

³ *Research Station RAS in Bishkek. Kyrgyzstan*

Annotation. Despite the large volume of field experiments and observations performed, as well as laboratory studies that have confirmed the existence of electromagnetic earthquake initiation, the physical mechanism of this phenomenon is still unclear, which hinders its practical use in order to reduce seismic hazards, both in terms of artificial electromagnetic discharge of tectonic stresses, and in terms of short-term earthquake prediction under electromagnetic the trigger effect of strong variations in the natural geomagnetic field on the earthquake source. In this paper, we consider the previously proposed hypothesis of a thermal trigger mechanism of electric current action on porous fluid-saturated rock, when Joule heating of fluid (mineralized water) in pores and cracks leads to an increase in intrapore pressure and a decrease in the effective strength of the rock. Numerical estimates of current flow in a porous fluid-saturated medium have

shown that the increase in fluid temperature and, as a result, its pressure in the pores is several percent, which may explain the trigger effect of electric current when the geomedia is in a stress-strain state close to the ultimate strength of rocks. These results were confirmed in experiments on a uniaxial press with cylindrical samples of artificial sandstone and marble in the form of a rectangular parallelepiped with a square section with different porosity, as well as in experiments with a model slit cavity simulating a crack or a pore. Numerical estimates and laboratory experiments show that the hypothesis of the thermal trigger effect of electric current on rocks can be accepted as a working hypothesis for further study in laboratory experiments on a press and a spring-block model of a seismogenic fault to determine the threshold values of the shear stress level and the magnitude of the electric current in the model fault, leading to a trigger effect.

3.14 Properties of the deformation process in the phases of foreshocks and aftershocks for the subduction zone of the Kuril-Kamchatka island arc determined by fractional parameters of empirical cumulative distribution functions

Sheremetyeva O.V., Shevtsov B.M.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The study is carried out within the framework of a fractional model of the deformation process in a seismically active region. The compound Poisson power-law process in a fractional time representation is considered as a model. The probabilistic characteristics of this process are expressed by the Mittag-Leffler function with a power-law argument, which takes into account the power-law frequency distribution of events. To verify the model, data from the earthquake catalog of the Kamchatka Branch of the Federal Research Center «Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences» for the period from 1 January 1962 to 31 December 2002 for the subduction zone of the Kuril-Kamchatka Island arc are used. The calculation of the empirical cumulative distribution function (eCDF) of foreshocks

and aftershocks is carried out on the basis of two algorithms, the first of which considers events that correlate only with the mainshock based on the accepted criteria of spatial, temporal and energy connectivity of events. The second algorithm takes into account the branching of the process, considering events statistically related to both the mainshock and those related to the main one. The eCDF are approximated by the three-parameter Mittag-Leffler function. The values of the fractional parameters characterize the properties of the hereditary and non-stationary of the deformation process in a seismically active region. The values of the fractional parameters of the eCDF of the distribution of foreshocks and aftershocks using two algorithms are compared and conclusions are drawn about the influence of the class of the mainshock on their values.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.15 Search for ULF signals from lithospheric sources using magnetotelluric data

Pilipenko V.A.¹, Zinkin D.V.¹, Shlykov A.A.², Kasimova V.A.³

¹ *Institute of Physics of the Earth RAS*

² *Saint Petersburg State University*

³ *Kamchatka Branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service RAS"*

The main problem in studying electromagnetic disturbances associated with seismic activity is the development of effective algorithms to distinguish these impacts from natural or man-made activities. The method we propose is based on the features of hypothetical signals of seismic origin and requires the simultaneous use of both magnetic and electric components of the ultra-low-frequency (ULF) signal. The proposed approach provides a possibility of discrimination between magnetospheric-ionospheric and seismogenic disturbances by the apparent impedance of disturbances (i.e. the ratio of spectral amplitudes of the electrotelluric and magnetic components). For theoretical justification of the method, electromagnetic fields in the earth-atmosphere system created by an underground horizontal current source of finite length were calculated. Modeling allowed

us to consider in detail the characteristic features of the ULF response to an underground large-scale emitter, which can be used to search for electromagnetic precursors of earthquakes. Numerical calculations show that the apparent impedance of the electromagnetic field of an underground source on the earth's surface is an order of magnitude higher than the impedance of the Earth, which can be used to discriminate disturbances from seismogenic sources. It was also predicted that, with the same value of horizontal magnetic disturbance, an underground source creates a much larger vertical electric field E_z in a borehole than a magnetospheric-ionospheric source. However, all these features are manifested only in the vicinity of the lithospheric source (<30 km for a depth of 20 km). The impedance method for detecting anomalous signals of lithospheric origin has been tested using magnetotelluric observations at the Verkhnyaya Paratunka observatory in Kamchatka.

