

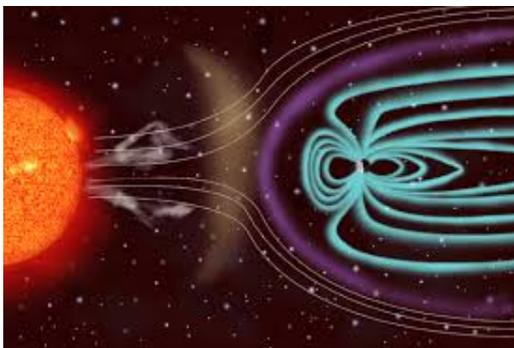
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований и
распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской академии наук



СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сборник тезисов докладов
XIII международной конференции

с. Паратунка, Камчатский край
25 – 29 сентября 2023



с. Паратунка
2023

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

XIII INTERNATIONAL CONFERENCE

Paratunka, Kamchatka

September 25 – 29, 2023

COLLECTION OF THE ABSTRACTS

Paratunka
2023

УДК 551.509.336 + 550.344.37

Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений:
XIII международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 25 – 29 сентября 2023 г. : сб. тез. докл. – Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2023. – 261 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 «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях» (Рег. № АААА-А21-121011290003-0).

© ИКИР ДВО РАН, 2023

Solar-terrestrial relations and physics of earthquakes precursors:
XIII International Conference, Paratunka, Kamchatka, September 25 – 29, 2023:
Collection of the Abstracts. – Paratunka: IKIR FEB RAS, 2023. – 261 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 reconsidered. 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 «Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric influences» (No. АААА-А21-121011290003-0).

© IKIR FEB RAS, 2023

ISBN 978-5-6045275-2-8

ISBN 978-5-6045275-2-8



9 785604 527528

Содержание

1 Физика атмосферы	22
1.1 Гвоздарев А.Ю., Учайкин Е.О. О зависимости частоты шумановских резонансов на Алтае от солнечной активности	23
1.2 Борков Ю.Г., Сулакшина О.Н., Сердюков В.И., Синица Л.Н. Анализ изотополога $^{14}\text{N}^{18}\text{O}$ в инфракрасной области спектра 5200 – 5500 cm^{-1} : молекулярные константы для колебательного состояния $\nu=3$	24
1.3 Малкин Е.И., Чернева В.И., Махлай Д.О., Чернева Н.В., Санников Д.В., Дружин Г.И., Акбашев Р.Р., Холсворт Р. Анализ электромагнитного излучения при извержениях вулканов Шивелуч и Безымянный с 2017-2023 гг.	25
1.4 Мандрикова О.В., Фетисова Н.В. Анализ параметров ионосферы в периоды солнечных событий и магнитных бурь	26
1.5 Курдяева Ю.А., Кшевецкий С.П. Приближение коротких по вертикали атмосферных волн малой амплитуды	27
1.6 Лаврентьева Н.Н., Дударенок А.С., Китаева А.В., Крапивная О.Н. Коэффициенты уширения линий углекислого газа давлением N_2 , N_2O и CO	28
1.7 Гросс Р.П., Курдяева Ю.А. Сравнительное исследование распространения атмосферных волн от метеорологического источника с использованием модели WRF	29
1.8 Твёрдый Д.А., Малкин Е.И., Паровик Р.И. Компьютерная симуляция распространения плоской электромагнитной волны в волноводе, образованном поверхностью Земли и ионосферой при условии неоднородной проводимости границ	31
1.9 Торопов А.А., Нагорский П.М. Взаимосвязь вариаций атмосферного электрического поля и концентрации частиц микронной пыли в приземном слое атмосферы	33
1.10 Сивоконь В.П. Пылевая плазма в области активного воздействия на ионосферу	34

1.11	Тимченко А.В., Борчевкина О.П., Бессараб Ф.С. Динамика мезосферного озона при геомагнитных и метеорологических возмущениях	35
1.12	Балабин Ю.В. Событие GLE66 (29.10.2003): решение обратной задачи на новой основе	36
1.13	Балабин Ю.В., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Гвоздевский Б.Б., Михалко Е.А. GLE73: первое событие в солнечных космических лучах в 25-м цикле	37
1.14	Диденко К.А., Коваль А.В., Ермакова Т.С., Топтунова О.Н. Генерация вторичных планетарных волн в средней и верхней атмосфере	39
1.15	Шевцов Б.М. Влияние солнечной активности на оптические свойства атмосферы	40
1.16	Маричев В.Н., Бочковский Д.А. Внутригодовая динамика фонового стратосферного аэрозоля над Томском по данным лидарного мониторинга	41
1.17	Маричев В.Н., Бочковский Д.А. Лидарные исследования термического режима средней атмосферы над Томском в 2022 г.	42
1.18	Черемисин А.А., Новиков П.В., Романченко И.И., Маричев В.Н., Бочковский Д.А. Наблюдения метеорного аэрозоля в стратосфере над Томском в августе 2013 года	43
1.19	Петрова Т.М., Дейчули В.М., Солодов А.М., Солодов А.А., Лаврентьева Н.Н., Китаева А.В. Новые спектроскопические данные о линиях поглощения молекул воды и углекислого газа	45
1.20	Коваль А.В., Гаврилов Н.М., Ермакова Т.С., Диденко К.А. Численное моделирование внезапных стратосферных потеплений в разные фазы цикла солнечной активности	46
1.21	Ташкун С.А. О возможности контроля выбросов CO ₂ в сейсмоактивных районах по спутниковым данным ОСО-2	47
1.22	Козлов В.И., Тарабукина Л.Д. Радиоимпульсы многокомпонентных молний в Якутии	48
1.23	Павлов И.А., Падохин А.М. Реконструкция региональных распределений электронной концентрации в ионосфере по разнородным данным дистанционного зондирования	50

1.24	Малкин Е.И., Казаков Е.А., Чернева Н.В., Санников Д.В., Дружин Г.И., Лихтенбергер Я. Связь между спрайтами и вистлерами по данным AWDANET и WWLLN	51
1.25	Маричев В.Н., Юшков В.А., Балугин Н.В., Бочковский Д.А. Результаты эксперимента по совместному лидарному и шар-баллоному зондированию тропосферы и стратосферы	52
1.26	Иванов А.К., Медведев А.И., Варзарь Л.С., Павлов И.А., Курбатов Г.А., Падохин А.М. Одноточечная оценка абсолютного ТЕС по двухчастотным фазовым GNSS наблюдениям	54
1.27	Калегаев В.В., Карманов Д.Е., Ковалев И.М., Курганов А.А., Панов А.Д., Подзолко М.В., Подорожный Д.М., Турундаевский А.Н. Космический проект «Модуляция», новый подход к изучению потоков галактических космических лучей в области модуляционных энергий Солнца	55
1.28	Миронов А.Д., Зубов В.А., Розанов Е.В. Исследование факторов влияющих на полярный озон с помощью модели SOCOL-3: решение проблемы отличия модельных результатов от спутниковых данных . . .	56
1.29	Фазлиев А.З., Лаврентьев Н.А., Лаврентьева Н.Н., Привезенцев А.И. Систематизация источников спектральных данных, содержащих параметры спектральных линий молекулы диоксида углерода и ее изотопологов в ИС W@DIS	57
1.30	Торопов А.А. Грозовая активность в Арктике по наблюдениям в Тикси	59
1.31	Миронова И.А., Базилевская Г.А., Гранкин Д.В., Миронов А.Д., Розанов Е.В. Вариации параметров средней атмосферы во время геомагнитных возмущений .	60
2	Геофизические поля и их взаимодействие	61
2.1	Короченцев В.И., Сюэ Вей, Стаценко Л.Г., Бенгард А.В. Методы повышения энергоэффективности систем связи с учетом динамических характеристик в ледовой обстановке	62

2.2	Рябова С.А., Шалимов С.Л. О наблюдаемой квазипериодичности геомагнитных джерков по данным обсерватории «Москва»	63
2.3	Гвоздарев А.Ю., Хомутов С.Ю., Арора К., Чандрашекхар Ф. О некоторых слабых локальных эффектах в магнитном поле на обсерваториях «Паратунка» (Камчатка, Россия) и «Чаутаппал» (Индия)	64
2.4	Ларионов И.А., Мищенко М.А., Марапулец Ю.В., Богомоллов Л.М., Васькин В.А. Акустическая эмиссия при деформировании образца гранита в экспериментах на трехточечный изгиб	66
2.5	Богомоллов В.В., Свертилов С.И., Оседло В.И., Бенгин В.В., Золотарев И.А., Июдин А.Ф., Климов П.А., Нечаев О.Ю., Яшин И.В., Антонюк Г.И., Кучеренко И.А. Перспективная аппаратура для мониторинга гео и гелиофизической обстановки на спутниках формата кубсат	67
2.6	Мандрикова О.В., Мандрикова Б.С. Анализ вариаций космических лучей в периоды сильных магнитных бурь 2022-2023 гг. (по данным нейтронных мониторов)	69
2.7	Мандрикова О.В., Полозов Ю.А. Анализ ионосферных параметров на основе пороговой вейвлет-фильтрации (по данным foF2 станций «Паратунка» (Россия) и «Вакканай» (Япония))	70
2.8	Савина О.Н., Беспалов П.А., Жаравина П.Д. Нетипичные квазипериодические ОНЧ излучения, связанные с крупномасштабными атмосферными процессами	71
2.9	Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Любчик А.А. Авроральные возмущения во время двух магнитных бурь 2023	73
2.10	Казаков Е.А. Хаотические режимы в эредитарных двухмодовых моделях динамо	74
2.11	Шереметьева О.В. Условия генерации хаотического режима в маломодовой модели $\alpha\Omega$ -динамо с эредитарным подавлением α -эффекта энергией поля	75
2.12	Семаков Н.Н., Гнитеева О.С., Ковалев А.А. Корреляция интегральных характеристик эквивалентных магнитных диполей в январе–феврале 2023 по обсерваторским данным	76

2.13	Короченцев В.И., Цзяньцзюнь Чжу, Рыжих В.В., Шпак Ю.В. Разработка адаптивных методов синтеза гидроакустических антенн, применяемых для работ в ледовой обстановке	77
2.14	Гвоздарев А.Ю., Казанцева О.В., Учайкин Е.О. Оценка геоиндуцированных токов в энергосистеме Республики Алтай по данным магнитной станции «Байгазан»	78
2.15	Беспалов П.А. Возбуждение хоровых ОНЧ излучений в дневной магнитосфере	79
2.16	Смирнов С.Э., Жижин М.Н. Генерация атмосферных гравитационных волн перед землетрясением в Японии 16 марта 2022 $M=7.3$	80
2.17	Аронов Г.А., Аронов А.Г., Солодухин И.А., Кодымов А.А., Лазюк В.М. Геомагнитные измерения в обсерватории «Плещеницы» (Минск)	81
2.18	Любчич А.А., Дэспирак И.В., Сецко П.В., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н. Геоиндуцированные токи во время сильной магнитной бури в апреле 2023	82
2.19	Хаердинов Н. С. Локальные вариации полного электронного содержания ионосферы измеренные в горах Северного Кавказа	83
2.20	Щербина А.О., Солодчук А.А., Васькин В.А., Торгонский В.Е. Локализация источников акустического излучения по данным распределенной системы комбинированных приемников	84
2.21	Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Малышева Л.М., Громова Л.М., Любчич А.А. Суббури на сжатом овале: основные признаки	85
2.22	Мищенко М.А., Руленко О.П., Марапулец Ю.В. Проявление сейсмоакустического и сейсмoeлектрического откликов приповерхностных пород на Камчатке	86
2.23	Фещенко Л.К., Водинчар Г.М. Согласование параметров каскадных моделей турбулентности с вероятностями взаимодействия волновых оболочек	87
2.24	Акбашев Р.Р., Малкин Е.И., Будилова Е.А. Моделирование электрического поля эруптивных облаков от эксплозий вулкана Эбеко с учётом рельефа местности	88

2.25	Свертилов С.И., Богомолов В.В., Богомолов А.В., Оседло В.И., Бенгин В.В., Золотарев И.А., Июдин А.Ф., Калегаев В.В., Яшин И.В., Антонюк Г.И., Жильченко К.С., Мутин А.А. Наблюдения эффектов космической погоды с помощью группировки наноспутников Московского Университета «Созвездие-270»	89
2.26	Водинчар Г.М. Осциллятор связанный с одной двумодовой моделью динамо с памятью	91
2.27	Хомутов С.Ю., Ковалев А.А., Гвоздарев А.Ю., Семанов Н.Н. Возможные эффекты от железной дороги в магнитных измерениях на Геофизической обсерватории «Новосибирск»	93
2.28	Хаердинов Н. С. Регистрация тока «Каменной Батареи»	94
2.29	Полозов Ю.А. Прогноз данных геомагнитного индекса SME на основе вейвлет-преобразования и нейронных сетей LSTM	95
2.30	Богомолов Л.М., Костылев Д.В., Костылева Н.В., Дудченко И. П., Гуляков С.А., Мищенко М.А., Стывбун Н.С. Сейсмоакустические проявления обратного сейсмоэлектрического эффекта II рода при электрозондированиях	96
2.31	Паровик Р.И. Динамическая система Селькова с переменной наследственностью для описания микросейсмических режимов	98
2.32	Мингазова Д.Ф., Паровик Р.И. Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии	99
2.33	Мягкова И.Н., Доленко С.А., Калегаев В.В. Прогнозирование космической погоды в Центре анализа космической погоды НИИЯФ МГУ	101
2.34	Кендирбаева Дж.Ж. Основные черты пространственно-временной взаимосвязи между режимом термоминеральных вод и развитием напряженно-деформированного состояния земной коры Кыргызстана	102
2.35	Широков В.А., Якунина Е.Н. О методиках долгосрочного прогноза извержений вулканов Камчатки: их эффективность и значимость по ретроспективным данным	104

2.36	Бахарева Л.Т., Виляев А.В. Вариации аномалий атмосферного давления во время сильных землетрясений в Казахстане	105
2.37	Поклад Ю.В., Ряховский И.А., Гаврилов Б.Г. Вариации параметров сигнала от СДВ передатчика А1ГЗ принятого в геофизической обсерватории «Михнево» во время серии землетрясений в Турции в феврале 2023 г.	107
2.38	Оседло В.И., Антонюк Г.И., Бенгин В.В., Золотарев И.А., Нечаев О.Ю., Свертилов С.И. Мониторинг радиационных полей в околоземном пространстве с помощью прибора КОДИЗ на спутнике формата кубсат 3и «Монитор-1»	108
3	Физика предвестников землетрясений	109
3.1	Богданов В.В., Павлов А.В. Сейсмическое явление, рассматриваемое с позиций неравновесной термодинамики, как процесс разрушения неустойчивой нелинейной структуры на примере Кроноцкого землетрясения 05 декабря 1997 г.	110
3.2	Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Костылев Д.В., Костылева Н.В. Анализ сейсмичности Сахалина с позиций неэкстенсивной статистической физики.	112
3.3	Волков В.А., Дубров М.Н., Ларионов И.А., Мрлина Я., Полак В., Александров Д.В., Головачев С.П. Взаимодействие атмосферы и литосферы могло быть триггером землетрясения M_w 7.8 2023 г. в Турции	114
3.4	Белослюдцев О.М., Виляев А.В. Связь сейсмического режима Северного Тянь-Шаня с изменениями параметров электромагнитного поля	116
3.5	Богданов В.В., Павлов А.В. Возмущения в областях E и F ионосферы, предшествующие землетрясениям в Камчатском регионе	117
3.6	Липеровская Е.В., Родкин М.В. Предвестники землетрясений в F-области ионосферы, статистика сейсмоионосферных эффектов по данным станций вертикального ионосферного зондирования Японии	118
3.7	Пилипенко В.А., Мартинес-Беденко В.А. Глобальные геомагнитные возмущения, вызванные удаленными землетрясениями: открытие или ошибка?	119

3.8	Закупин А.С. LURR (load-unload response ratio): новые результаты на примере землетрясения Токачи-Оки (25.09.2003, M=8)	120
3.9	Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К., Любушин А.А. Метеорологические аномалии и сильные камчатские землетрясения	121
3.10	Сенкевич Ю.И., Мищенко М.А. Наблюдение за изменением состояния среды поверхностного слоя почвы по результатам лингвистической обработки геоакустической эмиссии	123
3.11	Макаров Е.О., Акбашев Р.Р. Оперативные предвестники землетрясения 16 марта 2021 г. с Mw=6.6, Камчатка.	124
3.12	Шевцов Б.М., Шереметьева О.В. Степенной составной и дробный процесс Пуассона в теории аномальных явлений	125
3.13	Рябова С.А., Шалимов С.Л. Отклик геомагнитного поля на землетрясение в Турции 06.02.2023	126
3.14	Сычева Н.А. Сейсмический процесс Анатолийской плиты (Турция)	127
3.15	Сычева Н.А. Сейсмотектонические деформации земной коры Анатолийской плиты (Турция)	128
3.16	Комитов Б.П., Кафтан В.И. Явления космической погоды и их триггерные эффекты на земную сейсмическую и вулканическую активность	129
3.17	Касимова В.А. Статистические свойства фонового сейсмического шума на сети сейсмических станций в районе полуострова Камчатка и сильные землетрясения	131
3.18	Твёрдый Д.А., Макаров Е.О., Паровик Р.И. Исследования напряженно-деформированного состояния геосреды эманационными методами на примере alpha(t)-модели переноса радона	133
3.19	Руленко О.П. Причина аномального поведения дышащих почвенным и приземным воздухом животных перед землетрясениями	134

Content

1	Atmosphere physics	135
1.1	Gvozdarev A.Y., Uchaikin E.O. About dependence of Schumann resonance frequency at Altay on solar activity	136
1.2	Borkov Yu.G., Sulakshina O.N., Serdyukov V.I., Sinitza L.N. Analysis of $^{14}\text{N}^{18}\text{O}$ isotopolog in the 5200 – 5500 cm^{-1} infrared spectral region: Molecular constants for $v=3$ vibrational state	137
1.3	Malkin E.I., Cherneva V.I., Makhlai D.O., Cherneva N.V., Sannikov D.V., Druzhin G.I., Akbashev R.R., Robert H. Holzworth Analysis of electromagnetic radiation during Shiveluch and Bezymyanniy volcano eruptions from 2017 to 2023 . . .	138
1.4	Mandrikova O.V., Fetisova N.V. Analysis of ionospheric parameters during solar events and magnetic storms . .	139
1.5	Kurdyayeva Y.A., Kshevetskii S.P. Approximation of small amplitude atmospheric waves short in vertical . .	140
1.6	Lavrentieva N.N., Dudaryonok A.S., Kitaeva A.V., Krapivnaya O.N. Carbon dioxide line broadening coefficients induced by N_2 , N_2O and CO	141
1.7	Gross R.P., Kurdyayeva Y.A. Comparative study of atmospheric wave propagation from a meteorological source using the WRF model	142
1.8	Tverdyi D.A., Malkin E.I., Parovik R.I. Computer simulation of the propagation of a plane electromagnetic wave in a waveguide formed by the Earth’s surface and the ionosphere under the condition of inhomogeneous boundary conductivity	143
1.9	Toropov A.A., Nagorskiy P. M Correlation between variations of the atmospheric electric field and the concentration of micron dust particles in the surface layer of the atmosphere	145
1.10	Sivokon V.P. Dusty plasma in the area of active influence on the ionosphere	146
1.11	Timchenko A.V., Borchevkina O.P., Bessarab F.S. Dynamics of mesospheric ozone during geomagnetic and meteorological disturbances	147
1.12	Balabin Yu.V. Event GLE66 (29.10.2003): solution of the inverse problem on a new basis	148