3.16 Seismic measurements by means of laser strainmeters

Dubrov M.N.¹, Aleksandrov D.V.¹, Larionov I.A.²

¹ *Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS,
Fryazino Branch*

² *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

The study of wave movements of the Earth's surface caused by earthquakes, volcanic eruptions and powerful dynamic processes in the Earth's atmosphere and the World Ocean is an important section of experimental seismology and the physics of earthquake genesis. Data obtained using deformation measuring devices - laser strainmeters - serve as a significant addition to geophysical information, the main source of which are various types of accelerometers, seismometers, and geophones. The results of our work carried out over many decades on the development and application of extended laser interferometers-strainmeters for seismic observations are presented in this report. The studies use two basic instrument designs: 1) strainmeters built using the classical equal-arm or modernized unequal-arm Michelson interferometer; 2) strainmeters based on a laser interferometer with

optical feedback. A description is given of the installation schemes for the instruments that are part of the laser interferometer-strainmeter system with a spatial separation from 400 m to 6.7 thousand km. Deformations of the earth's surface caused by seismic and acoustic vibrations are recorded in order to isolate weak geophysical signals from random interference. The use of frequency-stabilized and temperature-controlled lasers, as well as systems for measuring interferogram shifts of compensation and modulation types, ensures absolute instrumental resolution of 0.1...0.01 nm on measuring bases of 3-300 m, protected by an air-filled pipe when they are placed above ground or underground in thermally stable conditions. The errors in measuring deformations due to instability of the optical length of the measuring arm of the interferometer and laser frequency fluctuations are analyzed. The main characteristics of the strainmeters are confirmed by the results of recording real geophysical processes. The minimum amplitude of measured relative deformations is at the level of $\epsilon=10(-11)-10(-12)$ and is limited by the background of local microseismic noise. The results of observation of anomalous seismic processes preceding and accompanying the strongest earthquakes of past years are demonstrated, including the two most recent destructive earthquakes: 06.02.2023 Mw 7.8, Turkey and 28.03.2025 Mw 7.7, Myanmar. The work was supported by IRE RAS State Task (subject registration №075-00395-25-00) and IKIR FEB RAS State Task (subject registration №124012300245-2).

3.17 Application of digital communication methods for the earthquake short-term prediction

*Korochentsev V.I., Shevkun S.A., Statsenko L.G., Gubko M.A.,
Grischenko V.V.*

Far Eastern Federal University

In this paper, it is proposed to expand the set of earthquake precursors by detecting fluctuations of the sounding signal. Electromagnetic waves are used as a signal. The Earth's mass is directly probed, preferably in earthquake-prone areas. The signal emitter is located below the surface of the Earth. The number of

external factors that distort the nature of the information signal is decreasing. The signal from the receiving antennas can be transmitted via a satellite repeater to the data center. Mathematical modeling has been carried out to identify the signs accompanying the processes of elastic deformation generation and the corresponding changes in magnetic and electrical constants. Both the temporal and spatial nature of the feature changes can be used for forecasting. This method can be used for long-term and short-term earthquake forecasts with high efficiency in obtaining measurement results. This work has been supported by the grants FZNS-2023-0008.

3.18 Statistical analysis of ionospheric disturbances preceding the occurrence of earthquakes in the Kamchatka region

Pavlov A.V.

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

Disturbances that appear in different regions of the ionosphere several hours or days before the onset of relatively strong earthquakes can be considered as possible ionospheric precursors of these earthquakes. In order to identify seismoionospheric disturbances preceding the onset of earthquakes in the Kamchatka region, the paper uses the results of measurements carried out at the ionospheric vertical radio sounding station located in the Paratunka (52.97° N, 158.24° E) for the period 2016-2021. The following were considered as possible ionospheric precursors of earthquakes: occurrence of statistically significant deviations from the background level of the limiting reflection frequency f_oE_s , the screening frequency f_bE_s and the virtual height $h'E_s$ of the sporadic E_s layer, the critical frequency f_oF2 and the height $hmF2$ of the maximum electron concentration of the $F2$ layer under conditions of low geomagnetic activity, as well as the precipitation of charged particles from the radiation belts into the ionosphere, the formation of the diffusion sporadic E_s layer, the formation of the sporadic E_s layer of type r , a branched or intermittent trace on ionograms near the critical frequency f_oF2 . To assess the prognostic efficiency of the complex of ionospheric disturbances, the

methods of A.A. Gusev, G.M. Molchan, the Hansen-Kuiper criterion were used, and the reliability and validity of the precursor were calculated. The prognostic efficiency was estimated for earthquakes with magnitudes $M \geq 5.0$, $M \geq 5.5$, $M \geq 6.0$, occurring at depths of up to 100 km and epicentral distances of up to 500 km from the location of the ionospheric station. Empirical dependencies were obtained linking the epicentral distances of the earthquake and the lead time of the complex of ionospheric disturbances of the moment of the earthquake onset with their magnitude. The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.19 Statistics of seismoionospheric effects in the F-region of the ionosphere at night and during the day according to data from the Tokyo vertical ionospheric sounding station

Liperovskaya E.V.¹, Rodkin M.V.^{2,1,3}

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS*

² *Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics*

³ *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS*

In the study of lithospheric-ionospheric connections, seismoionospheric effects were usually taken to be the occurrence of areas of increased or decreased ionization density values observed in the temporal and spatial vicinity of earthquakes (Eqs). According to literature data, the time of manifestation of seismoionospheric effects is usually up to 5 days before Eqs and several days after, effects in the F-region were observed for Eqs with M6+. The assumption that seismoionospheric effects are better detected at night has been expressed repeatedly. In most cases, these conclusions were made based on the analysis of individual events. The objective of the work is to compare the amplitude of seismoionospheric effects in the F-region during the day and night and to assess their statistical reliability. According to the data of the Japanese vertical ionospheric sounding station Tokyo (Kokubunji) for 1957-2020, hourly variations in the critical frequency foF2 in connection with earthquakes with M6+,

$H < 70$ km, $R < 2000$ km. The foF2 frequency depends on the 11-year and 27-day solar cycles, on the time of day and on the season. In order to minimize the contribution of strong long-period variations when searching for supposed seismoionospheric anomalies of foF2 values, df -deviations of foF2 from the moving median, normalized to the same median, were considered for each hour. Magnetically disturbed days were excluded. The possibility of repeatedly using the same time intervals was also excluded, for which purpose sorting by Eqs magnitude was carried out, starting with the strongest. The analysis was carried out in descending order of Eqs magnitudes. The observation interval corresponding to the vicinity of a strong Eqs is excluded from further analysis. Then, the epochs were superimposed using only night and/or day hours. The night interval was chosen from 19 to 04 LT, the daytime interval – from 10 to 16 LT. The averaged seismoionospheric effect is expressed in the increase of df 1-4 days before the Eqs and in the decrease during 1-3 days after the Eqs. In order to exclude 27-day variations, it was proposed to use the difference between the night and day variations. It was also found that when using daytime intervals, such an effect is observed at a distance of up to 1500 km from the epicenters, when using night data – at a distance of up to 2000 km. The statistical assessment of the reliability of the observed effect was carried out using the random process modeling method. It was found that in the case of analyzing daytime, nighttime hours and the difference between nighttime and daytime hours, the non-randomness of the average effect was more than 0.95.

3.20 Strainmeter-interferometer upgrading at Karymshina site: description and measurement results

Larionov I.A.¹, Dubrov M.N.², Vaskin V.A.¹

¹ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS*

² *Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS*

The paper describes the upgrading of the laser strainmeter-interferometer recording system installed at Karymshina expedition site of IKIR FEB RAS. The instrument is used for the investigations

of the deformation process in near-surface sedimentary rocks. The observations are carried out in the seismically active region on Kamchatka peninsular. The results of deformation measurements are presented for the winter-spring period of 2025. Meteorological factor effect on the performed measurements is shown and examples of records of some seismic events are described.

The work was supported by IKIR FEB RAS State Task (subject registration No. 124012300245-2).