1.13	Yuan Wei, Xu Jiyao, Wu Kun Evolution of Ionospheric Plasma Density Enhancement on 8 February and 4 November 2018	149
1.14	Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Mauricev E.A., Gvozdevsky B.B., Mikhalko E.A. GLE73: first solar cosmic ray event in 25th cycle	150
1.15	Didenko K.A., Koval A.V., Ermakova T.S., Toptunova O.N. Generation of a secondary planetary waves in the middle and upper atmosphere	152
1.16	Shevtsov B.M. Influence of solar activity on the optical properties of the atmosphere	153
1.17	Marichev V.N., Bochkovsky D.A. Intra-year dynamics of the background stratospheric aerosol over Tomsk according to the data of lidar monitoring	154
1.18	Xu Jiyao, Yuan Wei Introduction on The Ground-Based Airglow Network of China	155
1.19	Xu Jiyao, Wang Chi Introduction to the Progress of the Chinese Meridian Project	156
1.20	Marichev V.N., Bochkovsky D.A. Lidar studies of the thermal regime of the middle atmosphere over Tomsk in 2022	157
1.21	Cheremisin A.A., Novikov P.V., Romanchenko I.I., Marichev V.N., Bochkovsky D.A. Meteor aerosol observations in the stratosphere over Tomsk in August 2013	158
1.22	Li Lei Near-surface atmospheric electric field changes through magnetic clouds via coronal mass ejections . . .	160
1.23	Petrova T.M., Deichuli V.M., Solodov A.M., Solodov A.A., Lavrentieva N.N., Kitaeva A.V. New spectroscopic data on water and carbon dioxide molecules absorption lines	161
1.24	Koval A.V., Gavrilov N.M., Ermakova T.S., Didenko K.A. Numerical simulation of sudden stratospheric warming events at different phases of the solar activity cycle	162
1.25	Tashkun S.A. On the possibility to control emissions of CO ₂ in seismic active regions using the OCO-2 satellite data	163
1.26	Kozlov V.I., Tarabukina L.D. Radio pulses of multicomponent lightning in Yakutia	164

1.27	Pavlov I.A., Padokhin A.M. Reconstruction of regional distributions of electron density in the ionosphere from heterogeneous remote sensing data	166
1.28	Malkin E.I., Kazakov E.A., Cherneva N.V., Sannikov D.V., Druzhin G.I., Lichtenberger J. Relation between sprites and whistlers based on AWDANET and WWLLN data	167
1.29	Marichev V.N., Yushkov V.A., Balugin N.V., Bochkovsky D.A. Results of the experiment on joint lidar and balloon-balloon sounding of the troposphere and stratosphere	168
1.30	Ivanov A.K., Medvedev A.I., Varzar L.S, Pavlov I.A., Kurbatov G.A., Padokhin A.M. Single station absolute TEC estimation based solely on dual frequency GNSS phase observables	170
1.31	Kalegaev V.V., Karmanov D.E., Kovalev I.M., Kurganov A.A., Panov A.D., Podzolko M.V., Podorozhny D.M., Turundaevsky A.N. Space project “Modulation”, a new approach to studying the fluxes of galactic cosmic rays in the field of solar modulation energies	171
1.32	Mironov A.D., Zubov B.A., Rozanov E.V. Study of factors influencing polar ozone using CCM SOCOL-3: solution of the problem with difference from satellite data	172
1.33	Fazliev A.Z., Lavrentiev N.A., Lavrentieva N.N., Privezentsev N.A. Systematization of Spectral Data Sources Containing the Parameters of Spectral Lines of the Carbon Dioxide Molecule and Its Isotopologues in the W@DIS	173
1.34	Toropov A.A. Thunderstorm activity in the Arctic region according to observations in Tiksi	175
1.35	Mironova I.A., Bazilevskaya G.A., Grankin D.V., Mironov A.D., Rozanov E.V. Variations in the parameters of the middle atmosphere during geomagnetic disturbances	176

2	Geophysical fields and their interaction	177
2.1	Korochentsev V.I., Xue Wei, Statsenko L.G., Bengard A.V. Methods of improving the energy efficiency of communication systems taking into account dynamic characteristics in an ice environment.	178
2.2	Riabova S.A., Shalimov S.L. About observed quasi-periodicity of geomagnetic jerks according to the data of the Moscow Observatory	179
2.3	Gvozdarev A.Y., Khomutov S.Y., Arora K., Chandrashekhar P. About some small effects in magnetic field at observatories Paratunka (Kamchatka, Russia) and Choutuppall (India)	180
2.4	Larionov I.A., Mishchenko M.A., Marapulets Yu.V., Bogomolov L.M., Vaskin V.A. Acoustic emission during granite specimen deformation in the experiments on three-point bending	182
2.5	Bogomolov V.V., Svertilov S.I., Osedlo V.I., Bengin V.V., Zolotarev I.A., Iyudin A.F., Klimov P.A., Nechaev O.Yu., Yashin I.V., Antonyuk G.I., Kucherenko I.A. Advanced Instruments for Geo and Helio Environment Monitoring on the Cubesat Format Spacecraft	183
2.6	Mandrikova O.V., Mandrikova B.S. Analysis of cosmic ray variations during periods of strong magnetic storms in 2022-2023 (according to neutron monitors data) . . .	185
2.7	Mandrikova O.V., Polozov Y.A. Analysis of ionospheric parameters based on threshold wavelet filtering (from foF2 data of Paratunka (Russia) and Wakkanai (Japan) stations)	186
2.8	Savina O.N., Bepalov P.A., Zharavina P.D. Atypical Quasi-Periodic VLF Emissions Associated with Large-Scale Atmospheric Processes	187
2.9	Despirak I.V., Kleimenova N.G., Lubchich A.A. Auroral disturbances during two magnetic storms in 2023	188
2.10	Kazakov E.A. Chaotic regimes in hereditary two-mode dynamo models	189
2.11	Sheremetyeva O.V. Conditions for generating a chaotic regime in a low-mode $\alpha\Omega$ -dynamo model with hereditary α -quenching by field energy	190

2.12	Semakov N.N., Gniteeva O.S., Kovalev A.A. Correlation of integral characteristics of equivalent magnetic dipoles in January–February 2023 according to observatory data	191
2.13	Korochentsev V.I., Jianjun Zhu, Ryzhikh V.V., Shpak Yu.V. Development of adaptive methods of synthesis of hydroacoustic antennas used for work in an ice environment	192
2.14	Popova T.A., Yahnina T.A., Lubchich A.A., Demekhov A.G. Effect of the asymmetry of the Earth’s magnetic field on the precipitation of energetic particles	193
2.15	Gvozdarev A.Y., Kazantseva O.V., Uchaikin E.O. Estimation of geinduced currents in the power system of the Altay Republic according to the Baigazan magnetic station data	194
2.16	Bespalov P.A. Excitation of Chorus VLF Emissions in the Daytime Magnetosphere	195
2.17	Smirnov S.E., Zhizhin M.N. Generation of atmospheric gravity waves before the earthquake in Japan on March 16, 2022 M=7.3	196
2.18	Aronov G.A., Aronov A.G., Saladukhin I.A., Kadytau A.A., Laziuk V.M. Geomagnetic measurements at “Pleshchenitsy” observatory (Minsk)	197
2.19	Lubchich A.A., Despirak I.V., Setsko P.V., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N. Geomagnetically induced currents during a strong magnetic storm in April 2023	198
2.20	Khaerdinov N. S. Local variations of the total electron content of the ionosphere as measured in the North Caucasus Mountains	199
2.21	Shcherbina A.O., Solodchuk A.A., Vaskin V.A., Torgonskiy V.E. Localization of acoustic emission sources according to the data of a distributed system of combined receivers	200
2.22	Cai Chunlin Magnetosheath Filamentary Structures Driven by Foreshock Energetic Ions	201
2.23	Despirak I.V., Kleimenova N.G., Malysheva L.M., Gromova L.I., Lubchich A.A. Main features of substorms on the contracted oval	202

2.24	Mishchenko M.A., Rulenko O.P., Marapulets Yu.V. Manifestation of seismic-acoustic and seismic-electric response of near-surface rocks in Kamchatka	203
2.25	Feshchenko L.K., Vodinchar G.M. Matching the parameters of shell turbulence models with the probabilities of interaction of wave shells	204
2.26	Akbashev R.R., Malkin E.I., Budilova E.A. Modeling the electric field of eruptive clouds from explosions of the Ebeko volcano taking into account the terrain	205
2.27	Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Bogomolov A.V., Osedlo V.I., Bengin V.V., Zolotarev I.A., Iyudin A.F., Kalegaev V.V., Yashin I.V., Antonyuk G.I., Zhilchenko K.S., Mutin A.A. Observations of space weather effects from the Moscow University nano-satellite constellation SOZVEZDIE-270	206
2.28	Vodinchar G.M. Oscillator associated with one two-mode dynamo model with memory	208
2.29	Khomutov S.Y., Kovalev A.A., Gvozdarev A.Y., Semakov N.N. Possible railway effects in magnetic measurements at Geophysical Observatory Novosibirsk .	210
2.30	Khaerdinov N. S. Recording the “Rock Battery” current	211
2.31	Polozov Y.A. SME geomagnetic index data prediction based on wavelet transform and LSTM neural networks	212
2.32	Bogomolov L.M., Kostylev D.V., Kostyleva N.V., Dudchenko I.P., Gulyakov C.A., Mischenko M.A., Stovbun N.S. Seismoacoustical signatures of inverse seismoelectrical effect of II kind during electric soundings	213
2.33	Parovik R.I. Selkov Dynamic System with Variable Heredity for Describing Microseismic Regimes	215
2.34	Mingazova D.F., Parovik R.I. Some Aspects of the Qualitative Analysis of the High-Frequency Geoacoustic Emission Model	216
2.35	Myagkova I.N., Dolenko S.A., Kalegaev V.V. Space Weather Prediction in SINP MSU Space Weather Analysis Center	218
2.36	Kendirbaeva Zh.Zh. The main features of the spatio-time relationship of the thermo-mineral water regime and the development of the stress-strain state of the Earth’s crust in Kyrgyzstan	219

2.37	Shyrokov V.A., Yakunina E.N. The methods of long-term forecasting of volcanic eruptions in Kamchatka: their effectiveness and significance according to retrospective data	221
2.38	Bakhareva L.T., Vilyaev A.V. Variations in atmospheric pressure anomalies during strong earthquakes in Kazakhstan	222
2.39	Poklad Yu.V., Ryakhovsky I.A., Gavrilov B.G. Variations in the parameters of the signal from the A1F3 VLF transmitter received at the Mikhnevo geophysical observatory during a series of earthquakes in Turkey in February 2023	224
2.40	Osedlo V.I., Antonyuk G.I., Bengin V.V., Zolotarev I.A., Nechaev O.Yu., Svertilov S.I. Monitoring of radiation fields in near-earth space with the use of KODIZ instrument on-board cubesat "Monitor-1"	225
3	Physics of earthquake precursors	226
3.1	Bogdanov V.V., Pavlov A.V. A seismic phenomenon considered from the standpoint of nonequilibrium thermodynamics as a process of destruction of an unstable nonlinear structure on the example of the Kronotsky earthquake on 05 December 1997	227
3.2	Sychev V.N., Bogomolov L.M., Kostylev D.V., Kostyleva N.V. Analysis of the seismicity of Sakhalin from the standpoint of non-extensive statistical physics .	229
3.3	Volkov V.A., Dubrov M.N., Larionov I.A., Mrlina J., Polak V., Aleksandrov D.V., Golovachev S.P. Atmosphere and lithosphere interaction could triggered the 2023 M_w 7.8 Turkey earthquake	231
3.4	Chen Tao Atmospheric electric field negative abnormal signals from multiple stations along Xianshuihe rupture zone before Luding Ms 6.8 Earthquake	233
3.5	Beloslyudtsev O.M., Vilyaev A.V. Connection of the seismic regime of the Northern Tien-Shan with changes in electromagnetic field parameters	234
3.6	Bogdanov V.V., Pavlov A.V. Disturbances in E and F layers of the ionosphere preceding earthquakes in the Kamchatka region	235

3.7	Liperovskaya E.V., Rodkin M.V. Earthquake precursors in the F-region of the ionosphere, statistics of seismoionospheric effects according to the data of vertical ionospheric sounding stations of Japan	236
3.8	Pilipenko V.A., Martines-Bedenko V.A. Global geomagnetic disturbances associated with distant earthquakes: discovery or error?	237
3.9	Zakupin A.S. LURR (load-unload response ratio): new results on the example of the Tokachi-Oki earthquake (25.09.2003, M=8)	238
3.10	Kopylova G.N., Serafimova Yu.K., Lyubushin A.A. Meteorological anomalies and strong Kamchatka earthquakes	239
3.11	Senkevich Yu.I., Mischenko M.A. Observation for changes in the surface soil layer state from the linguistic processing of geoacoustic emission results	241
3.12	Makarov E.O., Akbashev R.R. Operational precursors of the earthquake on March 16, 2021 with Mw=6.6, Kamchatka	242
3.13	Shevtsov B.M., Sheremetyeva O.V. Power-law composite and fractional Poisson process in the theory of anomalous phenomena	243
3.14	Riabova S.A., Shalimov S.L. Response of the geomagnetic field to the earthquake in Turkey on February 6, 2023	244
3.15	Iskakov B.A., Sadykov T.Kh., Salikhov N.M., Zhukov V.V., Mukashev K., Tautayev Y.M., Shepetov A.L. Search for geoacoustic emission signals during the passage of penetrating particles of cosmic rays through the earth's crust	245
3.16	Sycheva N.A. Seismic process of the Anatolian plate (Türkiye)	247
3.17	Sycheva N.A. Seismo-tectonic deformations of the earth's crust of the Anatolian plate (Türkiye)	248
3.18	Komitov B.P., Kaftan V.I. Space Weather Phenomena And Their Trigger Effects Over Earth Seismic And Volcanic Activity	249
3.19	Kasimova V.A. Statistical properties of background seismic noise on a network of seismic stations in the region of the Kamchatka peninsula and strong earthquakes	251

3.20	Tverdyi D.A., Makarov E.O., Parovik R.I. Studies of the stress-strain state of the geoenvironment by emanation methods, for example, alpha(t)-radon transport models	253
3.21	Rulenko O.P. The reason for abnormal behavior of animals that use the soil and surface air for breathing prior to the earthquake	254

Author index	258
---------------------	------------

1 Физика атмосферы

1.1 О зависимости частоты шумановских резонансов на Алтае от солнечной активности

Гвоздарев А.Ю.¹, Учайкин Е.О.²

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

² *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горно-Алтайский государственный университет»*

Представлены результаты мониторинга параметров первых трёх шумановских резонансов на магнитной станции «Байгазан» (Горный Алтай) в 2015-22 г. Обсуждается связь суточной динамики амплитуды резонансов с активностью мировых грозных центров (Юго-Восточная Азия, Африка, Америка). Показано, что частота первого шумановского резонанса скоррелирована с уровнем солнечной активности за эти годы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-45-040013 р-а и Министерства образования и науки Республики Алтай.

1.2 Анализ изотополога $^{14}\text{N}^{18}\text{O}$ в инфракрасной области спектра 5200 – 5500 cm^{-1} : молекулярные константы для колебательного состояния $\nu=3$

Борков Ю.Г., Сулакишина О.Н., Сердюков В.И., Синица Л.Н.

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

Продолжая исследования различных изотопов оксида азота авторами был проанализирован инфракрасный спектр высокого разрешения N^{18}O в области 5200-5500 cm^{-1} . На Фурье-спектрометре Bruker IFS-125M со спектральным разрешением 0,0056 cm^{-1} впервые зарегистрирована колебательная полоса 3-0. В результате анализа обнаружено 99 Λ -дублетов колебательно-вращательных линий в полосе 3-0 основных переходов между электронными состояниями $^2_{1/2}$ и $^2_{3/2}$. Для 58 из них удалось получить положения и относительные интенсивности каждой компоненты дублета. Весь набор из 157 зарегистрированных частот переходов, взвешенных в соответствии с экспериментальными погрешностями, обрабатывался программным кодом с использованием нелинейного метода наименьших квадратов. Эта обработка позволила определить спектроскопические константы для состояния $\nu=3$ колебательного состояния изотопа N^{18}O . Константы Λ -удвоения для этого состояния определены впервые. Полученные результаты сравниваются с известной базой спектроскопической информации HITRAN2020. Исследования выполнены по договору № 23-23-00184 с Российским научным фондом.

1.3 Анализ электромагнитного излучения при извержениях вулканов Шивелуч и Безымянный с 2017-2023 гг.