3.21 Variations in the thermal neutron flux on November 20-21, 2024

*Balabin Yu.V.¹, Tertyshnikov A.V.², Syroeshkin A.V.³,
Obelchenko D.S.⁴*

¹ *Polar Geophysical Institute*

² *Institute of Applied Geophysics*

³ *Peoples' Friendship University of Russia*

⁴ *Voronezh State University*

A precursor to a weak earthquake in the Western Caucasus and the effect of the man-made earthquake of November 21, 2024, were revealed in the variations in the intensity of the low-energy (thermal) neutron flux in Anapa, confirming the thermal neutron flux “from below” due to deformations of the earth’s crust. Space weather disturbances were taken into account. Anomalous changes in high-energy neutron fluxes recorded by neutron monitors at the Finnish Oulu station and in Apatity after the man-made event were noted. A technique for processing measurement data and express analysis of anomalies was developed based on the fourth moment of time series distribution in a sliding time window and the “Control Charts” method. Signs of precursors in thermal neutron flux variations, which may be caused by the passage of a deformation wave in the earth’s crust, are discussed. Examples of registration of similar man-made events are given. For man-made seismic events, the thermal neutron sensor in Anapa allows solving the problems of a seismograph.

3.22 Variations in the vertical component of the electrotelluric field and seismic activity in the southern part of Sakhalin in 2024–2025

*Stovbun N.S.¹, Bogomolov L.M.¹, Zakupin A.S.¹, Dudchenko I.P.¹,
Gulyakov S.A.¹, Kostylev D.V.²*

¹ *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS*

² *Sakhalin Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service RAS”*

Since January 2024, a permanent monitoring station for the vertical component of the electrotelluric field (VETF) has been operational at the Institute of Marine Geology and Geophysics. The vertical component of the electrotelluric field is measured as the potential difference between two metal plates placed in the ground, one above the other, at a depth of approximately 2 meters. Two sets of plates were installed, spaced 10 meters apart. An 8-channel analog input module, model ADAM-4017, is used as the analog-to-digital converter. Data is recorded continuously at a frequency of 10 Hz. The primary objective of this study is to analyze variations in the VETF in relation to changes in seismic activity in southern Sakhalin. Monitoring the VETF in this region is of particular interest due to the occurrence of crustal earthquakes, whose epicenters are often located near populated areas. Measurements conducted 10–50 km from earthquake epicenters contribute to understanding geophysical processes in a region with significant seismic activity. Analysis of the measurements across all channels revealed four anomalies of varying duration and shape. These anomalies are clearly distinguishable against the background of the average potential, with durations ranging from a maximum of 102 days to a minimum of 17 days. By examining the earthquake catalog for southern Sakhalin ($M > 3$), it was found that two earthquakes closest to the monitoring station coincided temporally with the end of the first two anomalies. The third anomaly ended two days before a deep-focus earthquake (depth of 453 km) with a magnitude of 6.1. Furthermore, analysis of all earthquakes in the catalog showed that, of the 30 events recorded from January to November 2024, 24 occurred during the periods of the identified anomalies. This result proved significant, and in late 2024, an additional monitoring station was established in the western part of southern Sakhalin (Nevelsk). The installation method and measurement equipment are

identical to those of the existing station. The western part of southern Sakhalin is characterized by higher seismic activity compared to the central part. Analyzing VETF variations at both stations will enable more precise detection of such anomalies in relation to seismic activity levels and assess their potential as precursors to seismic events.

3.23 Variations of the electromagnetic field parameters for strong and weak earthquakes in the Northern Tien Shan

Bataleva E.A., Nepeina K.S.