Малкин Е.И.¹, Чернева В.И.², Махлай Д.О.², Чернева Н.В.¹, Санников Д.В.¹, Дружин Г.И.¹, Акбашев Р.Р.³, Холсворт Р.⁴

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

² *Национальный исследовательский университет ИТМО, Россия*

³ *ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Камчатский филиал, Петропавловск-Камчатский*

⁴ *Университет Вашингтона*

В работе представлен анализ мониторинга импульсного электромагнитного излучения естественного происхождения (ИЭИ) в ОНЧ диапазоне (3-30 кГц), сопутствующего грязным грозам, возникшим при извержении вулканов Шивелуч и Безымянный. Наличие грозовой активности в пепло-газовом облаке при извержении вулкана отслеживается при помощи радиотехнических средств мониторинга, расположенных в районе р. Карымшина. В проведенных исследованиях за период накопленных данных с 2017 по 2023 гг. было проанализировано более 40 извержений вулкана Шивелуч, более 75% из которых привели к образованию гроз при извержении, в то время как при извержении вулкана Безымянный за указанный период все события сопровождаются увеличением ИЭИ, характерного для «грязных» гроз. Было продемонстрировано, что для всех случаев характерен двух-стадийный сценарий развития события. Первая стадия увеличения ИЭИ сопровождается образованием эруптивной колонны и зависит от мощности взрыва и высоты пеплового выброса, вторая стадия зависит от мощности извержения и от взаимодействия эруптивного облака в процессе его распространения с облаками метеорологического происхождения (об этом может свидетельствовать увеличение количества разрядов типа облако-облако). Также был показан механизм грозообразования в эруптивных облаках, объясняющий двух-стадийность.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

1.4 Анализ параметров ионосферы в периоды солнечных событий и магнитных бурь

Мандрикова О.В., Фетисова Н.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Реакция ионосферы на солнечные и геомагнитные события (геомагнитные бури и суббури, СМЕ и вспышки на Солнце, CIR) проявляется в виде формирования ионосферных возмущений (ионосферных бурь). Они могут состоять из положительной и отрицательной фаз, характеризующих изменение электронной концентрации. Характер протекания ионосферной бури зависит от координат станции регистрации, сезона, геомагнитной бури и ее интенсивности, и др. параметров. Последние исследования показывают, что ионосферные возмущения также могут наблюдаться на подготовительной фазе магнитных бурь, что представляет особый интерес для решения задач прогноза космической погоды.

В работе представлены результаты анализа параметров ионосферы в периоды магнитных бурь, произошедших в 2017 – 2022 гг. (анализировались данные foF2 станции Паратунка, Камчатский край). Поведение вариаций foF2 исследовалось в зависимости от силы геомагнитного возмущения (рассматривались события слабой, умеренной и высокой интенсивности). Также в анализе учитывались основные межпланетные драйверы возмущений (СМЕ, CIR, события смешанной природы). Анализ выполнялся с использованием разработанной авторами обобщенной многокомпонентной модели (ОМКМ), основанной на совместном применении вейвлет-преобразования и АРСС моделей. В процессе моделирования детектированы ионосферные аномалии и выполнена оценка их параметров (интенсивность, длительность, момент начала). Выделены характерные особенности динамики параметров ионосферы в возмущенные периоды, определяемые факторами космической погоды. Подтверждена высокая частота эффекта предвышения (положительная аномалия) накануне умеренных и сильных магнитных бурь.

Работа выполнена в рамках ГЗ по теме «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер: АААА-А21-121011290003-0. Авторы благодарят институты, поддерживающие станции регистрации данных, которые были использованы в исследовании.

1.5 Приближение коротких по вертикали атмосферных волн малой амплитуды

Курдяева Ю.А.^{1,2}, Кшевцевский С.П.^{3,1}

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет*

² *Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

³ *Балтийский государственный университет им. И. Канта*

Акустические и внутренние гравитационные волны, генерируемые разнообразными тропосферными источниками, значительно влияют на состояние атмосферы. В большинстве крупномасштабных моделей атмосферы волны учитываются путем использования параметризаций. В работе построены формулы приближения коротких по вертикальной переменной волн, пригодные для параметризации волновых эффектов в численных моделях глобальной динамики атмосферы. При выводе формул был использован вариант коротковолнового приближения, основанный на методе разных масштабов. Выведенные формулы полные и более тонко учитывают изменение параметров атмосферы с высотой, в сравнении с другими версиями приближения коротких вдоль вертикали волн. Сформулированы условия применимости приближенных формул для описания акустико-гравитационных волн, распространяющихся с тропосферных высот до высот термосферы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (договор 075-15-2021-583).

1.6 Коэффициенты уширения линий углекислого газа давлением N_2 , N_2O и CO

Лаврентьева Н.Н.¹, Дударенок А.С.¹, Китаева А.В.²,
Крапивная О.Н.³

- ¹ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, Россия*
- ² *Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия*
- ³ *Институт технической акустики НАН Беларуси, 210009, г. Витебск, пр. Генерала Людникова, 13, Белоруссия*

Исследование влияния солнечной активности на динамику атмосферы невозможно без знания точных параметров спектральных линий, используемых в качестве входных данных в задачах расчета поглощения солнечного излучения в атмосфере. Первостепенное значение имеют полуширины и сдвиги линий углекислого газа, являющегося одним из наиболее активных парниковых газов, давлением атмосферных составляющих (в первую очередь – N_2). Представлены коэффициенты уширения линий углекислого газа давлением азота, оксида азота и окисью углерода при комнатной температуре ($T=296$ К). С помощью перестраиваемого CO_2 -лазера определены ненасыщенные коэффициенты поглощения линий углекислого газа в полосе (1000)-(0001); получены температурные зависимости коэффициентов ударного уширения линии в диапазоне $300\text{ К} \leq T \leq 700\text{ К}$. Измерения проведены в чистом газе CO_2 и в бинарных газовых смесях CO_2 с буферными газами N_2 , N_2O и CO в соотношении 1:2 при давлении 100 Торр. Расчёты полуширин линий углекислого газа выполнены для переходов P- и R-ветвей в исследуемом интервале температур. Полученные данные сравнивались с экспериментальными полуширинами линий для следующих линий: P(8), P(22), P(36), R(8), R(22). Затем расчеты были проведены для широкого диапазона вращательного квантового числа J (до 100). Для каждой полуширины линии вычислены коэффициенты температурной зависимости. Проведены сравнения полученных нами параметров контура линий с литературными данными, получено хорошее согласие. Расчеты выполнены полуэмпирическим методом [Mol. Phys. 102 (2004) 1653], основанным на полуклассической ударной теории уширения линий и дополненным введением корректирующего фактора, параметры которого определяются с использованием экспериментальных данных.

1.7 Сравнительное исследование распространения атмосферных волн от метеорологического источника с использованием модели WRF

Гросс Р.П.¹, Курдяева Ю.А.²

¹ *Балтийский Федеральный университет И. Канта*

² *Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук*

Внутренние гравитационные волны (ВГВ) являются важным элементом атмосферной динамики. Качественное моделирование этих волн представляет собой актуальную задачу современной геофизики. Разные подходы для учета вклада ВГВ в численных моделях в энергетический баланс атмосферы обычно требуют сравнения результатов моделирования с данными экспериментальных наблюдений. Однако такое сравнение обычно осложнено интерпретацией экспериментальных результатов, которые могут быть получены, например, в сложной гелиофизической обстановке. Сравнение модельных результатов с более точными данными, однозначно связанными только с конкретным тропосферным источником волн, могут значительно улучшить качество моделирования и развить представления о вертикальном распространении атмосферных волн.

В работе было выполнено моделирование реального метеорологического события в Московском регионе 29 мая 2017 года с применением мезомасштабной атмосферной модели WRF. Было исследовано распространение ВГВ в стратосфере и нижней мезосфере в изучаемый период. Получены оценки волнового сопротивления и энергии ВГВ. Проведено сравнение результатов WRF-моделирования и моделирования этого же события с использованием региональной численной модели нейтральной атмосферы AtmoSum с различными начальными условиями. Модель AtmoSum точно рассчитывает изменение гидродинамических функций, обусловленное только метеорологическим источником. Сравнение позволило оценить, как изменение параметров нижней атмосферы влияет на распространение атмосферных волн и другие динамические процессы. Полученные результаты позволили проанализировать,

насколько качественно модель WRF может воспроизводить атмосферные волны, генерируемые метеорологическими источниками.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-17-00208.

1.8 Компьютерная симуляция распространения плоской электромагнитной волны в волноводе, образованном поверхностью Земли и ионосферой при условии неоднородной проводимости границ

Твёрдый Д.А., Малкин Е.И., Паровик Р.И.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В результате сильных землетрясений с величинами магнитуд порядка 7 и более, насыщенность подземных вод вторичными минералами увеличивается, приводя к локальному увеличению проводимости земли. Электрофизические свойства земли, которая является нижней границей волновода определяют его параметры. Которые влияют на характеристики распространяющихся в волноводе электромагнитных волн. Грозовые разряды являются естественными источниками импульсного электромагнитного излучения (атмосферика). Атмосферик распространяется в волноводе Земля-Ионосфера как плоская электромагнитная волна с широким спектром частот с максимумом интенсивности в диапазоне 4-10 кГц.

Анализируя параметры атмосферика можно установить наличие неоднородности проводимости стенки волновода. С целью проверки данного предположения были проведены компьютерные симуляции распространения электромагнитного широкополосного сигнала в волноводе с неоднородной проводимостью границ. В пространстве компьютерных данных моделировались как источник данного сигнала, так и его область распространения представляющая собой волновод. Для системы уравнений Максвелла ставится краевая задача с условиями в виде Perfectly matched layer (PML), что позволяет определить структуру области распространения как проводящий объём волновода с неоднородностями на его стенках. Математическая модель решается численным методом Finite-Difference Time-domain. Для решения поставленной задачи и проведения компьютерного моделирования разработан программный комплекс в среде MATLAB. Проведя ряд компьютерных симуляций в работе показано, что имеет место рассеяние электромагнитной волны на неоднородности волновода.

Благодаря математическому моделированию процесса взаимодействия электромагнитного излучения с неоднородностью в волно-

воде можно установить связь между характеристиками излучения и неоднородностями.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

1.9 Взаимосвязь вариаций атмосферного электрического поля и концентрации частиц микронной пыли в приземном слое атмосферы

Торопов А.А.¹, Нагорский П.М.²

¹ *ИКФИА СО РАН*

² *ИМКЭС СО РАН*

На основе наблюдений в пунктах Якутск и Тикси получен массив данных синхронных измерений атмосферного электрического поля, метеопараметров атмосферы и концентрации частиц микронной пыли размером 2,5 мкм и 10 мкм (PM2.5, PM10). Показано влияние сильных электрических полей в атмосфере (предгрозовое, грозовое, пурговое) на концентрацию частиц микронной пыли и их фракционный состав в зависимости от полярности и величины напряженности атмосферного электрического поля. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-27-00600, <https://rscf.ru/project/22-27-00600/>

1.10 Пылевая плазма в области активного воздействия на ионосферу

Сивоконь В.П.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Исследования активного воздействия на ионосферу проводятся достаточно давно, с использованием значительных мощностей и разнообразных технологий. Однако, ожидаемые результаты, как правило, существенно завышены. Вероятнее всего причиной подобного расхождения являются неучтенные природные факторы, например наличие пыли в плазме. В докладе, на основе анализа электромагнитного излучения нагревного стенда EISCAT делается попытка оценить влияние пыли из метеорного потока Геминиды на рассеивающие и динамические характеристики искусственных магнитоориентированных неоднородностей ионосферы.

1.11 Динамика мезосферного озона при геомагнитных и метеорологических возмущениях

Тимченко А.В.^{1,2}, Борчевкина О.П.^{1,2}, Бессараб Ф.С.^{1,2}

¹ *Калининградский филиал Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

² *Санкт-Петербургский государственный университет*

Проанализированы данные спутниковых измерений концентрации озона во время геомагнитной бури в октябре 2015 года, а также во время метеорологических штормов в восточной Европе в марте 2014 и в октябре 2018 годов на высотах мезосферы и нижней термосферы в средних и высоких широтах северного полушария. Наблюдения с помощью прибора SABER (зондирование атмосферы с использованием широкополосной эмиссионной радиометрии) на спутнике TIMED (термосфера, ионосфера, мезосфера, энергетика и динамика) использовались для определения вариаций озона во время выбранных событий. В октябре 2015 была сильная геомагнитная буря, значение Ap индекса достигало 74 нТл, а метеорологические шторма проходили на фоне слабовозмущенной геомагнитной обстановки. Рассматриваются особенности изменения концентрации озона во время геомагнитной бури и метеорологических штормов, обсуждаются возможные механизмы наблюдающихся пространственных и временных вариаций озона.

Данное исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение 075-15-2021-583).

1.12 Событие GLE66 (29.10.2003): решение обратной задачи на новой основе

Балабин Ю.В.

Полярный геофизический институт

В октябре-ноябре 2003 произошла серия вспышек на Солнце, сопровождавшаяся корональными выбросами масс и наземными возмущениями в солнечных космических лучах (событие GLE). Мировой сетью нейтронных мониторов были зарегистрированы события GLE65, GLE66 и GLE67 (28.10.03, 29.10.03 и 02.11.03, соответственно). За прошедшее время они не раз изучались, определялись параметры спектра солнечных космических лучей (СКЛ), анизотропии потока СКЛ. Но второе событие GLE66 нередко опускалось, внимание сосредотачивалось на первом и третьем событиях. Причина в том, что GLE66 произошло в момент сильнейшей магнитной бури и глубокого форбуш-понижения в космических лучах, вызванного приходом к Земле выброса масс от предыдущей вспышки. Подобное экстремальное состояние магнитосферы случается редко, модели описывают магнитосферу в таком состоянии приближенно. Для нашей методики решения обратной задачи, использующей подробный и точный расчет асимптотических конусов приема нейтронных мониторов мировой сети, неопределенность состояния магнитосферы вносит основную ошибку при решении. В данной работе мы впервые использовали буревую модель магнитосферы Цыганенко (Т-03). Представлены результаты первого подробного изучения события GLE66, получены спектры СКЛ в разные моменты времени и показана их динамика в течение события. Сравнение полученных спектров со спектрами в событиях GLE65 и GLE67 показывает постепенное уменьшение жесткости спектра от GLE65 к GLE67. Также результатом работы можно считать вывод, что буревая модели магнитосферы Т-03 удовлетворительно описывает экстремальное состояние магнитосферы, поскольку полученные спектры СКЛ для GLE66 составляют со спектрами СКЛ в GLE65 и GLE67 единую систему, демонстрирующую эволюцию спектров СКЛ на протяжении всей серии событий.

1.13 GLE73: первое событие в солнечных космических лучах в 25-м цикле

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

Полярный геофизический институт

Новый, 25-й цикл солнечной активности начался в середине 2019 г. 28 сентября 2021 г. было зарегистрировано первое событие нового цикла в солнечных космических лучах (GLE). Несмотря на небольшую амплитуду, его зарегистрировали многие станции мировой сети нейтронных мониторов. На нейтронных мониторах в Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген) возрастание потока космических лучей составило 4%, а максимальная зарегистрированная амплитуда возрастания составила 6% на станции Форт Смит. Событию присвоено обозначение GLE73. GLE73 произошло от активной области A2887 типа Beta-Gamma с координатами S26E04, начало события в 16:20 UT по пятиминутным данным нейтронных мониторов. Вспышка имела класс X1.0, максимум рентгеновского излучения достигнут в 15:35 UT, тип вспышки II/VI. Межпланетная обстановка в течение суток, когда произошло событие GLE, была спокойной, Кр-индекс составлял 1, Dst-индекс находился около 0, скорость и плотность солнечного ветра были умеренными. GLE73 вызвало возрастание потока космических лучей 2-6% на полярных станциях мировой сети нейтронных мониторов, а приэкваториальные станции возрастания не отметили, что указывает: спектр солнечных космических лучей был мягким. Данных мировой сети достаточно для решения обратной задачи: определение параметров потока солнечных космических лучей. В результате выполненного решения получены энергетические спектры и питч-угловое распределение потока солнечных космических лучей на протяжении максимальной фазы события с шагом в 5 минут. Спектр на фазе роста имел экспоненциальную форму, затем наблюдается постепенный переход к степенной зависимости. Значение характеристической энергии для экспоненциального спектра составило $E_0 = 0.57$ ГэВ в максимуме события, а показатель степенной зависимости $\gamma = 5.5$. Адаптивная форма задания питч-углового распределения, используемая в нашей методике, позволяет описать широкий класс форм распределения от простого гауссиана до двунаправленного распределения, причем, выбор подходящей формы производится автома-

тически в процессе поиска решения. После начальной фазы питч-угловое распределение устойчиво приобретает линейную форму с пьедесталом, который представляет изотропную часть потока солнечных космических лучей. Линейное питч-угловое распределение присутствует только на питч-углах меньше 90° . Сравнение данного события с предыдущими из 24-го цикла показывает, что характеристики спектра и питч-углового распределения являются типичными. Линейное питч-угловое распределение наблюдалось в событиях GLE с конца 23-го цикла.

1.14 Генерация вторичных планетарных волн в средней и верхней атмосфере

*Диденко К.А.^{1,2}, Коваль А.В.^{1,2}, Ермакова Т.С.^{1,2},
Топтунова О.Н.²*

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет*
² *Российский государственный гидрометеорологический университет*

Планетарные волны (ПВ), известные также как волны Россби, представляют собой крупномасштабные колебания гидродинамических параметров атмосферы (ветер, температура, плотность) и образуются из-за широтного градиента потенциальной завихренности. Распространяясь от своих источников в тропосфере, ПВ переносят энергию и импульс, вызывая аномалии стратосферной циркуляции, а также передают сигнал между различными атмосферными слоями и областями. С целью исследования воздействия отдельных планетарных волн на глобальную атмосферную циркуляцию был проведен ряд численных экспериментов с использованием модели общей циркуляции средней и верхней атмосферы МСВА для условий зимы Северного полушария (январь–февраль). Был проведен референсный прогон модели с включением всех источников рассматриваемых ПВ: волны с периодами около 5, 10, 16 суток (зональное число $m=1$), 4 и 7 суток (зональное число $m=2$), распространяющаяся на восток сверхбыстрая волна Кельвина с периодом около 3.5 суток (зональное число $m=1$). Кроме этого, были проведены прогоны с выключенными источниками отдельных волн. По результатам экспериментов был обнаружен эффект генерации 16-дневной ПВ внутренним атмосферным источником в южной нижней термосфере, не зависящим от тропосферных источников ПВ, заданных в модели. Для объяснения наблюдаемого эффекта была исследована изменчивость возмущенной потенциальной энтропии (ПЭ) – квадрат потенциальной завихренности. При таком подходе исследуют вклад в баланс возмущенной потенциальной энтропии различных нелинейных процессов. Показано, что генерация вторичной 16-дневной ПВ осуществляется за счет нелинейного взаимодействия 4-дневной ПВ с волновым числом 2 и 5-дневной ПВ с волновым числом 1.

1.15 Влияние солнечной активности на оптические свойства атмосферы

Шевцов Б.М.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Рассматривается проект лидарных наблюдений в диапазоне высот 0-700 км в целях: исследования модификации оптических свойств термосферы в линиях атомарного кислорода 555.5, 557.7 и 630 нм и в линии атомарного азота 534 нм под воздействием ультрафиолета и высыпаний заряженных частиц; исследования влияния солнечной активности на ионизацию и прозрачность средней и нижней атмосферы; разработки методов лидарного зондирования с учетом различных типов рассеяния на разных высотах атмосферы. Линии атомарного кислорода и азота выбраны на основе наблюдений свечения ночного неба во время высыпаний заряженных частиц над Камчаткой в феврале 2012 г. Возможность лидарных наблюдений резонансного рассеяния в линиях атомарного кислорода и азота оценивается с помощью анализа базы спектральных данных, диаграмм Гротриана и результатов лидарных наблюдений рассеяния на ионах атомарного кислорода и азота, выполненных ранее. Необходимость этих исследований обусловлена тем, что на высотах 200-500 км преобладает атомарный кислород, взаимодействие которого с солнечным излучением отвечает за оптическое состояние верхних слоев атмосферы. Оптическое состояние средних и нижних слоев атмосферы необходимо знать для выполнения лидарных наблюдений в термосфере. Полученные комплексные результаты могут быть использованы в исследованиях климатических изменений, обусловленных изменчивостью солнечной активности, а также при разработке оптических коммуникационных систем. Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

1.16 Внутригодовая динамика фонового стратосферного аэрозоля над Томском по данным лидарного мониторинга

Маричев В.Н., Бочковский Д.А.

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

В докладе представлен анализ данных внутригодовой изменчивости вертикально-временной структуры фонового аэрозоля и его интегрального наполнения в стратосфере, полученные на лидарном комплексе станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН за 2022 г. По результатам мониторинга, как и в предыдущие годы, установлена устойчивая тенденция накопления стратосферного аэрозоля в холодный период года с максимальным содержанием в январе и убыванием весной до практического отсутствия в июне-июле. С сентября начинается рост содержания аэрозоля в стратосфере до его максимального значения в зимний период. В верхней стратосфере (30–50 км) в течение всего года фоновый аэрозоль отсутствует.

1.17 Лидарные исследования термического режима средней атмосферы над Томском в 2022 г.

Маричев В.Н., Бочковский Д.А.

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

В работе представлены результаты лидарных исследований поведения термического режима средней атмосферы над Томском в период за 2022 г. Отметим, что такие исследования в мониторинговом режиме в институте оптики атмосферы СО РАН были начаты с 1994 года и продолжаются в настоящее время. Особое внимание уделяется изучению проявления внезапных возмущений в стратосфере, вызываемых зимними стратосферными потеплениями (СП). По опыту многолетних исследований термического режима средней атмосферы нами установлено, что СП потепления для средних широт (Томск, 56,5 с.ш.) проявляются каждую зиму. Они возникают неожиданно, значительно отличаются по амплитуде положительного всплеска температуры в верхней стратосфере (минорные и мажорные потепления), продолжительностью протекания (от недели до двух месяцев), высотой опускания стратопаузы. Представленные результаты мониторинга проведены в периоды возмущенного (СП зимы 2021/22 и 2022/23 гг.) , спокойного (лето) и переходного (весна, осень) состояния средней атмосферы.

1.18 Наблюдения метеорного аэрозоля в стратосфере над Томском в августе 2013 года

*Черемисин А.А.¹, Новиков П.В.^{1,2}, Романченко И.И.¹,
Маричев В.Н.³, Бочковский Д.А.³*

¹ *Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск*

² *Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск*

³ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск*

В августе 2013 в стратосфере над Томском был зафиксирован аэрозольный слой, максимум которого находился на высоте 28,5 км. При этом коэффициент обратного рассеяния имел высокое значение, равное 24. В связи с высокой интенсивностью метеорного потока Персеиды в августе, первоначальная интерпретация наблюдений заключалась в том, что зарегистрированный стратосферный аэрозольный слой является следствием сгорания в верхней атмосфере метеорных частиц этого потока, и дальнейшей седиментации образовавшегося аэрозоля до стратосферных высот.

Ранее нами с помощью наблюдений сетью российских стратосферных лидарных станций и траекторного анализа движения воздушных масс в стратосфере удалось проанализировать перемещение аэрозольных слоев, возникших при падении челябинского метеорита. Характерной особенностью наблюдаемых с помощью лидаров аэрозольных слоев на высотах порядка 30 км (Обнинск, Москва, Якутск) являлось то, что они были очень узкими. Это свойство соответствовало данным траекторного анализа.

В августе 2013 года слой на высоте 28.5 км был также узким. Поэтому мы предположили, что и в данном случае этот слой образовался в результате сгорания достаточно крупного метеорного тела. В то время как основной поток Персеидов составляют сравнительно мелкие метеорные тела. Для анализа места предполагаемого падения метеорного тела был применен метод траекторного анализа. Использовался метод обратных изоэнтропийных траекторий движения воздушных масс, запущенных из Томска в дни наблюдения аэрозоля. Для расчета траекторий до высоты 25 км использовался программный пакет HYSPLIT с данными GDAS, а выше 25 км

использовалась созданная нами программа TrCalc с данными по скорости ветра в Северном полушарии UKMO и ERA5.

Дополнительно были привлечены данные наблюдений лимбовым сенсором OMPS/LP на спутнике Suomi NPP и лидара CALIOP на спутнике CALIPSO. На траектории движения воздушных масс по данным OMPS/LP было обнаружено место повышенной аэрозольной экстинкции. Мы предполагаем, что в этом месте произошло падение метеорного тела. В этой же точке по данным CALIPSO наблюдался стратосферный аэрозоль в окрестности высоты 30 км. Это место наблюдения и соответственно образования аэрозоля было расположено в Восточной Сибири, достаточно далеко от точки наблюдения в городе Томске.

В докладе представлено также сопоставление данного случая наблюдения аэрозоля метеорного происхождения с результатами наблюдений пылевого пояса, образовавшегося в результате падения челябинского метеорита.

1.19 Новые спектроскопические данные о линиях поглощения молекул воды и углекислого газа

*Петрова Т.М.¹, Дейчули В.М.¹, Солодов А.М.¹, Солодов А.А.¹,
Лаврентьева Н.Н.¹, Китаева А.В.²*

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

² *Томский государственный университет*

Современные задачи физики атмосферы требуют повышения точности измерения и расчета поглощения солнечного излучения, проходящего через атмосферу Земли и доведение ее до нескольких процентов. Основными компонентами, поглощающими излучение в атмосфере, являются молекулы воды, углекислого газа и метана. Пары воды играют ведущую роль в различных физических и химических процессах в атмосфере водяной пар отвечает примерно за 70% поглощения излучения. Двуокись углерода и метан являются сильным поглотителями инфракрасного излучения, задерживая тепло и вызывая мощный парниковый эффект. Увеличение их концентрации в атмосфере может иметь серьезные последствия для климата Земли.

Эффективными методами контроля концентрации газов в атмосфере Земли являются спектроскопические методы. В связи с этим увеличиваются требования к исходной спектроскопической информации по линиям поглощения данных газов. В работе на Фурье-спектрометр IFS-125HR высокого разрешения (г.Томск) проведены измерения спектров поглощения рассмотренных газов в широком спектральном интервале при вариации давления атмосферного воздуха. С использованием современных методов обработки получены новые значения параметров линий поглощения, которые включают в себя значения положений центра спектральной линии, ее интенсивности, коэффициентов уширения и сдвига давлением атмосферного воздуха.

Результаты измерений сравнивались с расчетами, выполненными по полуэмпирическому методу, в котором внутримолекулярные эффекты учитываются на основе точных волновых функций и уровней энергии, получаемых из вариационных расчетов.

Исследование проведено в рамках проекта РНФ (грант 22-22-00800).

1.20 Численное моделирование внезапных стратосферных потеплений в разные фазы цикла солнечной активности

Коваль А.В.¹, Гаврилов Н.М.¹, Ермакова Т.С.², Диденко К.А.²

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет*

² *Российский государственный гидрометеорологический университет*

Атмосферные возмущения глобального масштаба, такие как планетарные волны (ПВ), играют значительную роль в формировании общей циркуляции атмосферы, влияя на ее динамический и тепловой режим. В частности, усиление ПВ в зимний период в северном полушарии может приводить к возникновению внезапного стратосферного потепления (ВСП). Изменения солнечной радиации, обусловленные циклическими изменениями солнечной активности (СА), в свою очередь, влияют на термодинамическое состояние атмосферы и изменяют условия распространения ПВ различных слоев атмосферы. С целью изучения особенностей возникновения ВСП в зависимости от изменения солнечного воздействия, проведено численное моделирование общей атмосферной циркуляции для условий зимы в северном полушарии и рассмотрены случаи возникновения ВСП в январе-феврале. Используется нелинейная численная механистическая модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА), позволяющая воспроизводить атмосферную циркуляцию и структуры ПВ на высотах 0 - 300 км. Полученные результаты демонстрируют особенности возникновения ВСП при разных уровнях СА. Основным механизмом этих изменений является изменение условий распространения и отражения ПВ, генерируемых в нижних слоях атмосферы, и как следствие, изменение взаимодействия ПВ со средним потоком, косвенно выражающееся через рассчитанные потоки волновой активности Элиассена-Пальма, а также изменения циркуляции Брюера-Добсона.

1.21 О возможности контроля выбросов CO_2 в сейсмоактивных районах по спутниковым данным ОСО-2

Тащкун С.А.

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

Считается, что существует связь между сейсмической активностью и выбросами CO_2 и радона. Наземные измерения CO_2 в сейсмоактивных районах затруднены многими методологическими и техническими факторами. С другой стороны, существуют среднесуточные значения CO_2 в столбе сухого воздуха над земным шаром, измеренные орбитальной углеродной обсерваторией (ОСО-2). ОСО-2 — первый спутник NASA для дистанционного зондирования Земли, предназначенный для изучения распределения атмосферного углекислого газа из космоса. Он был запущен в 2014 году и предназначен для измерений атмосферного CO_2 с точностью, разрешением и охватом, необходимыми для характеристик источников и стоков в региональном масштабе (≥ 1000 км). Используя имеющиеся данные ОСО-2 за период 2015–2022 гг., были проанализировали среднесуточные значения CO_2 в районах наиболее сильных землетрясений. Полученные результаты будут представлены и обсуждены.

1.22 Радиоп импульсы многокомпонентных молний в Якутии

Козлов В.И., Тарабукина Л.Д.

ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»

Важность исследования повторных разряды определяется тем, что они с очень короткими межразрядными интервалами и одной и той же точкой окончания на земле часто вызывают повреждения при непосредственном ударе по оборудованию или линии электропередач по сравнению с другими типами повторных ударов. Нами, с использованием данных WWLLN, рассмотрены повторные разряды на территории Якутии, ограниченной 56 - 90 градусами северной широты и 105 - 160 градусами восточной долготы. Проанализированы повторные разряды, взятые с ограничениями временного интервала до 200 мс и расстояниями между точками повторных разрядов до 30 км. Отметим, что на наших видеозаписях встречались случаи с длительностью свечения молнии (ее повторных компонент) на интервале до 300 мс. В (Ballarotti, M.G. Frequency distributions of some parameters of negative downward lightning flashes based on accurate-stroke-count studies / M.G. Ballarotti, C. Medeiros, M.M. Saba, W. Schulz, O. Pinto Jr. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2012. – V. 117, № D6. – P. D0611)] отмечается, что наблюдаются интервалы между повторными разрядами до 700 мс.

Количество повторных разрядов меняется, например, для 2022 г от двух (41575 случаев наблюдения) до 10 (два случая наблюдения). Количество повторных разрядов N в зависимости от числа повторных разрядов k может быть описано в виде степенной функции.

Встречаемость интервала между компонентами распределилась в 2022 г: до 5 мс - 153616 раз, до 10 мс наблюдалось уменьшение встречаемости до 557 раз, и следующий максимум встречаемости наблюдается при 35 мс (3156 случаев). Интервал около 200 мс встречается 566 раз. Дальность на земле между повторными разрядами до 0,5 км встречается много чаще (65260 раз), чем до 1 км (775 раз). Для больших расстояний между повторными разрядами наблюдается плавный спад встречаемости до 4 при 27 км.

В (Rakov, V.A. Origin of lightning electric field signatures showing two return-stroke waveforms separated in time by a millisecond or less / V.A. Rakov, M.A. Uman // J. Geoph. Res. Atmospheres. – 1994.

– V. 99, № D4. – P. 8157-8165) указывается на наличие разрядов с очень коротких интервалов времени между ними, от нескольких десятков до нескольких сотен микросекунд. Мы также наблюдаем подобные интервалы. При задаваемом разрешении в 0,1 мс мы наблюдаем на самых коротких интервалах спад встречаемости случаев от 14133 для 0,1 мс до 2 при 0,7 мс и далее максимум при 68 при 1,4 мс с последующем спадом до 6 при 5 мс. Процессы, происходящие в течение первой миллисекунды после обратного удара, нуждаются в дальнейшем изучении.

1.23 Реконструкция региональных распределений электронной концентрации в ионосфере по разнородным данным дистанционного зондирования

Павлов И.А.¹, Падохин А.М.²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). Физический факультет*

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

В работе разработан новый итерационный алгоритм для решения задачи реконструкции региональных, двумерных, высотно-широтных распределений электронной концентрации в ионосфере на основе разнородных данных низкоорбитального спутникового радиопросвечивания на паре когерентных частот VHF/UHF и УФ спектрометрии собственного свечения верхней атмосферы на длине волны 135.6 нм. Это дает возможность использовать взаимно дополняющие геометрии зондирования. Каждая итерация алгоритма расщепляется на две, в которых последовательно решаются задачи относительно электронной концентрации и ее квадрата с диффузионным сглаживанием между шагами. Помимо этого в алгоритме реализована возможность учета поглощения собственного УФ излучения термосферы молекулярным кислородом, что дает возможность включить в рассмотрение низкоперигейные лучи, поглощение на которых играет существенную роль. Разработанный алгоритм протестирован на данных синтетических наблюдений, полученных на основе моделей NRLMSISE00 и NeQuick2, для реальных режимов работы аппаратуры CERTO и SSUSI/SSULI. Показано, что предложенный алгоритм дает лучшее пространственное разрешение по сравнению с традиционным РТ подходом, а также снимает проблему корректного задания начального приближения, характерную для задач РТ ионосферы, за счет присутствия квазигоризонтальных лучей в геометрии зондирования.

1.24 Связь между спрайтами и вистлерами по данным AWDANET и WWLLN

*Малкин Е.И.¹, Казаков Е.А.¹, Чернева Н.В.¹, Санников Д.В.¹,
Дружин Г.И.¹, Лихтенбергер Я.²*

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

² *Университет Этвёша, Венгрия*

С целью подтверждения причинно-следственной связи между вистлерами, зарегистрированными в определенной точке на поверхности Земли и инициирующими их в магнито-сопряженном регионе молниевыми разрядами был проведен анализ данных из пунктов регистрации международной сети автоматического обнаружения вистлеров AWDANET и глобальной сети регистрации импульсных грозовых разрядов WWLLN «Карымшина» и «Данадин». Построена карта распределения плотности грозовых разрядов с максимумами в 11 регионах. Получено распределение количества совпадений от времени задержки между временем регистрации вистлеров и грозового разряда для всех регионов и выявлена однозначность искомой причинно-следственной связи. Обнаружено, что не все молнии магнито-сопряженного региона продуцируют вистлеры, а только пары разрядов с временным интервалом следования менее 100 мс и расстоянием между ними до 40 км. Последующий анализ с использованием маркера (расстояние и время задержки между разрядами) в данных WWLLN показал, что данные пары являются положительным разрядом облако–земля и спрайтом, причём именно второй разряд инициирует вистлер.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

1.25 Результаты эксперимента по совместному лидарному и шар-баллоному зондированию тропосферы и стратосферы

Маричев В.Н.¹, Юшков В.А.², Балугин Н.В.², Бочковский Д.А.¹

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

² *Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета*

Актуальная проблема климатических изменений требует изучения изменения состава и свойств атмосферы, влияющих на ее радиационный баланс. Получение знаний в данном направлении возможно на основе проведения регулярных измерений климатообразующих компонент и характеристик атмосферы и их последующего анализа. Существуют контактные и дистанционные методы и средства зондирования атмосферы на ее разных высотных уровнях, включая аэрологические, самолетные, спутниковые, лидарные и ракетные. Вместе с тем для развития исследований требуется разработка и создания новых эффективных методов и технических средств по организации и проведению данных измерений. В настоящей работе предложена технология мониторинга аэрозольной компоненты и термического режима стратосферы на основе дистанционного (лидарного) и контактного (аэрологического) оптического зондирования.

Задачей работы являлось создание измерительного комплекса лидарного и аэрологического мониторинга стратосферы и его применение в экспериментальных исследованиях. Приводятся полученные на данном комплексе результаты одновременных дистанционных (лидарных) и прямых (зондовых) измерений вертикального распределения температуры и аэрозольного наполнения тропосферы и стратосферы, осуществленных в 15–16 марта 2023 года в Томске. Целью эксперимента была продолжение отработки проведения совместных лидарно-баллонных измерений (первый эксперимент проведен 27–30 января 2022) и валидация аэрозольных профилей обратного рассеяния в верхней тропосфере и стратосфере для создания всепогодной системы лидарно-баллонного мониторинга пространственно-временных и микрофизических характеристик аэрозоля. Лидарные измерения проводились в интервале высот от 7 до 50 км, зондом — от 0 до 30 км. Получены вертикальные профили отношения рассеяния на длинах волн 355 и 532 нм (лидар) и

470, 850, 940 нм (зонд). Продемонстрировано хорошее согласие в полученных вертикальных профилях значения отношения обратного рассеяния $R(H)$ для близких длин волн (528 и 532 нм для аэрозольного зонда обратного рассеяния и лидара, соответственно). Для восстановления микрофизических параметров аэрозоля при проведении совместных лидарно-баллонных экспериментов показана возможность расширения 2-х волновых (353 и 532 нм) лидарных измерений дополнительным набором длин волн (470, 850, 940 нм) с помощью оптического баллонного аэрозольного зонда.

Также синхронно проводились лидарные и зондовые измерения вертикального распределения температуры. Лидаром — по оптическим сигналам рамановского и рэлеевского обратного рассеяния света, зондом — непосредственно контактным датчиком.

По результатам эксперимента получены близкие значения вертикальных температурных профилей.

1.26 Одноточечная оценка абсолютного ТЕС по двухчастотным фазовым GNSS наблюдениям

*Иванов А.К., Медведев А.И., Варзарь Л.С., Павлов И.А.,
Курбатов Г.А., Падохин А.М.*

*Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова*

В работе представлен оригинальный алгоритм оценки вертикального абсолютного ТЕС использующий в своей работе исключительно двухчастотные фазовые наблюдения GNSS на одиночном приемнике и не требующий оценки дифференциальных кодовых задержек аппаратуры спутников и приемников. Это позволяет легко использовать в рамках алгоритма данные различных навигационных систем одновременно. Алгоритм основан на представлении поля ТЕС в виде разложения в двумерный ряд Тейлора, простой однослойной картирующей функции и разностном подходе к устранению неопределенности начальной фазы. Алгоритм протестирован на синтетических данных наблюдений, полученных с использованием реальных орбит спутников GNSS и ионосферной модели NeQuick2, и показал средние ошибки реконструкции порядка 1ТЕСу.