Research Station RAS in Bishkek, Kyrgyzstan

Research into variations in the components of the natural electromagnetic field in the frequency range of 10-2 Hz - 40 kHz has been conducted in the Northern Tien Shan seismically active region for over 20 years. In this paper, we consider seismic events in 2024 (China, 01/22/2024, M_{pv} 6.9 and Kyrgyzstan 03/04/2024 06:22:04 UTC, M_{pv} 5.4) and 2025 (Tajikistan, 04/13/2025 04:24:01 UTC, M_{pv} 5.9 and Kazakhstan 03/28/25, 10:52:43 UTC, M_{pv} 5.1). Observations were carried out at two magnetotelluric monitoring points located in the Chuy Basin (Aksu 42.60911 N, 74.00833 E; Chon-Kurchak 42.62828 N, 74.60671 E, Northern Tien Shan) on the territory of the Bishkek Geodynamic Polygon (BGP). Particular attention is paid to the results obtained at the Aksu stationary monitoring point, where a Phoenix MTU 5 magnetotelluric station and a seismic station are installed, i.e. it is possible to estimate the time of signal arrival at both devices. During the observation period, a number of anomalies in the components of the electromagnetic field were detected, identified with manifestations of the response from earthquakes with M_{pv} greater than or equal to 5. A detailed analysis of seismic and magnetotelluric monitoring data allowed us to establish a connection between the earthquakes that occurred and variations in the components of the recorded electromagnetic field, the depth of the source, energy and coordinates of the epicenter of the seismic event. Given the difference in the physical mechanisms of earthquake preparation at different depths in the earth's crust and upper mantle, it is possible to explain the difference in the response of the geological environment to the

processes of their preparation. The observed variations can be caused by mechanoelectric processes that occur at the extreme stage of preparation of the earthquake source and during the implementation of the seismic event. Before strong seismic events, deformations of rocks, a sharp change in the fluid regime and much more are observed, which leads to a change in the physical parameters of the geological environment, for example, electrical conductivity and a change in current systems, which, in turn, leads to an anomalous behavior of the recorded signals. The results of the research, in combination with other monitoring observation data obtained on the territory of the BGP, when combined with artificial intelligence and machine learning technology, can be used in developing methods for monitoring seismic activity in potentially hazardous regions. The work was carried out within the framework of the state assignment of the RS RAS No. 10210552806445-4-1.5.1.

Авторский указатель

- Абдуллаев Ф.Н., 87
Абунин А.А., 52
Абунина М.А., 52, 88
Акбашев Р.Р., 62
Александров Д.В., 107
Андреевский С.Е., 52, 73
Аронов Г.А., 32
Арора Кусумита, 80
Астафьева Е., 31
Баишев Д.Г., 28
Байрамов А.А., 87
Балабин Ю.В., 25, 72, 84, 112
Баталева Е.А., 114
Беликович М.В., 48
Белов А.А., 41
Белов А.В., 52, 88
Белов С.М., 88
Бехтерева Е.С., 22, 42, 47
Благина А.П., 38, 43
Благовещенская Н.Ф., 61, 86
Бобров Н., 23
Богомоллов А.В., 41, 63
Богомоллов В.В., 41, 63
Богомоллов Л.М., 95, 98, 113
Борисова Т.Д., 61
Борков Ю.Г., 22
Булатова Н.Р., 56
Васильев Р.В., 27
Васькин В.А., 112
Веснин А.М., 31
Воденев В.А., 60
Водинчар Г.М., 50, 54, 71, 75
Воскресенсков Е.Д., 41
Гапеев М.И., 94
Гвоздарев А.Ю., 76, 80, 81
Гвоздевский Б.Б., 25, 72, 84
Германенко А.В., 25, 72, 84
Горынин И.П., 104
Григоренко Е.Е., 53
Гринберг М.А., 60
Грищенко В.В., 108
Громова О.В., 22, 42, 47
Губко Л.В., 93
Губко М.А., 108
Гуляков С.А., 95, 113
Дементьева С.О., 38, 43, 48
Диденко К.А., 40, 85
Довбня Б.В., 28
Долинин А.А., 60
Доронин Г., 23
Дубров М.Н., 107, 112
Дудченко И.П., 95, 113
Дэспирак И.В., 30, 46
Евдокимова М.А., 52, 73
Егоров И.М., 61, 86
Егоров Я.И., 27, 29, 31
Ермакова Т.С., 40
Еселевич В.Г., 28
Етирмишли Г.Дж., 87
Жильцов М.В., 52, 73
Загорский Г.А., 86
Закупин А.С., 95, 96, 113
Зеленый Л.М., 53
Зинкин Д.В., 57, 106
Иванова А.В., 60
Ильин Н.В., 60
Июдин А.Ф., 41, 63
Казаков Е.А., 54, 56
Кайсин А.В., 74
Калегаев В.В., 63
Калишин А.С., 61, 86
Касимова В.А., 56, 69, 106
Киселев А.В., 31
Климов П.А., 41