1.27 Космический проект «Модуляция», новый подход к изучению потоков галактических космических лучей в области модуляционных энергий Солнца

*Калегаев В.В., Карманов Д.Е., Ковалев И.М., Курганов А.А.,
Панов А.Д., Подзолко М.В., Подорожный Д.М.,
Турундаевский А.Н.*

НИИЯФ МГУ

Обсуждение проекта «Модуляция» на российской космической станции РОСС, Цель космической миссии - изучение солнечной модуляции галактических космических лучей (ГКЛ) в гелиосфере. Представлен новый подход в получение данных точных долговременных измерений потоков частиц ГКЛ, а также солнечных космических лучей (СКЛ), с энергиями от ≈ 30 до 1500 МэВ/нуклон в широком зарядовом диапазоне $Z=1-26$. Проект предполагает создание банка данных ГКЛ и СКЛ за весь цикл солнечной активности. Такой банк необходим для совершенствование численных моделей потоков энергичных гелиосферных частиц.

1.28 Исследование факторов влияющих на полярный озон с помощью модели SOCOL-3: решение проблемы отличия модельных результатов от спутниковых данных

Мионов А.Д.¹, Зубов В.А.², Розанов Е.В.^{3,1}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Санкт-Петербург, Россия

² Главная геофизическая обсерватория им. А.В. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

³ Давосская физико-метеорологическая обсерватория/Всемирный радиационный центр (PMOD/WRC), Давос, Швейцария

Сравнение результатов численного моделирования атмосферного озона с помощью химико-климатической модели SOCOL-3 с соответствующими измерениями спутникового прибора IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) показывает существенные различия в общем содержании озона для полярных районов южного полушария. Эта проблема является общей для химико-климатического моделирования озонового слоя Земли.

Для решения этой проблемы и оценки роли основных физических и фотохимических процессов, влияющих на годовой ход полярного озона в южном полушарии, был проведен ряд численных экспериментов, изменяющих следующие параметры модели: 1) скорость фотодиссоциации озона при больших зенитных углах Солнца; 2) скорости стратосферных гетерогенных реакций в условиях полярной ночи; 3) интенсивность меридионального перемешивания на подсеточных масштабах модели в области циркумполярного вихря.

Сравнение результатов этих экспериментов с соответствующими данными измерений IASI показало, что наиболее важными характеристиками для улучшения моделирования озона являются скорость фотолиза озона при больших зенитных углах и интенсивность горизонтального перемешивания в подсеточных масштабах. Разумная корректировка этих факторов позволила значительно улучшить модельное представление годового цикла озона над полярной областью в южном полушарии.

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете «Лаборатория исследования озонового слоя и верхних слоев атмосферы» при поддержке Правительства Российской Федерации (грант № 075-15-2021-583).

1.29 Систематизация источников спектральных данных, содержащих параметры спектральных линий молекулы диоксида углерода и ее изотопологов в ИС W@DIS

*Фазлиев А.З., Лаврентьев Н.А., Лаврентьева Н.Н.,
Привезенцев А.И.*

ФБГУН Институт оптики атмосферы СО РАН

Для изучения влияния солнечной активности на динамику атмосферы важно знание параметров, используемых в качестве входных данных в задачах переноса атмосферной радиации. Первостепенное значение имеют центры, интенсивности, полуширины и сдвиги спектральных линий, необходимые для расчетов поглощения солнечного излучения в атмосфере. Наиболее известные базы экспертных спектральных данных, относящихся к молекулярной спектроскопии, возникли около 40 лет тому назад и были ориентированы на использование в качестве входных данных в задачах переноса атмосферной радиации.

В настоящее время необходимо расширение интенционала базы данных Hitran с целью ее использования для решения задач влияния солнечной активности на динамику атмосферы Земли. Такое расширение связано, в первую очередь, со структурой параметров спектральных линий относящихся к различным аппроксимациям контуров спектральных линий при значительном разнообразии реализующихся в атмосфере термодинамических условий. В 2006-2010 гг. была создана Информационная система (ИС) W@DIS, которая изначально использовалась для систематизации источников спектральных данных о состояниях и переходах изолированных молекул воды и сероводорода. В 2007 году в ИС W@DIS началась работа по импорту параметров спектральных линий, характеризующих контур Лоренца. В коллекцию источников данных включены характеристики контуров для всех уширяющих веществ, встречающихся в литературе.

В работе дана краткая классификация контуров спектральных линий и их параметров, и приведены результаты систематизации спектральных данных, относящихся к разным контурам спектральных линий используемых при обработке спектров молекулы диоксида углерода. В собранной нами цифровой библиотеке статей, имеются данные относящиеся к 11 контурам спектральных линий, свя-

занных с молекулой CO₂. Описаны все контуры, встречающиеся в нашей библиотеке, построена система импорта параметров спектральных данных полученных при решении прямой и обратной задачи. Основные свойства данных, формируемые в системе W@DIS, связаны с описанием результатов анализа качества импортированных данных.

1.30 Грозовая активность в Арктике по наблюдениям в Тикси

Торопов А.А.

ИКФИА СО РАН

Проведен анализ грозовой активности вблизи населенного пункта Тикси за 2013-2023 годы. Ближние грозы регистрировались по характерным вариациям атмосферного электрического поля при помощи электростатического флюксметра Voltek EFM-100. Электростатический флюксметр позволяет регистрировать отдельные разряды молний в радиусе 15–20 км и определять электрическую структуру грозового облака. Для анализа использованы данные с разрешением в одну секунду. Показано, что количество гроз вблизи Тикси увеличивается с каждым годом.

1.31 Вариации параметров средней атмосферы во время геомагнитных возмущений

*Миронова И.А.¹, Базилевская Г.А.², Гранкин Д.В.¹,
Миронов А.Д.¹, Розанов Е.В.^{1,3}*

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ), Санкт-Петербург, Россия*

² *Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН),
Москва, Россия*

³ *Давосская физико-метеорологическая обсерватория/Всемирный
радиационный центр (PMOD/WRC), Давос, Швейцария*

В данной работе проведено сравнение спектров высыпающихся энергичных электронов от кэВ до релятивистских энергий около 1 МэВ, по наблюдениям в высокоширотной атмосфере на баллонах и высыпаниям энергичных электронов, зарегистрированных спутниками NOAA POES в 2003 г. Здесь мы оцениваем спектры и скорости ионизации атмосферы во время высыпания энергичных электронов, по разным наблюдениям, в разные периоды геомагнитных возмущений. Используя одномерную радиационно-конвективную модель с ионной химией показан отклик на высыпания энергичных электронов в полярной атмосфере.

Работа проводилась в «Лаборатории по изучению озонового слоя и верхних слоев атмосферы» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2021-583.

2 Геофизические поля и их взаимодействие

2.1 Методы повышения энергоэффективности систем связи с учетом динамических характеристик в ледовой обстановке

Короченцев В.И.¹, Сюэ Вей², Стаценко Л.Г.¹, Бенгард А.В.¹

¹ *Дальневосточный Федеральный Университет, Департамент электроники, телекоммуникации и приборостроения, г. Владивосток, РФ*

² *Харбинский Инженерный Университет, г. Харбин, КНР*

Предложены методы повышения энергетической эффективности систем связи синтезированными антеннами, расположенными на перемещающихся платформах при условии экстремально низких температур. Энергетическая эффективность оценивается коэффициентом направленного действия антенны, который определяется граничными условиями и функцией возбуждения антенной решетки. Для увеличения эффективности работы каждого излучателя входящего в состав антенной решетки, в математической модели учитываются упругие параметры носителя (платформы). При оптимальном выборе расстояния между элементом антенной решетки достигается преобразование реактивной части энергии в активную.

2.2 О наблюдаемой квазипериодичности геомагнитных джерков по данным обсерватории «Москва»

Рябова С.А.^{1,2}, Шалимов С.Л.¹

¹ *ИФЗ РАН*

² *ИДГ РАН*

С привлечением геомагнитных данных за период с 2000 по 2020 гг. обсерватории Москва, расположенной в 18 км от города Москвы, в п. Красная Пахра, выполнен анализ вариаций первых производных компонент геомагнитного поля. С помощью сегментированного регрессионного анализа установлено, что джерки следуют с квазипериодом 3–4 года. Предложен механизм возникновения быстрых изменений геомагнитного поля, обусловленный нестабильными процессами в ядре Земли.

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

2.3 О некоторых слабых локальных эффектах в магнитном поле на обсерваториях «Паратунка» (Камчатка, Россия) и «Чаутаппал» (Индия)

Гвоздарев А.Ю.¹, Хомутов С.Ю.¹, Арора К.², Чандрашекхар Ф.²

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

² *СНПИ-НИГИ, Индия*

На протяжении многих лет в магнитных данных, получаемых на обсерваториях «Паратунка» (РЕТ, ИКИР ДВО РАН, Россия) и «Чаутаппал» (СРЛ, CSIR-NGRI, Индия), наблюдаются небольшие вариации, лежащие в пределах допусков, определённых стандартами INTERMAGNET, которые при этом достаточно очевидны и требуют объяснений. К таким вариациям на РЕТ относятся, например, сезонные колебания градиента модуля F внутри абсолютного павильона с размахом до 0.5 нТл и его многолетний тренд до 0.1 нТл/год, измеряемые Оверхаузеровским магнитометром POS-1, суточные колебания F , полученные с помощью магнитометра dIdD GDM-19FD с размахом до 0.8 нТл и другие. На обсерватории СРЛ отмечаются суточные вариации разностей модулей F_{var} , вычисленных по полным значениям составляющих H, D, Z вариометров, и F_{scal} , непосредственно измеренных скалярным магнитометром, $dF = F_{var} - F_{scal}$. Эти суточные вариации dF размахом до 1 нТл не коррелируют с температурой магнитных датчиков и электроники. В качестве первопричины могут рассматриваться колебания температуры внутри и снаружи павильонов, а в качестве механизма воздействия — влияние магнитной восприимчивости и её температурных изменений. На обсерватории РЕТ была выполнена серия магнитных микросъёмки внутри и снаружи павильонов в различные сезоны, исследованы распределения магнитного поля и его динамики. Была изучена магнитная восприимчивость приповерхностных пород в районе павильонов, в т.ч. при различных температурах (от комнатной до глубокого замерзания), на моделях рассчитаны ожидаемые эффекты в магнитном поле. На обсерватории СРЛ в качестве причины рассматриваются возможные индукционные эффекты, возникающие в подстилающих породах. Сделаны оценки возможности учёта полученных результатов в реальной практике магнитных обсерваторий.

Работа С.Ю.Хомутова и А.Ю. Гвоздарева выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0, работа К. Ароры и Ф. Чандрашекхара поддержана СНИИ-НИГИ, проект № NGRI/Lib/2023/ Pre-116.

2.4 Акустическая эмиссия при деформировании образца гранита в экспериментах на трехточечный изгиб

*Ларионов И.А.¹, Мищенко М.А.¹, Маранулец Ю.В.¹,
Богомолов Л.М.², Васькин В.А.¹*

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

² *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Россия*

Проведено исследование акустической эмиссии при трехточечном изгибе гранитного образца с помощью пьезокерамических акселерометров. Деформационное воздействие обеспечивалось построенным прессом с системой контроля изгиба. В результате исследования показано, что разработанная система позволяет получать контролируемый изгиб и генерацию акустических импульсов в течение всего времени увеличения нагрузки на исследуемый образец. Получена зависимость количества акустических импульсов от величины изгиба во времени. В результате проведенной работы показана возможность исследования акустической эмиссии различных материалов при изменении нагрузки сжатия.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

2.5 Перспективная аппаратура для мониторинга гео и гелиофизической обстановки на спутниках формата кубсат

*Богомолов В.В.^{1,2}, Свертилов С.И.^{1,2}, Оседло В.И.¹,
Бенгин В.В.¹, Золотарев И.А.¹, Июдин А.Ф.¹, Климов П.А.¹,
Нечаев О.Ю.¹, Яшин И.В.¹, Антонюк Г.И.¹, Кучеренко И.А.^{1,2}*

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*

В рамках проекта Московского университета «Созвездие-270» разработана научная аппаратура для спутников формата кубсат, в том числе универсальные детекторы космической радиации ДеКоР, ДеКоР-2, прибор КОДИЗ – комплексный детектор космических излучений, спектрометры – фотометры АУРА и АУРА-2, спектрометр заряженных частиц СУП.

Приборы ДеКоР и ДеКоР-2 предназначены для исследования быстрых вариаций потоков электронов, а также гамма-всплесков различной природы. Прибор ДеКоР - сцинтилляционный спектрометр гамма-квантов и электронов, его энергетический диапазон 0.05 – 2.0 МэВ, эффективная площадь 18 см². Он успешно функционировал на спутниках формата кубсат «СириусСат-1,2» «АмурСат», «ВДНХ-80», «Норби», ДЕКАРТ и др. Прибор ДеКоР-2 является модифицированным вариантом прибора ДеКоР, имеющим увеличенную чувствительную площадь ≈ 60 см² и более широкий энергетический диапазон 0.03 – 3.0 МэВ. Как и прибор ДеКоР, он содержит фосвич детектор CsI(Tl)/пластмассовый сцинтиллятор, при этом для считывания сигналов с детектора могут применяться как вакуумные, так и кремниевые фотоумножители. В приборе реализованы широкие возможности настройки подробности проводимых измерений в зависимости от объёма информации, доступного для передачи на Землю.

Приборы ДеКоР-2 в варианте с вакуумными фотоумножителями установлены на спутниках Skoltech-b1 и Skoltech-b2 формата кубсат 3U, выведенных на орбиту 9 августа 2022 г. Приборы ДеКоР-2 в варианте с кремниевыми фотопремниками установлены

на четырех КА формата кубсат 3U разработки компаний «Спутникс» и «Сириус», запуск которых запланирован в 2023 г. Также разрабатываются дальнейшие модификации аппаратуры ДеКоР, в том числе ее дополнение спектрометрическим узлом на основе сцинтилляционного кристалла большего объема. Подобный прибор планируется к запуску в 2023 г. на КА разработки НИЛАКТ ДО-СААФ.

Прибор КОДИЗ предназначен для отработки аппаратуры, предназначенной для обнаружения радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей. В состав прибора входит черенковский детектор для обнаружения релятивистских протонов, способных проникать в атмосферу Земли, а также полупроводниковые детекторы для измерения дозы радиации и детектор нейтронов. Подобный прибор был запущен 9 августа 2022 г. в составе КА Московского университета «Монитор-1». В настоящее время с прибора КОДИЗ получены первые научные данные, ведется их обработка и анализ.

2.6 Анализ вариаций космических лучей в периоды сильных магнитных бурь 2022-2023 гг. (по данным нейтронных мониторов)

Мандрикова О.В., Мандрикова Б.С.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Аномальные явления и процессы на Солнце находят отражение в регистрируемых вариациях интенсивности космических лучей. Поэтому данные космических лучей являются важным фактором космической погоды. В работах ученых разных научных групп отмечены аномальные изменения в потоке космических лучей, предшествующие началу магнитных бурь.

В работе представлены результаты анализа вариаций космических лучей в периоды сильных магнитных бурь 2022-2023 гг. Анализ выполнялся на основе разработанного авторами гибридного подхода, включающего применение нелинейных аппроксимирующих вейвлет-схем и метода анализа сингулярного спектра. Показана эффективность подхода для детектирования аномалий разной интенсивности в вариациях космических лучей. Выделены составляющие вариаций космических лучей, имеющие сильную корреляцию с Dst индексом. Результат подтверждает важность учета динамики космических лучей в методиках прогноза сильных магнитных бурь.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021—2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

2.7 Анализ ионосферных параметров на основе пороговой вейвлет-фильтрации (по данным foF2 станций «Паратунка» (Россия) и «Вакканай» (Япония))

Мандрикова О.В., Полозов Ю.А.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В работе проведен анализ критической частоты ионосферного слоя F2 в периоды магнитных бурь 2018-2022 гг. Структура ионосферы динамически изменяется, включает локальные неоднородности различного размера. Изменения в регулярном ходе ионосферных параметров влияют на различные аспекты жизни, функционирование космических аппаратов и стабильную работу радиосвязи. Анализ foF2 выполнялся с использованием разработанного авторами метода адаптивной пороговой вейвлет-фильтрации. Результаты показали наличие аномалий разной интенсивности и продолжительности в вариациях foF2 в периоды магнитных бурь. Сопоставление результатов разных станций показало существенную зависимость динамики ионосферы от локальных факторов. Замечены эффекты аномального повышения и аномального понижения накануне магнитных бурь разной интенсивности.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021-2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0. В работе использовалось оборудование Центра коллективного пользования «Северо-восточный гелиогеофизический центр» СКР 558279, УНУ 351757.

2.8 Нетипичные квазипериодические ОНЧ излучения, связанные с крупномасштабными атмосферными процессами

Савина О.Н.¹, Беспалов П.А.², Жаравина П.Д.¹

¹ *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*

² *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр институт прикладной физики Российской академии наук»*

В работе рассматриваются новые сведения о квазипериодических ОНЧ излучениях в плазмосфере, содержащиеся в данных наблюдений, выполненных на космических аппаратах Van Allen Probes. Отмечались квазипериодические последовательности всплесков электромагнитных излучений на частотах ниже и порядка 2 кГц с периодом глубокой модуляции интенсивности порядка 90-240 с. Морфологически отдельные всплески излучений подобны фрагменту излучений QR 2. Рассматриваемые последовательности всплесков могут иметь разную временную структуру. Во-первых, они могут быть четко периодическими. Во-вторых, в них могут периодически чередоваться всплески разной интенсивности. В-третьих, последовательность всплесков может быть случайной. Возбуждение рассматриваемых шумовых по своей природе излучений, вероятно, происходит при развитии циклотронной неустойчивости. Многие свойства излучений объясняет теория плазменного магнитосферного мазера, допускающая существования автоколебательного процесса генерации излучений, обусловленного модуляцией анизотропии функции распределения энергичных электронов. Теория объясняет новые результаты наблюдений квазипериодических излучений с более сложной временной структурой при наличии периодического внешнего воздействия на динамику плазменного магнитосферного мазера. В рассмотренных случаях было проверено по данным магнетометра космического аппарата отсутствие признаков геомагнитных пульсаций с периодами, сравнимыми с периодами повторения спектральных форм на спектрограммах ОНЧ излучений. Модельные расчеты показали, что крупномасштабные

атмосферные возмущения в основании трубки магнитного поля могут обеспечить формирование рассмотренных квазипериодических ОНЧ излучений.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 22-22-00397.