- Коваль А.В., 40
 Кодымов А.А., 32
 Колпак В.И., 52
 Копылова Г.Н., 69, 102
 Коркина Г.М., 56
 Короченцев В.И., 93, 108
 Костылев Д.В., 95, 113
 Котов Д.С., 32
 Котова Г.А., 55
 Кудринская О.В., 44
 Куликов М.Ю., 38, 48
 Кульков Д.С., 104
 Кумыков Т.С., 35
 Кучеренко И.А., 41
 Лазарева Е.А., 76
 Лазюк В.М., 32
 Ларионов И.А., 107, 112
 Лебедев В.П., 31
 Леоненко М.В., 53
 Лингала Манжула, 80
 Липеровская Е.В., 110
 Лисюткин С.С., 54
 Лутцева Е.А., 75
 Любчик А.А., 30, 46
 Макаров Е.О., 92
 Малецкий Б.М., 31
 Малкин Е.И., 56, 74, 82
 Мандрикова Б.С., 37
 Мандрикова О.В., 37, 50
 Марапулец Ю.В., 78, 94
 Мареев Е.А., 60
 Марченко Л.С., 34
 Марчук Р.А., 28
 Маурчев Е.А., 52, 85
 Микаылов Х.М., 87
 Мингалева А.О., 61, 86
 Миронов А., 23
 Миронова И., 23
 Михалко Е.А., 72
 Мишин В.В., 28
 Мищенко М.А., 78, 97
 Могилевский М.М., 52, 73, 82
 Мурашов А.С., 41
 Мягкова И.Н., 63
 Наумов А.О., 32
 Немцова Ю.А., 60
 Непеина К.С., 114
 Новиков В.А., 76, 104
 Нуракынов С.М., 58, 79
 Обельченко Д.С., 112
 Оседло В.И., 63, 67
 Павлов А.В., 109
 Павлов Н.Н., 67
 Павлова В.Ю., 62
 Падохин А.М., 31
 Пак Г.Д., 58, 79
 Паров С.В., 104
 Паровик Р.И., 34, 35, 44, 91, 92, 100
 Пархомов В.А., 28
 Пилипенко В.А., 57, 106
 Пирогова П.А., 60
 Полозов Ю.А., 50
 Пулинец С.А., 82
 Размолов А.А., 33
 Родкин М.В., 98, 110
 Рубинштейн И.А., 67
 Рубцов А.В., 27
 Руленко О.П., 78
 Рябова С.А., 65, 66
 Салимов Б.Г., 31
 Салихов Н.М., 58, 79
 Санников Д.В., 56
 Сарафанов Ф.Г., 60
 Сахаров Я.А., 30
 Свертилов С.И., 41, 63, 67
 Селиванов В.Н., 30
 Семаков Н.Н., 51
 Сенкевич Ю.И., 97, 103
 Серафимова Ю.К., 102

Сергиенко Д.Ф., 91	Шлыков А.А., 106
Сецко П.В., 30	Шлюгаев Ю.В., 52, 73
Сивоконь В.П., 70, 76	Щепетов А.Л., 58, 79
Синевич А.А., 82	Ягодкина О.И., 46
Синица Л.Н., 22	Ясюкевич Ю.В., 27, 31
Сковпень Г.А., 100	
Смирнов С.Э., 25	
Соловьева М.С., 56	
Солодчук А.А., 94	
Стаценко Л.Г., 108	
Стовбун Н.С., 95, 113	
Сулакшина О.Н., 22	
Сулейманов С.С., 87	
Сыроешкин А.В., 112	
Сычев В.Н., 98	
Твёрдый Д.А., 92	
Тертышников А.В., 112	
Тулупов В.И., 67	
Уколов Д.А., 51	
Уленеков О.Н., 22, 42, 47	
Учайкин Е.О., 76	
Фадеев А.С., 40	
Фейгин А.М., 48	
Фещенко Л.К., 50, 54, 71	
Фирсов К.М., 33	
Хаердинов Н.С., 68	
Хомутов С.Ю., 28, 76, 80, 81	
Цибуля К.Г., 82	
Чень Сяолэй, 93	
Чернева Н.В., 56	
Чернышов А.А., 82	
Чеснокова Т.Ю., 33	
Чубаров А.Г., 48	
Чугунин Д.В., 52, 55, 73, 75, 82	
Шаталина М.В., 43	
Шевкун С.А., 93, 108	
Шевцов Б.М., 56, 101, 105	
Шереметьева О.В., 101, 105	
Шиокава К., 28	
Шлык Н.С., 52, 88	