2.9 Авроральные возмущения во время двух магнитных бурь 2023

Дэспирак И.В.¹, Клейменова Н.Г.², Любчик А.А.¹

¹ *Полярный Геофизический Институт, Апатиты, Россия*

² *Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

В данной работе мы рассмотрели два интересных возмущенных периода, когда наблюдались сильные магнитные бури, в конце марта и апреля 2023 г. Оба события были связаны с корональными выбросами массы (КВМ), во время каждого события был зарегистрирован длительный период отрицательной V_z -компоненты межпланетного магнитного поля (ММП), наблюдавшейся в области Sheath или MC (магнитном облаке) соответственно. В результате развились две сильные магнитные бури: 23-24 марта ($Dst \sim -170 \dots -160$ нТл) и 23-24 апреля 2023, когда была зарегистрирована супербуря — буря четвертого уровня ($Kp=8$). В нашем исследовании сравнивалось развитие суббурь во время разных бурь. Сияния анализировались по данным камер всего неба в Ловозере и Верхнетуломском, магнитные возмущения — по данным скандинавской сети магнитометров IMAGE. Параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля взяты из базы данных OMNI. Обсуждаются особенности поведения сияний и магнитных возмущений, наблюдавшихся на фоне развития этих сильных магнитных бурь.

2.10 Хаотические режимы в эредитарных двухмодовых моделях динамо

Казаков Е.А.

Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Доклад посвящен обсуждению результатов вычислительных экспериментов с эредитарной динамической системой являющейся моделью двумодового гидромагнитного динамо. Численно исследованы динамические режимы, возникающие при варьировании управляющих параметров. С помощью расчета Ляпуновских показателей выделены области соответствующие регулярной и хаотической динамике. Рассматривались случаи когда эредитарная обратная связь с системе возникала мгновенно или с задержкой. Результаты моделирования показали, что исследуемая модель воспроизводит ряд динамических режимов характерных для реальных космических динамо систем.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

2.11 Условия генерации хаотического режима в маломодовой модели $\alpha\Omega$ -динамо с эредитарным подавлением α -эффекта энергией поля

Шереметьева О.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Для описания динамо-систем земного типа, важными свойствами которых являются сильное дифференциальное вращение объекта и турбулентность в характере движения проводящей среды, классически используется механизм $\alpha\Omega$. Такие объекты также характеризуются наличием хаотических инверсий без существенной перестройки проводящей среды.

Достичь понимания физических причин явления смены полярности помогают простые динамические системы малой размерности, включающие ограниченный набор параметров, которые несут в себе информацию о поле скорости, магнитном поле и взаимосвязях между ними.

В рамках модели $\alpha\Omega$ -динамо генерация магнитного поля и поля скорости определяется работой Ω - и α -генераторов, интенсивность которых регулируется силой Лоренца. Изменение интенсивности α -эффекта под воздействием силы Лоренца включено в модель виде процесса с эредитарными свойствами (конечной «памятью»), зависящего от энергии магнитного поля. Характер воздействия процесса определяется экспоненциальным ядром с варьируемыми частотой затухания и коэффициентом затухания.

Управляющими параметрами являются число Рейнольдса и амплитуда α -эффекта, в которых заложена информация о воздействии крупномасштабного и турбулентного генераторов. В рамках данной работы проведено исследование решения магнитогидродинамической системы на устойчивость по Ляпунову в окрестности точки покоя в зависимости от значений управляющих параметров и параметров ядра, а также определены области на фазовой плоскости управляющих параметров, где возможно воспроизведение хаотического режима генерации магнитного поля.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

2.12 Корреляция интегральных характеристик эквивалентных магнитных диполей в январе–феврале 2023 по обсерваторским данным

Семаков Н.Н.^{1,2}, Гнитеева О.С.², Ковалев А.А.¹

¹ *ИНГГ СО РАН*

² *НГУ*

Использование угловых и силовых параметров вектора магнитной индукции для сопоставления с характеристиками сейсмической активности затруднено двумя существенными обстоятельствами. Первое заключается в том, что значение каждого из семи элементов земного магнетизма зависит не только от расстояния до эквивалентного радиального магнитного диполя, но и от его магнитного момента, а также от ориентации этого диполя относительно точки наблюдения. А второе обстоятельство связано с тем, что каждый из элементов земного магнетизма подвержен регулярным вариациям, среди которых наиболее значимыми являются суточные и вековые. При этом амплитуды суточных вариаций зависят не только от указанных выше причин, но и от сезонов года, а амплитуда вековых вариаций — от степени изменчивости глубинных источников магнитного поля Земли.

Интегральными магнитными характеристиками, в значительной меньшей степени зависящими от указанных обстоятельств, являются координаты полюсов эквивалентного радиального магнитного диполей, а также локальная магнитная постоянная, прямо-пропорциональная магнитному моменту эквивалентного диполя и обратно-пропорциональная кубу расстояния до него. «Постоянство» этой характеристики измеренного магнитного поля проявляется в ее независимости от ориентации эквивалентного диполя. Скользящее 24-часовое осреднение этих интегральных параметров, сделанное на основе обсерваторских данных, позволяет выделять те особенности в поведении магнитного поля, которые связаны как с нерегулярным воздействием солнечного ветра, так и с геодинамическими процессами. Для выявления и разделения этих причинных связей необходима соответствующая статистическая обработка архивных записей магнитных обсерваторий.

2.13 Разработка адаптивных методов синтеза гидроакустических антенн, применяемых для работ в ледовой обстановке

*Короченцев В.И.¹, Цзяньцзюнь Чжусу², Рыжих В.В.¹,
Шпак Ю.В.¹*

¹ *Дальневосточный Федеральный Университет, Департамент
электроники, телекоммуникации и приборостроения, г.
Владивосток, РФ*

² *Харбинский Инженерный Университет, г. Харбин, КНР*

Для формирования заданных диаграмм направленности антенных решеток, расположенных на передвигающихся ледовых платформах предложен новый метод синтеза. Суть метода заключается в адаптации математических алгоритмов, дающих возможность расчета оптимальной диаграммы направленности, которая учитывает изменение граничных условий во времени и пространстве. Под оптимальными диаграммами понимаем такое распределение поля, когда при заданной ширине основного лепестка минимизируется уровень добавочных лепестков диаграммы. Математическим аппаратом синтеза являются интегральные уравнения Фредгольма первого рода. Ядро интегрального уравнения представлено суммой направленных функций Грина.

2.14 Оценка геоиндуцированных токов в энергосистеме Республики Алтай по данным магнитной станции «Байгазан»

Гвоздарев А.Ю.¹, Казанцева О.В.², Учайкин Е.О.²

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

² *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горно-Алтайский государственный университет»*

Проанализированы скорости изменения горизонтальных компонент геомагнитного поля на магнитной станции «Байгазан» за время регистрации (2010–2023 гг). Выявлены события с наиболее высокими скоростями изменения поля. Для ряда таких случаев сделаны оценки разности потенциалов между заземлениями энергосистемы Республики Алтай и возможных геоиндуцированных токов в ней.

Работа поддержана грантом РФФ 23-27-10055 и Министерством науки и образования Республики Алтай.

2.15 Возбуждение хоровых ОНЧ излучений в дневной магнитосфере

Беспалов П.А.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр институт прикладной
физики Российской академии наук»*

Рассмотрены особенности реализации пучкового механизма усиления импульсов (Beam-Pulse-Amplifier BPA) свистовых волн в магнитосферных волноводах разрежения с рефракционным отражением. Вытянутые вдоль магнитного поля волноводы с шириной порядка 100–300 км часто имеют место после магнитных возмущений в утренней и дневной магнитосфере за плазмопаузой, где при тех же условиях происходит возбуждение хоровых излучений. Проанализированы дисперсионные характеристики свистовых излучений в планарном волноводе в условиях выполнения WKB приближения и рефракционного отражения от «стенок». Для волноводов разрежения показано, что у первых десяти мод на частотах выше половины электронной гирочастоты (в верхней частотной полосе) могут быть выполнены условия возбуждения дискретных спектральных элементов с углами волновой нормали к магнитному полю менее 20 градусов. Предложенная модель объясняет возможность возбуждения хоровых излучений со спектральными формами преимущественно в верхней частотной полосе и отдельными элементами в нижней частотной полосе в дневной магнитосфере, когда функция распределения энергичных электронов не имеет признаков высокой степени анизотропии. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 20-12-00268.

2.16 Генерация атмосферных гравитационных волн перед землетрясением в Японии 16 марта 2022 $M=7.3$

Смирнов С.Э.¹, Жижин М.Н.^{2,3}

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

² *Институт Космических Исследований РАН*

³ *Colorado School of Mines*

Гравитационные волны в атмосфере генерируются различными источниками. Одним из источников такой генерации являются процессы в литосфере накануне и во время землетрясений. На обсерватории Паратунка на Камчатке обнаружить генерацию атмосферных гравитационных волн можно по усилению спектров мощности в вариациях атмосферного квазистатического электрического поля в приземном слое воздуха в условиях хорошей погоды. 15 марта 2022 за сутки перед землетрясением в Японии произошло усиление спектров мощности атмосферного электрического поля по сравнению с предыдущими днями. Одновременно с этим в облачном покрове наблюдались характерные линейчатые структуры над Японией, Курилами и Камчаткой с помощью спутниковых снимков. Такие линейчатые структуры образовались от прохождения атмосферных гравитационных волн через облака. 16 марта 2022 произошло землетрясение в Японии с магнитудой $M=7.3$. Таким образом было обнаружена генерация атмосферных гравитационных волн перед землетрясением двумя независимыми видами наблюдений.

Работа частично выполнена в рамках реализации государственного задания Российской Федерации АААА-А21-121011290003-0.

2.17 Геомагнитные измерения в обсерватории «Плещеницы» (Минск)

*Аронов Г.А., Аронов А.Г., Солодухин И.А., Кодымов А.А.,
Лазюк В.М.*

*Центр геофизического мониторинга Национальной академии
наук Беларуси*

Для изучения векового хода составляющих магнитного поля Земли в Беларуси в обсерватории «Плещеницы» с 1960 г. проводятся непрерывные вариационные наблюдения элементов геомагнитного поля D , H , Z . Так, по данным наблюдений, среднегодовые значения компонент магнитного поля за 2022 г. составили: $D=9.271^\circ$, $H=17749$ нТл, $Z=48329$ нТл, $F=51485$ нТл.

Проанализирован вековой ход элементов D , H , Z , F геомагнитного поля за период с 1960 по 2022 годы. Анализ результатов изменения скорости магнитных склонений показывает, что магнитное склонение существенно изменяется во времени. В среднем магнитное склонение наращивается с градиентом около 3–4 угл.мин./год, хотя на отдельных временных интервалах этот рост достигает 6–8 угл.мин./год. Модуль полного вектора геомагнитного поля также имеет чёткую тенденцию к увеличению с течением времени.

Количество магнитных бурь имеет периодический характер изменения, что может быть связано с вариациями степени активности Солнца в рамках 11-летних циклов.

2.18 Геоиндуцированные токи во время сильной магнитной бури в апреле 2023

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

¹ *Полярный геофизический институт*

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

В работе рассмотрены случаи появления геоиндуцированных токов (ГИТ) в нейтрали трансформатора на станциях Карело-Кольской линии электропередач и на финском газопроводе около станции Мантсала во время магнитной бури 23-24 апреля 2023 года ($Dst \sim -190 \dots -160$ нТл). Сильная магнитная буря была связана с мощной вспышкой интенсивностью M1,7 на Солнце, произошедшей 21 апреля 2023 г. Вслед за вспышкой от Солнца оторвался огромный протуберанец, который образовал ядро CME. 23 апреля CME достиг Земли в $\sim 17:30$ UT, когда пришла ударная волна, далее наблюдалась область сжатой плазмы (Sheath) и магнитное облако (MC). Два длительных периода отрицательной B_z компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) были зарегистрированы в области SHEATH (~ -15 нТл) и в начале MC (~ -30 нТл). В результате развилась сильная двухступенчатая магнитная буря с двумя минимумами Dst : ~ -160 нТл 23 апреля в ~ 23 UT и ~ -190 нТл 24 апреля в ~ 04 UT, $K_p=8$. Показано, что во время развития сильных суббурь ($AL < -1000$ нТл) в период с $\sim 17:30$ UT 23 апреля по ~ 06 UT 24 апреля, наблюдались интенсивные ГИТ (>25 А) на станциях Выходной и Мантсала. В работе продемонстрировано хорошее соответствие между пространственно-временной динамикой суббури, наблюдаемой по магнитометрам сети IMAGE, и появлением ГИТ на станциях регистрации EURISGIC — экспансия западного электроджета отражалась в появлении ГИТ на разных широтах. Обсуждаются также другие возможные источники появления интенсивных ГИТ.

2.19 Локальные вариации полного электронного содержания ионосферы измеренные в горах Северного Кавказа

Хаердинов Н. С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия*

Описывается метод измерения локальных вариаций полного электронного содержания в ионосфере (ПЭС) в зоне установки «Ковёр» БНО ИЯИ РАН (43.3 N, 42.7 E) используя стандартные 6-и каналные спутниковые одночастотные часы GPS170PCI. На материале информации с 29072019 по 06092019 производится статистическая оценка коэффициентов связи измеряемого времени исполнения команды, для получения точного времени от часов GPS170PCI, с вариациями ПЭС, определёнными по глобальным картам ионосферы. Выводы сравниваются с результатом калибровки при эффекте от магнитной бури. Отмечается наличие значительных вариаций, коррелирующих с мюонной интенсивностью, регистрируемой на уровне земли. В событии 02092019 имело место значительное локальное возмущение ПЭС (15 мин), начало которого совпало с подземным электрическим разрядом. Форма возмущения ПЭС коррелирует с вариацией электрического тока, протекавшего в реке, рядом с установкой. Анализируются причинно – следственные связи обнаруженных эффектов.

2.20 Локализация источников акустического излучения по данным распределенной системы комбинированных приемников

Щербина А.О., Солодчук А.А., Васькин В.А., Торгонский В.Е.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В работе представлены результаты эксперимента по определению расстояния до источников акустического излучения в приповерхностных осадочных породах. Для записи сигналов в оз. Микижа была установлена система, состоящая из двух комбинированных приемников и одного приемника звукового давления. Локализация источников осуществлялась двумя способами: триангуляцией и по разнице времени прихода сигналов с разнесенных приемников. Измерены координаты более чем 50 источников излучения, построено их пространственное распределение.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

2.21 Суббури на сжатом овале: основные признаки

*Дэспирак И.В.¹, Клейменова Н.Г.², Мальшиева Л.М.²,
Громова Л.М.³, Любчич А.А.¹*

¹ *Полярный Геофизический Институт, Апатиты, Россия*

² *Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Москва, Россия*

³ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Россия*

Высокоширотные магнитные суббури, наблюдаемые на геомагнитных широтах выше 70° MLAT при отсутствии магнитных возмущений на более низких широтах, известны как «суббури на сжатом овале» или «полярные» суббури. Такие суббури возникают в спокойных или слабозвозмущенных условиях космической погоды. Изучение 254 «полярных» суббурь, зарегистрированных на сети магнитометров IMAGE в зимние сезоны 2010-2020 гг., подтвердило тенденцию возникновения их поздним вечером (19-23 MLT), то есть несколько раньше, чем «обычные» суббури (22-24 MLT). На основе измерений спутников AMPERE исследовано распределение электроджетов и продольных токов (FAC) в ионосфере. Мы обнаружили, что начало «полярных» суббурь связано с усилением FAC в локализованной вечерней области. Выявлено также, что перед началом «полярных» суббурь, как и «обычных» суббурь, происходит увеличение PC-индекса, свидетельствующее о поступлении энергии в магнитосферу. Установлено, что «полярные» суббури, как и «обычные» суббури, сопровождаются положительными среднеширотными магнитными бухтами, демонстрирующими развитие токового клина суббури (SCW). Наши наблюдения показали, что во время «полярных» суббурь полярные сияния, зарегистрированные на высокоширотной станции Баренцбург, демонстрировали динамику, характерную для «нормальных» суббурь, но иногда наблюдались спиральные авроральные структуры. Показано, что, как и «обычные» суббури, «полярные» суббури сопровождаются геомагнитными пульсациями $Pi2$ и $Pi1B$. Таким образом, «полярные» суббури проявляли свойства, характерные для «нормальных» суббурь, и их можно отнести к особому типу суббурь, развивающихся в спокойных условиях космической погоды.

2.22 Проявление сейсмоакустического и сейсмoeлектрического откликов приповерхностных пород на Камчатке

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

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

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Продолжено исследование совместного сейсмоакустического и сейсмoeлектрического отклика приповерхностных осадочных пород, обнаруженного авторами ранее на Камчатке. Рассмотрены особенности его проявления при деформировании пород сейсмическими волнами от землетрясений с энергетическим классом $11.0 \leq K_s \leq 14.7$, произошедших на гипоцентральной расстоянии D до 600 км от пункта «Карымшина» ($52.83^\circ N, 158.13^\circ E$). При добавлении в анализ 12 новых случаев регистрации совместного отклика осадочных пород в 2012–2023 гг. к рассмотренным ранее 18 случаям регистрации в 2017–2021 гг. обнаружено увеличение надежности непараметрической корреляционной связи между K_s и D . Проанализированы два случая появления при деформировании приповерхностных пород более высокочастотных, чем сейсмические волны, акустических сигналов, обнаруженных ранее в пункте «Карымшина» при прохождении P -волн от сильных ($M_w \geq 6.6$) камчатских землетрясений. Они наблюдались в пункте «Крутоберегово» ($56.26^\circ N, 162.71^\circ E$), находящемся в 480 км северо-восточнее пункта «Карымшина», и свидетельствуют о возможности генерации высокочастотных геоакустических сигналов в других структурно-тектонических условиях Камчатки.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

2.23 Согласование параметров каскадных моделей турбулентности с вероятностями взаимодействия волновых оболочек

Фещенко Л.К., Водинчар Г.М.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В данной работе разработана методика построения комплексных и вещественных каскадных моделей МГД турбулентности, уравнения которых в точности удовлетворяют заданным законам сохранения. Данная методика осуществляется с помощью символьных вычислений. Методика позволяет выполнять автоматизированную генерацию уравнений модели для произвольных дальностей нелинейных взаимодействий в пространстве масштабов. Верификация данной методики производилась на моделях типа GOY и Sabra. Вычисления производились в среде Maple.

После задания законов сохранения рассчитываются коэффициенты, которые имеют несколько свободных параметров. И тогда возникает вопрос выбора свободных параметров. Одним из вариантов определения коэффициентов служит следующее соображение. Необходимо так подобрать коэффициенты, чтобы минимизировать различие между этими коэффициентами и вероятностями взаимодействия по волновым векторам. С формальной точки зрения это просто задача оптимизации. Но поскольку сравнивать нужно не сами коэффициенты, а их модули, поэтому целевая функция становится не дифференцируемой. Таким образом, один из возможных вариантов — это вариант перебора. Данный этап работы осуществляется уже не в символьных вычислениях, а в вещественных вычислениях. Вычисления производились в среде C++.

Представляется, что описанная в работе методика окажется полезной при исследовании задач динамо спектральными методами.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021—2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0

2.24 Моделирование электрического поля эруптивных облаков от взрывов вулкана Эбеко с учетом рельефа местности

Акбашев Р.Р.^{1,2}, Малкин Е.И.³, Будилова Е.А.¹

¹ *ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Камчатский филиал, Петропавловск-Камчатский*

² *КамГУ им. Витуса Беринга*

³ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия*

В период с 29.07.2020 г. по 05.08.2020 г. выполнены натурные наблюдения по регистрации градиент потенциала электрического поля атмосферы во время извержений вулкана Эбеко. Зарегистрированы отклики в трех пунктах наблюдения. Пункты были установлены на разных расстояниях от кратера и таким образом, чтобы они определяли прямую линию от кратера вулкана. Было зарегистрировано более 20 откликов в вариациях градиента потенциала ЭПА. Отклики регистрировались в различных метеорологических условиях. С целью определения заряда в сформированной электростатической структуре эруптивного облака и учета рельефа местности в модельном расчете электрического поля эруптивного облака, выбрано одно извержение, которое произошло в условиях хорошей погоды. Для выбранного события эруптивное облако распространялось над пунктами наблюдения, которые были расположены на склоне вулкана. Эти данные послужили экспериментальной основой для математического моделирования электрического поля эруптивных облаков с учетом рельефа склона вулкана.

2.25 Наблюдения эффектов космической погоды с помощью группировки наноспутников Московского Университета «Созвездие-270»

*Свертилов С.И.^{1,2}, Богомолов В.В.^{1,2}, Богомолов А.В.²,
Оседло В.И.², Бенгин В.В.², Золотарев И.А.², Июдин А.Ф.²,
Калегаев В.В.², Яшин И.В.², Антонюк Г.И.², Жильченко К.С.²,
Мутин А.А.^{1,2}*

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

² НИИЯФ МГУ

В рамках космического проекта Московского университета «Созвездие-270» осуществляется развертывание группировки наноспутников формата кубсат с комплексом приборов, обеспечивающих, в том числе, мониторинг радиационного состояния околоземного космического пространства, контроль гео- и гелиофизической обстановки. Наряду с космической группировкой также создается сеть приемных станций, распределенных как по долготе, так и по широте для обеспечения приема телеметрических и научных данных. Обработка принимаемых данных выполняется в Центре данных оперативного космического мониторинга НИИЯФ МГУ для реализации оперативного прогноза состояния околоземного космического пространства. В результате должна быть построена система из орбитальных и наземных средств, позволяющая в режиме, близком к реальному времени, определять уровни радиационных нагрузок, создаваемых ионизирующей радиацией не только в районе орбит самих космических аппаратов (КА), но и определять радиационную обстановку в значительной части радиационных поясов, вплоть до орбит глобальных навигационных спутниковых систем или геостационарной.

В ходе реализации проекта на сегодняшний день осуществлен запуск 11 КА формата кубсат. В настоящее время на околоземной орбите функционируют 6 таких КА, которые передают научную и телеметрическую информацию. В течение 2023–2024 гг. предполагается запуск еще, по крайней мере, 8 подобных спутников на низкие круговые полярные орбиты.

Мульти-спутниковая группировка позволяет проводить одновременные измерения потоков частиц и квантов с помощью однотипной аппаратуры в разных точках околоземного пространства.

Такие измерения дают уникальную информацию о динамике потоков электронов суб-релятивистских энергий, в том числе о вариациях потоков, обусловленных высыпаниями, что имеет большое значение для понимания механизмов ускорения и потерь захваченных и квази-захваченных электронов. В качестве примеров рассматриваются возрастание потоков энергичных частиц в полярной шапке в конце октября – начале ноября 2021 г. вследствие прихода солнечных космических лучей (СКЛ), а также изменения потоков электронов во внешнем радиационном поясе во время геомагнитной активности в марте 2022 г. Кроме того анализируются данные наблюдений о потоках суб-релятивистских электронов в различных областях околоземного пространства во время высокой гелио и геомагнитной активности в марте – апреле 2023 г.

2.26 Осциллятор связанный с одной двумодовой моделью динамо с памятью

Водичар Г.М.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В докладе рассматривается осциллятор, который можно получить на основе модели двумодового $\alpha\omega$ -динамо следующего вида:

$$\begin{aligned}\frac{dB^T}{dt} &= \omega B^P - \eta^T B^T, \\ \frac{dB^P}{dt} &= (\alpha - z) B^P - \eta^T B^T, \\ z(t) &= \frac{1}{T_K} \int_0^t K\left(\frac{t-\tau}{T_K}\right) \frac{|B^T(\tau)|^2 + |B^P(\tau)|^2}{B_0^2} d\tau,\end{aligned}$$

где $B^T(t)$ и $B^P(t)$ – амплитуды тороидальной и полоидальной мод; $1/\eta^T$ и $1/\eta^P$ – характерные времена затухания мод; α – мера α -эффекта при слабом поле; ω – мера дифференциального вращения; B_0 – характерная величина поля; $K(\cdot)$ – некоторое безразмерное ядро памяти; T_K – временной масштаб ядра.

Показано, что после обезразмеривания и перехода к безразмерным переменным $x \sim B^T$ и $y \sim B^P$ систему можно свести к уравнению

$$\begin{aligned}\frac{d^2x}{dt^2} + (1 + \sigma) \frac{dx}{dt} + sK(0)x^3 + x[-\sigma(D - 1) + u(t) + w(t)], \\ u(t) = \frac{s}{\sigma} \int_0^t K\left(\frac{t-\tau}{p}\right) \left(\frac{dx}{d\tau}\right)^2 d\tau, \\ w(t) = \int_0^t J\left(\frac{t-\tau}{p}\right) x^2(\tau) d\tau, \\ J(\cdot) = \frac{\sigma(1 + s^2)}{s} K(\cdot) + \frac{s}{p} K'(\cdot),\end{aligned}$$

где σ , D , p и s – безразмерные управляющие параметры.

Это уравнение можно рассматривать как осциллятор с линейным трением и эредитарным потенциалом $U(x) = Ax^3 + B[x]x$. Эредитарность определяется коэффициентом $B[x] = -\sigma(D - 1) + u(t) + w(t)$.

В докладе рассматриваются результаты численного моделирования этого осциллятора. Наблюдаемые динамические режимы интерпретируются с точки зрения теории осцилляторов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

2.27 Возможные эффекты от железной дороги в магнитных измерениях на Геофизической обсерватории «Новосибирск»

Хомутов С.Ю.¹, Ковалев А.А.², Гвоздарев А.Ю.¹, Семаков Н.Н.²

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

² *ИНГГ СО РАН*

После перехода Геофизической обсерватории «Новосибирск» (NVS) на цифровые магнитометры в результатах измерений проявились помехи в виде кратковременных скачков уровня и выбросов амплитудой до нескольких нТл, которые ранее не были видны на аналоговой фотозаписи. Основным эффектом наблюдался в вертикальной составляющей и значениях модуля. В качестве возможного источника этих помех рассматривалась железная дорога на постоянном токе, проходящая в 12 км к западу от обсерватории. В 2016–2012 гг. были выполнены маршрутные съемки модуля F по двум профилям различной протяженности, примерно перпендикулярные железной дороге. Было показано, что амплитуда помех падает линейно с расстоянием от источника. В более поздние годы была сделана попытка идентифицировать помехи, связывая их с движением по железной дороге, прежде всего с электричками, прохождение которых по дороге достаточно жестко привязано к расписанию. Здесь представлены обобщающие результаты выполненных исследований.

Работа С.Ю.Хомутова и А.Ю. Гвоздарева выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0, работа Н.Н.Семакова и А.А.Ковалева выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FWZZ-2022-0019).

2.28 Регистрация тока «Каменной Батареи»

Хаердинов Н. С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Россия*

Приборами Установки Ковер Баксанской нейтринной обсерватории (43,3N, 42,7E) в ночь с 1 на 2 сентября 2019 г, в условиях «хорошей погоды» регистрировались уникальные вариации электрических характеристик атмосферы, соответствующие грозовым явлениям. В ходе анализа установлено, что во время события, помимо грозового электрического поля, возникшего в тропосфере, в пойме горной реки, по земле, протекал электрический ток. Этот ток образовался в результате тектонической активности в виде медленных колебаний земной поверхности. На основе измеренных параметров и хорошо известной модели генерации электрического заряда напряжением горных пород оцениваются характерная величина этого заряда и соответствующий электрический ток в пойме реки.

2.29 Прогноз данных геомагнитного индекса SME на основе вейвлет-преобразования и нейронных сетей LSTM

Полозов Ю.А.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В работе предлагается подход по прогнозированию индекса геомагнитной активности SME на основе данных межпланетного магнитного поля и совместного применения вейвлет-преобразования, и нейронных сетей LSTM архитектуры. Построенная нейросетевая модель позволяет выполнить прогноз SME на несколько часов вперед. Анализ результатов в спокойные и возмущенные периоды геомагнитной активности показал зависимость качества аппроксимации данных от входных данных нейросетевой модели и глубины прогноза. Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021-2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

2.30 Сейсмоакустические проявления обратного сейсмоэлектрического эффекта II рода при электроразведке

*Богомолов Л.М.¹, Костылев Д.В.^{1,2}, Костылева Н.В.¹,
Дудченко И. П.¹, Гуляков С.А.¹, Мищенко М.А.³, Стовбун Н.С.¹*

¹ *Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного
отделения Российской академии наук*

² *Сахалинский филиал ФИЦ Единая геофизическая служба РАН*

³ *Институт космофизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН, Россия*

Представлены результаты экспериментов по электроразведке приповерхностного слоя земной коры в разломной зоне с регистрацией сейсмоакустических и сейсмических шумов в ближней зоне у источника (возбуждающего диполя). Эксперименты проводились в трех разных регионах: на п-ове Камчатка, зоне разноранговых разломов в районе расположения стационара ИКИР ДВО РАН «Карымшина», 2018 г, в Московской обл. (Русская платформа), на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево», 2019 г и в южной части о. Сахалин, на полигоне «Петропавловское» в зоне, примыкающей к Центрально-Сахалинскому разлому (2020–2022 гг). В качестве источника электроразведки в 2018–2019 гг. использовались аккумуляторные батареи с разработанным в ИМГиГ ДВО РАН автоматическим переключателем. В экспериментах на Сахалине (2020–2022) применялись различные модификации источника электрических импульсов, мощностью до 3 кВт, также разработанным в ИМГиГ ДВО РАН. Генераторное устройство обеспечивало силу тока в диполе существенно выше ее характерных значений в случае зондирования при электроразведке методами сопротивлений, а также при обычной сейсмоэлектроразведке. На последних этапах эксперимента (2021–2022) сила тока достигала 5–13 А. Такой диапазон токовых амплитуд был намного меньше, чем в случае глубинных зондирований с использованием геофизических МГД-генераторов или сверхмощных электроимпульсных устройств, дающих ток в возбуждающий диполь порядка килоампера с размером области замыкания тока в десятки километров. Сейсмические отклики при электроразведке с применением мощных источников тока уже исследованы. Также хорошо известны сейсмоэлектрические эффекты при

сравнительно небольших мощностях источника тока, и, как следствие, токах не более десятков – сотен миллиампер, и низких плотностях тока в среде (зона растекания — единицы – десятки метров). Вместе с тем, до настоящего времени обратный сейсмоэлектрический эффект оставался практически неисследованным при токах в «промежуточном» диапазоне 10 А и при масштабах порядка сотен метров. Цель наших экспериментов - исследовать сейсмоакустические проявления реакции среды на зондирование импульсами тока силой 5-13 А, выявить особенности в записях сейсмоакустических шумов. Регистрация фоновых шумов в сейсмическом и сейсмоакустическом диапазоне и ожидаемых вариаций во время зондирований велась с помощью молекулярно-электронных приборов: скважинного гидрофона и сейсмометра СМЕ-6111. В экспериментах на Камчатке также использовались и другие, более чувствительные гидрофоны, установленные в искусственном водоеме, а также высокочастотный сейсмоприемник (геофон А1638, ЗАО «Геоакустика»).

В экспериментах, проведенных в зоне Центрально-Сахалинского разлома в 2021–2022 гг., установлен эффект возрастания уровня сейсмоакустических шумов в поверхностных слоях вблизи источника — возбуждающего электрического диполя. Обнаруженная реакция среды на пропускание импульсов тока представляет собой разновидность обратного сейсмоэлектрического эффекта II рода, которая реализуется при достаточно высоких плотностях тока. При меньших плотностях тока, как в случае эксперимента на «Карымшина», подобная реакция среды не отмечалась. Изменения сейсмоакустики также не отмечены при электрозондированиях в асейсмичном регионе. Полученные результаты о нарастании уровня сейсмоакустических шумов при электрозондированиях отличаются от откликов сейсмичности на токовые импульсы мощных источников (геофизических МГД-генераторов, электроимпульсных установок) практическим отсутствием задержки после начала воздействия.

Разработка и применение более мощных, но экономически приемлемых генераторных устройств может дать дополнительную информацию о возможности активного мониторинга сегментов разломов на основе обратного сейсмоэлектрического эффекта II рода.

2.31 Динамическая система Селькова с переменной наследственностью для описания микросейсмических режимов

Паровик Р.И.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В работе предложена новая математическая модель для описания микросейсмических режимов взаимодействия двух типов трещин – затравочных и трещин, которые непосредственно генерируют микросейсмы. Математическая модель представляет собой систему из двух нелинейных дифференциальных уравнений с производными в смысле Герасимова-Капуто дробных переменных порядков. Исследуемая динамическая система является обобщением ранее изученной дробной динамической системы Селькова. Целью исследования предложенной модели является установление с помощью численных расчетов автоколебательных режимов. В качестве численного алгоритма исследование задачи выступает алгоритм, основанный на теории конечно-разностных схем. В работе показано, что предложенная динамическая система может обладать различными колебательными режимами в зависимости от выбора зависимости порядков дробных производных от времени, а также от значений параметров модели.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда №22-11-00064.

2.32 Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии

Мингазова 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, Россия*

Геоакустическая эмиссия является индикатором напряженно-деформированного состояния геосферы, поэтому исследование высокочастотной (до первых десятков килогерц) геоакустической эмиссии играет важную роль в разработке методики прогнозирования сильных землетрясений в сейсмоактивных регионах, таких как Камчатка. В работе был использован подход, основанный на построении математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии. Математическая модель представляет собой систему из двух линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с непостоянными коэффициентами. Каждое дифференциальное уравнение представляет собой импульс высокочастотной геоакустической эмиссии с определенными характеристиками, а взаимодействие между импульсами осуществляется с помощью коэффициента линейной связи.

В настоящей работе мы продолжаем дальше исследовать качественные свойства решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии. Для рассматриваемой модели дано обоснование существования и единственности решения на основе методов функционального анализа, исследована устойчивость нулевого решения математической модели, а также исследована ее устойчивость при больших временах с помощью критерия Рауса-Гурвица. Проведено исследование на жесткость, выявлено влияние параметров модели на жесткость исследуемой системы дифференциальных уравнений, приведена визуализация исследований зависимости жесткости от времени. Средствами компьютерной математики Maple, численным методом Розенброка, построены осциллограммы и фазовые траектории при различных условиях: наличия жесткости, неустойчивости и т.д. Сформулированы результаты исследования в виде теорем, а также даны направления дальнейшего исследования математической модели вы-

сокочастотной геоакустической эмиссии. Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021—2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0, а также в рамках гранта Президента РФ № МД-758.2022.1.1.

2.33 Прогнозирование космической погоды в Центре анализа космической погоды НИИЯФ МГУ

Мяжкова И.Н., Доленко С.А., Калегеев В.В.

НИИЯФ МГУ

Геомагнитные бури и радиационная обстановка в околоземном космическом пространстве являются важнейшими факторами космической погоды. Центр анализа космической погоды НИИЯФ МГУ обеспечивает оперативный мониторинг и прогноз геомагнитной обстановки, а также радиационных условий как на геостационарных орбитах, так и на низких полярных орбитах с использованием данных различных космических миссий. Интернет-портал Центра анализа космической погоды Института ядерной физики им. Скобелевца МГУ им. М.В. Ломоносова (<https://swx.sinp.msu.ru>) предоставляет возможность мониторинга и анализа геомагнитной обстановки и радиационной обстановки в космическом пространстве в режиме реального времени. Для построения прогнозирующих моделей используются методы машинного обучения, алгоритмы отбора существенных входных признаков модели и алгоритмы классификации.

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

2.34 Основные черты пространственно-временной взаимосвязи между режимом термоминеральных вод и развитием напряженно-деформированного состояния земной коры Кыргызстана

Кендирбаева Дж.Ж.

Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Для изучения характера пространственно-временной взаимосвязи между режимом термоминеральных вод (ТМВ) и деформационно-напряженным состоянием земной коры привлечены методы совмещения и сопоставительного анализа. В качестве примера предложены территории Кыргызстана. Параметры механизма очагов (МО) землетрясений базируются на модели Хонды-Введенской.

Временные графики ТМВ представляют собой синусоиды со слабым смещением минимума к летнему и осенне-зимнему периодам. Наибольшие эффекты, составляющие 20-50 процентов, зафиксированы в эпицентральных зонах: полезные сигналы по температуре достигают до 30° С, уровня (Н) колеблются от 0,5 до 2м, а дебита- от 20 до 100 процентов, тогда как отсутствуют реакции азота (N_2), CO_2 и гелия, а также полное равнодушие испытывают газовый фактор (GF) на фоне колебаний хлора, гидрокарбонатов, карбонатов и кальция, а также значений pH, хотя ощущались вариации в параметрах атмосферного давления.

Пятнадцать сейсмические события с энергетическим классом от 5,1 до 7,4 зафиксированы при подвижках со «сбросовым» и «надвиговым» типами, а при землетрясениях более 10 имеют «взбросовый» и «сдвиго-надвиговый» характер. Это дополнено также данными 23-х сейсмостанций, но во всех случаях деформации имеют «сдвиго-надвиговый» характер. Совместив данные режимных наблюдений, полученных на базе термоминеральных вод с направленностью миграции эпицентров землетрясений можно сказать, что в системе «предвестник-землетрясение-отклик» при внутренней нагрузке с энергетическим классом меньше 10 взаимосвязи отсутствуют, не выходя за пределы воздействия колебательных движений и сезонной цикличности в земной коре. На этом фоне между ними и ходом атмосферного давления, действительно, участвуют периоды квазиустойчивого и неустойчивого состояния среды. Так, по

записям 10 сейсмостанций в сейсмических очагах, находящихся на глубинах от 16 до 30 км, информативным оказалось землетрясение с энергетическим классом, равным 11,6 и гипоцентром, расположенным на глубине 25 км, имеющее деформации «сдвиго-надвиговой характер». При этом семь из них дали знак «+», а три из них - «-». В первом случае подвижки имели «сдвиго-надвиговой» характер, а три землетрясения с энергетическим классом 7,7 произошли при подвижках со «сдвиго-сбросовым» типом.