Author index

- Abdullayev F.N., 178
Abunin A.A., 145
Abunina M.A., 145, 179
Akbashev R.R., 155
Aleksandrov D.V., 197
Ali M., 180
Andreevsky S.E., 146, 165
Aronov G.A., 127
Arora Kusumita, 172
Astafyeva E., 126

Baishev D.G., 123
Balabin Yu.V., 120, 164, 175, 202
Bataleva E.A., 204
Bayramov A.A., 178
Bekhtereva E.S., 117, 137, 141
Belikov M.V., 142
Belov A.A., 136
Belov A.V., 145, 179
Belov S.M., 179
Blagina A.P., 133, 138
Blagoveshchenskaya N.F., 154, 177
Bobrov N., 118
Bogomolov A.V., 136, 156
Bogomolov L.M., 187, 189, 203
Bogomolov V.V., 136, 156
Borisova T.D., 154
Borkov Yu.G., 117
Bulatova N.R., 150

Chen Xiao Lei, 185
Cherneva N.V., 149
Chernyshov A.A., 174
Chesnokova T.Yu., 128
Chubarov A.G., 142
Chugunin D.V., 146, 149, 165, 166, 174

Dementyeva S.O., 133, 138, 142
Despirak I.V., 125, 140
Didenko K.A., 135, 176
Dolinin A.A., 153
Doronin G., 118
Dovbnya B.V., 123
Dubrov M.N., 197, 201
Dudchenko I.P., 187, 203

Egorov I.M., 154, 177
Egorov Ya.I., 122, 124, 126
Ermakova T.S., 135
Eselevich V.G., 123
Evdokimova M.A., 146, 165

Fadeev A.S., 135
Feigin A.M., 142
Feshchenko L.K., 144, 148, 163
Firsov K.M., 128

Gapeev M.I., 186
Germanenko A.V., 120, 164, 175
Gorynin I. P., 194
Grigorenko E.E., 147
Grinberg M.A., 153
Grischenko V.V., 198
Gromova O.V., 117, 137, 141
Gubko L.V., 185
Gubko M.A., 198
Gulyakov S.A., 187, 203
Gvozdev A.Y., 167, 172
Gvozdevskiy B.B., 164, 175
Gvozdevsky B.B., 120

Ilin N.V., 153
Iuydin A.F., 156
Ivanova A.V., 153
Iyudin A.F., 136

- Kadymau A.A., 127
 Kaisin A.V., 166
 Kalegaev V.V., 156
 Kalishin A.S., 154, 177
 Kasimova V.A., 150, 161, 196
 Katamzi-Joseph Z., 180
 Kazakov E.A., 148, 149
 Khaerdinov N. S., 160
 Khomutov S.Y., 123, 167, 172
 Kiselev A.V., 126
 Klimov P.A., 136
 Kolpak V.I., 146
 Kopylova G.N., 161, 193
 Korkina G.M., 150
 Korochentsev V.I., 185, 198
 Kostylev D.V., 187, 203
 Kotov D.S., 127
 Kotova G.A., 149
 Koval A.V., 135
 Kucherenko I.A., 136
 Kudrinskaya O.B., 139
 Kulikov M.Yu., 133, 142
 Kulkov D. S., 194
 Kumykov T.S., 130

 Larionov I.A., 197, 201
 Lazareva E.A., 168
 Laziuk V.M., 127
 Lebedev V.P., 126
 Leonenko M.V., 147
 Lingala Manjula, 172
 Liperovskaya E.V., 200
 Lisytin S.S., 148
 Lubchich A.A., 125, 140
 Luttseva E.A., 167

 Makarov E.O., 184
 Maletckii B.M., 126
 Malkin E.I., 149, 166, 173
 Mandrikova B.S., 132
 Mandrikova O.V., 132, 144

 Marapulets Yu.V., 169, 186
 Marchenko L.S., 129
 Marchuk R.A., 123
 Mareev E.A., 153
 Maurchev E.A., 145, 176
 Mikailov Kh.M., 178
 Mikhalko E.A., 164
 Mingaleva A.O., 154, 177
 Mironov A., 118
 Mironova I., 118
 Mishchenko M.A., 169, 189
 Mishin V.V., 123
 Mogilevsky M.M., 146, 165, 174
 Murashov A.S., 136
 Myagkova I.N., 156

 Nahayo E., 180
 Naumov A.O., 127
 Nemtsova Yu.A., 153
 Nepeina K.S., 204
 Novikov V. A., 194
 Novikov V.A., 168
 Nurakynov S.M., 151, 170

 Obelchenko D.S., 202
 Osedlo V.I., 156, 159

 Padokhin A.M., 126
 Pak G.D., 151, 170
 Parkhomov V.A., 123
 Parov S. V., 194
 Parovik R.I., 129, 130, 139, 183,
 184, 191
 Pavlov A.V., 199
 Pavlov N.N., 159
 Pavlova V.Yu., 155
 Pilipenko V.A., 151, 196
 Pirogova P.A., 153
 Polozov Y.A., 144
 Pulinets S.A., 174

Razmolov A.A., 128
 Riabova S.A., 157, 158
 Rodkin M.V., 189, 200
 Rubinshtein I.A., 159
 Rubtsov A.V., 122
 Rulenko O.P., 169

 Sakharov Ya.A., 125
 Salikhov N.M., 151, 170
 Salimov B.G., 126
 Sannikov D.V., 149
 Sarafanov F.G., 153
 Selivanov V.N., 125
 Semakov N.N., 145
 Senkevich Yu.I., 189, 194
 Serafimova Yu.K., 193
 Sergienko D.F., 183
 Setsko P.V., 125
 Shatalina M.V., 138
 Shepetov A.L., 151, 170
 Sheremetyeva O.V., 192, 195
 Shevkun S.A., 185, 198
 Shevtsov B.M., 149, 192, 195
 Shiokawa K., 123
 Shlugaev Y.V., 146, 165
 Shlyk N.S., 145, 179
 Shlykov A.A., 196
 Sinevich A.A., 174
 Sinitsa L.N., 117
 Sivokon V.P., 162, 167
 Skovpen G.A., 191
 Smirnov S.E., 120
 Solodchuk A.A., 186
 Solovieva M.S., 150
 Statsenko L.G., 198
 Stovbun N.S., 187, 203
 Sulakshina O.N., 117
 Suleymanov S.S., 178
 Svertilov S.I., 136, 156, 159
 Sychev V.N., 189

 Syroeshkin A.V., 202

 Tertyshnikov A.V., 202
 Tshisaphungo M., 180
 Tsybulya K.G., 174
 Tulupov Yu.V., 159
 Tverdyi D.A., 184

 Uchaikin E.O., 167
 Ukolov D.A., 145
 Ulenikov O.N., 117, 137, 141

 Vasiliev R.V., 122
 Vaskin V.A., 201
 Vesnin A.M., 126
 Vodeneev V.A., 153
 Vodinchar G.M., 144, 148, 163, 167
 Voskresenskov E.D., 136

 Yagodkina O.I., 140
 Yasyukevich Y.V., 122, 126
 Yetirmishli G.Dj., 178

 Zagorskiy G.A., 177
 Zakupin A.S., 187, 188, 203
 Zelenyi L.M., 147
 Zhiltsov M.V., 146, 165
 Zinkin D.V., 151, 196

XIV Международная конференция
**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА
ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Тезисы докладов

Научный редактор: д.ф.-м.н. Марапулец Ю.В.

Ответственный редактор: к.ф.-м.н. Солодчук А.А.

Редактор: к.т.н. Полозов Ю.А.

Технический редактор: Казаков Е.А.

Верстка оригинала-макета: Казаков Е.А.

Научный комитет:

Мандрикова О.В. (Россия) Смирнов С.Э. (Россия)

Сивоконь В.П. (Россия) Хомутов С.Ю. (Россия)

Шевцов Б.М. (Россия) Сенкевич Ю.И. (Россия)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космofизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН
684034, Камчатский край, Елизовский район,
с. Паратунка, ул.Мирная, д. 7
Тел.: 8 (41531) 33193