В целом эпицентры землетрясений с энергетическим классом более 10,6 в Кыргызстане располагаются неравномерно, концентрируясь группами в областях с размерами 50-70 км. При этом такое их компактное сосредоточение, имея реальную физическую природу, свидетельствуют о наличии глубинных тектонических разломов.

Таким образом, путем совмещения и сопоставления преобладающих размеров активных структур и всех факторов, участвующих во взаимосвязи, можно приблизить решение важнейших прикладных задач, связанных с выделением областей, на которых в средне- и краткосрочной перспективе возможна сейсмическая активизация.

2.35 О методиках долгосрочного прогноза извержений вулканов Камчатки: их эффективность и значимость по ретроспективным данным

Широков В.А.¹, Якунина Е.Н.²

¹ Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

² Национальный исследовательский Томский государственный университет

С начала 1960-х годов появился ряд работ, в которых указывалось, что космические факторы (солнечная активность, гравитационные поля Луны и Солнца и др.), в том числе известные астрономические ритмы, связаны с геодинамическими процессами в твердой Земле. Понятно, что при использовании известного с XIX века способа наложения ритмов друг на друга могут быть выявлены значимые активные фазы, что является основанием для выделения интервалов времени тревоги для ожидаемых извержений вулканов.

Выбор ритмов, рассчитываемых с точностью до тысячных долей года, позволяет более точно рассчитать время тревоги и повысить эффективность и оправдываемость прогнозов по сравнению с методикой прогноза, использующей квазипериодическую повторяемость сильных вулканических извержений во времени, применявшейся как в мире, так и для Камчатки. Отметим, что поскольку извержения вулканов и землетрясения, как правило, взаимосвязаны, для их долгосрочного прогноза часто используются общие методические подходы.

В докладе представлены некоторые результаты многолетних исследований Широкова В.А. в следующих аспектах:

- Прогноз камчатских извержений на основе использования лунного ритма 18,613 г. и его трех гармоник;
- Влияние ритма 18,613 г. на сильные вулканические извержения Камчатки;
- О методике прогноза наиболее сильных камчатских извержений и непересечении активных фаз извержений и землетрясений;
- О методике фазовых траекторий для прогноза камчатских извержений.

2.36 Вариации аномалий атмосферного давления во время сильных землетрясений в Казахстане

Базарева Л.Т., Виляев А.В.

Институт сейсмологии Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан

В изучении механизма землетрясений, вариации атмосферного давления принято относить к триггерному воздействию на состояние среды, близкой к разрушению, на последнем этапе подготовки землетрясения. Отдельными исследователями было показано, что атмосферное давление вызывает деформацию земной коры и приуроченность эпицентров сильных землетрясений к определённым пространственным положениям барических полей. Отмечалась возможность применения вариаций градиентов атмосферного давления на больших пространствах в краткосрочном прогнозе землетрясений.

В данной работе рассматривалась согласованность барических аномалий и эпицентров сильных землетрясений для сейсмоактивных регионов Казахстана и его приграничных районов. Основное внимание уделено аномалиям приземного атмосферного давления, существовавших за несколько дней накануне и во время сильных сейсмических событий (M более или равно 5,6) за период 1979–2022 гг. Анализировались карты аномалий давления и соответствующие эпицентры. Сейсмическая информация получена от National Earthquake Information Center (NEIC), данные о среднесуточном атмосферном давлении на станциях, ближайших к эпицентру, взяты из архива National Centers for Environmental Information (NCEI), сюжеты карт аномалий атмосферного давления на уровне моря строились с помощью Global Data Assimilation System (GDAS) National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Применялись статистический анализ для оценки повторяемости величин частот наибольших аномалий накануне или во время сейсмических событий и визуальная классификация в графическом режиме.

Типы барических образований во время сейсмических событий соответствовали многолетнему сезонному распределению атмосферного давления. Над рассматриваемой территорией в холодный период преобладает область высокого давления (Az), летом — поле

пониженного давления (Z_n) в подавляющем большинстве случаев. Землетрясения происходили на периферии аномалий атмосферного давления. Эпицентр 75% из них в течение времени до 3-х суток до землетрясения или в день землетрясения независимо от сезона года располагался в области нулевых или околонулевых значений аномалий, когда наблюдался их переход от положительных (отрицательных) к отрицательным (положительным) значениям.

Полученный результат подтверждает аналогичные исследования для других регионов и соответствует теории механизма, объясняющего возможное триггерное воздействие атмосферного давления на сейсмическое событие.

2.37 Вариации параметров сигнала от СДВ передатчика А1F3 принятого в геофизической обсерватории «Михнево» во время серии землетрясений в Турции в феврале 2023 г.

Поклад Ю.В., Ряховский И.А., Гаврилов Б.Г.

ИДГ РАН

В геофизической обсерватории «Михнево», расположенной в 100 км к югу от Москвы, ведется непрерывная регистрация сигналов от СДВ передатчиков. Одним из них является СДВ передатчик А1F3, расположенный в Израиле, в пустыне Негев. В феврале 2023 года в Турции произошла серия землетрясений. Первый, самый мощный толчок с магнитудой М7.8 произошел 06.02.2023 в 01:17:35 UT. Второй по силе толчок с магнитудой М7.5 был в этот же день в 10:24:49 UT. Всего в этот день произошло 109 толчков с магнитудой больше М4.5. Землетрясения в этом районе продолжались вплоть до конца февраля. Трасса сигнала от передатчика А1F3 до ГФО «Михнево» проходила на расстоянии 125-130 км к западу от эпицентров наиболее сильных толчков. Эпицентры более слабых землетрясений располагались ближе – вплоть до 25 км от трассы. В ночь перед первым, самым мощным землетрясением с магнитудой М7.8 в амплитуде принимаемого сигнала начались сильные вариации с характерным периодом 20-40 минут. Спектральный анализ показал, что в ночь с 5 на 6 февраля 2022 года наблюдалось заметное увеличение вариаций на частотах 0,2-0,6 мГц и около 1 мГц. Аналогичные, только существенно более слабые вариации амплитуды сигнала наблюдались и в последующие дни, в которые происходили землетрясения.

2.38 Мониторинг радиационных полей в околоземном пространстве с помощью прибора КОДИЗ на спутнике формата кубсат 3и «Монитор-1»

*Оседло В.И.¹, Антонюк Г.И.¹, Бенгин В.В.¹, Золотарев И.А.¹,
Нечаев О.Ю.¹, Свертилов С.И.²*

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*

В рамках проекта Московского университета «Созвездие-270» 9 августа 2022 г. осуществлен запуск космического аппарата «Монитор-1», на котором в качестве полезной нагрузки установлен прибор КОДИЗ – комплексный детектор космических излучений.

Прибор КОДИЗ предназначен для отработки аппаратуры для обнаружения радиационно-опасных потоков солнечных космических лучей, которые могут создавать дополнительную радиационную нагрузку на борту высотных самолетов. Прибор КОДИЗ содержит Черенковский детектор в виде цилиндра из оргстекла диаметром 38 мм и высотой 20 мм, просматриваемый ФЭУ. Для дозиметрии заряженных частиц в состав прибора также входят два кремниевых полупроводниковых детектора толщиной 0,3 мм. Мощность потребления прибора при номинальном напряжении 27 В не более 3 Вт вне зависимости от режима функционирования. Масса прибора без комплекта кабелей не более 0.9 кг. Прибор позволяет обнаруживать ухудшение радиационной обстановки в космическом пространстве в окрестностях Земли и получать информацию для оценки радиационной опасности таких ухудшений.

В настоящее время ведется обработка и анализ информации, поступающей с прибора КОДИЗ на спутнике «Монитор-1». Прибор регистрирует радиационные потоки и дозовую нагрузку, обусловленную радиационными полями в различных областях околоземного пространства, включая Южно-Атлантическую аномалию, внешний радиационный пояс, полярную шапку. Получены данные, как для геомагнитно-спокойных условий, так и во время геомагнитных возмущений, вызванных усилением гелио-активности, в том числе в начале и весной 2023 г.

3 Физика предвестников землетрясений

3.1 Сейсмическое явление, рассматриваемое с позиций неравновесной термодинамики, как процесс разрушения неустойчивой нелинейной структуры на примере Кроноцкого землетрясения 05 декабря 1997 г.

Богданов В.В., Павлов А.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

В представленной работе подготовка землетрясения рассматривается с позиций неравновесной термодинамики, в которых эволюция систем обусловлена процессами самоорганизации. При таком подходе литосфера представляет собой открытую нелинейную систему, в которой, за счёт внутренней диссипации и согласованного взаимодействия ее элементов может протекать процесс развития (самоорганизации), приводящий систему в критическое состояние. Развитие по Пригожину возможно только в стационарных состояниях, далёких от равновесного, когда линейное приближение не работает и нельзя утверждать с уверенностью об абсолютной устойчивости стационарных состояний. В свою очередь, неустойчивость системы означает, что флуктуации, существующие в ней, не затухают, как в устойчивых, а наоборот, в результате нелинейных процессов усиливаются. Они достигают макроскопического уровня и вызывают скачкообразный переход системы (сейсмическое событие) в новое устойчивое состояние с уменьшившейся энтропией (сейсмическое затишье). Иначе говоря, как отмечал Пригожин, происходит установление «порядка через флуктуации», и интерпретируемое им как последовательный переход системы в стационарное состояние с уменьшающейся энтропией. В этом случае изменяются масштабы связи между различными частями нелинейной структуры, т.е. изменяются масштабы временной и пространственной корреляции. В свою очередь, методы сейсмологического мониторинга напряженно-деформированной геосреды можно расширить, если для его изучения использовать метод вычисления распределения вероятностей возникновения землетрясений для различных случайных событий, на основе аксиоматического подхода А.Н. Колмогорова, примененного к каталогу Камчатских землетрясений. Это

позволяет проследить за самосогласованными изменениями в пространстве и во времени распределений вероятностей случайных величин (например, глубины) для слабых («фоновых») землетрясений, предшествующих сильному событию. Сформулирована гипотеза о том, что «фоновые» землетрясения с приближением главного толчка на протяжении нескольких лет имеют тенденцию группироваться на больших пространственных масштабах приблизительно на глубине готовящегося крупного события. В статье рассматриваются Кроноцкое событие, произошедшее 05.12.1997 г. с магнитудой $M_c = 7.7$.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», АААА-А21-121011290003-0.

3.2 Анализ сейсмичности Сахалина с позиций неэкстенсивной статистической физики.

*Сычев В.Н.¹, Богомолов Л.М.¹, Костылев Д.В.²,
Костылева Н.В.¹*

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН*

² *Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН*

Каталог землетрясений Сахалина рассмотрен с позиций неэкстенсивной статистической физики (non-extensive statistical physics, NESF). В основе анализа лежит концепция энтропии, которая была введена в 1988 г. Константино Цаллисом в качестве обобщение стандартной энтропии Больцмана—Гиббса. Энтропия Тсаллиса служит основой для обобщения стандартной статистической физики для случая неэкстенсивных (неаддитивных) систем [Tsallis, 1988]. Для описания функций распределения землетрясений использовалась модифицированная модель очага землетрясения stick-slip – прерывистое скольжение двух плит друг относительно друга вдоль разлома при наличии трения и заполняющих фрагментов между поверхностями разлома и принцип максимума энтропии Тсаллиса [Sotolongo-Costa, Posadas, 2004]. В этой модели фрагменты заполняющие пространство между плоскостями разлома могут играть роль подшипников, а также препятствовать относительному движению плоскостей. В данной модели напряжение накапливается до тех пор, пока не сместятся или не разрушатся заполняющие фрагменты, и не произойдет выделение энергии. Исходя из этого, смещение тектонических блоков и выделяемая энергия пропорциональны размерам фрагментов между разломами. В работе [Telesca, 2011] получено аналитическое выражение, описывающее распределение землетрясений по энергиям во всем диапазоне магнитуд, в отличие от эмпирической формулы Гутенберга – Рихтера, которое требовательно к выбору границ линейного участка графика повторяемости. Предложенный подход позволяет оценить степень неэкстенсивности сейсмичности в рассматриваемом регионе. Параметр Тсаллиса q можно использовать как меру стабильности активной тектонической зоны. Резкое увеличение параметра q указывает на усиление взаимодействия между разломными блоками и их фрагментами и связано с отклонением их от равновесного состояния [Complexity of ..., 2018].

Показано, что поток землетрясений представляет собой систему с памятью и дальними пространственными корреляциями, а вычисленные значения параметра Тсаллиса $q \sim 1.5$, практически совпадают со значениями, полученными для магнитуд каталогов различных сейсмоактивных регионов. В то же время при анализе потока событий, относящихся к техногенным воздействиям (взрывам), определено, что значение параметра Тсаллиса q ниже, чем вычисленное по каталогу землетрясений. Такие области, где производятся взрывные работы, характеризуются низким значением параметра Тсаллиса q . Это может означать, что между этими событиями отсутствует какая-либо взаимная корреляция, или, иначе говоря, землетрясения, вызванные взрывами, никак не связаны между собой.

3.3 Взаимодействие атмосферы и литосферы могло быть триггером землетрясения M_w 7.8 2023 г. в Турции

Волков В.А.¹, Дубров М.Н.², Ларионов И.А.³, Мрлина Я.⁴,
Полак В.⁴, Александров Д.В.², Головачев С.П.²

- ¹ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия*
² *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН, Россия*
³ *Институт космофизических исследований и распространения
радиоволн ДВО РАН, Россия*
⁴ *Геофизический институт АН ЧР, Чехия*

Представлен предварительный анализ данных, основанный на недавно проведенных точных измерениях наклонов и деформаций Земли с помощью приборов, разнесенных на большое расстояние, и их сравнение с атмосферной и циклонической активностью вместе с мировыми метеорологическими, океанологическими и космическими данными. Полученные результаты подтверждают выдвинутое ранее предположение о взаимодействии атмосферы, океана и литосферы как возможного спускового механизма сильных землетрясений. Мы представляем этот процесс как развитие последовательно возникающих ураганов (тайфунов) в виде пространственно-временных колебаний циклонически-активных зон над тектоническими плитами Земли в направлениях В-З или С-Ю. Процесс начинается за 4–7 недель до землетрясения, а после спада циклонической активности возобновляется, при этом возникновение мощного сейсмического толчка становится весьма вероятным. Исследование серии сильных землетрясений за 1997–2007 гг. показало, что указанный выше период раскачивания системы циклонов и подготовки землетрясений может увеличиваться до 1–2 месяцев для наиболее сильных сейсмических событий M_w 8–9. В данном исследовании рассматривается инициирование мощного землетрясения в Турции (6 февраля 2023 г.) которое могло быть результатом взаимодействия тропических циклонов в Индийском океане и внетропических ураганов в бассейнах Северной Атлантики и Средиземного моря. Возбуждение Индо-Австралийской и Африканской тектонических плит, окаймляющих южную сторону Аравийской тектонической плиты, развивалось в виде пространственных

и временных колебаний циклонических возмущений в направлении СЗ-ЮВ между бассейнами Атлантического и Индийского океанов в период с декабря 2022 г. по январь 2023 г. Ряд интенсивных внетропических циклонов затронул районы Центральной Европы и Средиземноморья, прилегающие к северной границе Аравийской плиты на ее самом узком и уязвимом участке, где произошла серия крупных землетрясений в начале февраля 2023 г. Наблюдаемое взаимодействие атмосферы и литосферы сопровождалось наклонно-барическими и деформационно-барическими возмущениями, регистрируемыми нашими приборами на больших расстояниях от Центральной и Восточной Европы до Дальневосточного региона. Наклонно-барические эффекты порядка $1.2\text{--}1.5 \text{ mas}/\text{mbar}$ и деформационно-барические события величиной $(2\text{--}3) \cdot 10^{-8} \text{ mbar}^{-1}$ наблюдались для наиболее интенсивных европейских ураганов и тропических циклонов в Индийском океане за 7 недель и за 2 недели до землетрясения M_w 7.8 2023 г. в Турции.

Работа частично выполнена в рамках реализации государственного задания № АААА-А21-121011290003-0.

3.4 Связь сейсмического режима Северного Тянь-Шаня с изменениями параметров электромагнитного поля

Белослюдцев О.М., Вилляев А.В.

Институт сейсмологии Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан

На территории Северо-Тянь-Шаньского сейсмоактивного региона проводятся многолетние исследования вариаций компонент геомагнитного поля и естественного электромагнитного излучения в диапазоне 10^{-4} Гц – 40 кГц. Изучаемые параметры — отношение амплитуд синхронных квазисинусоидальных колебаний Z/H (вертикальной и горизонтальной) на периодах от 8 до 120 минут. Результатом измерений компонент геомагнитного поля является коэффициент передаточной функции геомагнитного поля, отражающий электрическую проводимость слоев земной коры на разных глубинах проникновения поля.

Естественное электромагнитное излучение измеряется на частотах 0.125–40 кГц в 4-х диапазонах. Измеряемые параметры — количество импульсов и их суммарная энергия в единицу времени. В связи с высоким уровнем шумов в измеряемых параметрах разработана методика обработки с использованием нормированной энергии импульсов. Выходной ряд рассчитывается как отношение нормированной энергии на каждом из диапазонов к низкочастотному, являющимся опорным.

Полученные результаты применимы для выделения надежных предвестников накануне землетрясений с Ms более или равно 4.5, происшедших в радиусе 100 км от пункта измерений. Совместный анализ параметров электромагнитного излучения и количества микротолчков позволил предположить природу источника излучения как генерацию высокочастотных импульсов в период развития трещиноватости в земной коре непосредственно в районе станции.

Аномальные отклонения хода передаточной функции геомагнитного поля накануне землетрясений могут иметь разный знак в зависимости от изменения электропроводности на разных глубинах. За период наблюдений получен ряд достоверных краткосрочных аномалий, идентифицируемых с предвестниками землетрясений с Mb более или равно 5. Предложена физическая модель возникновения аномальных вариаций компонент геомагнитного поля и естественного электромагнитного излучения накануне землетрясений.

3.5 Возмущения в областях E и F ионосферы, предшествующие землетрясениям в Камчатском регионе

Богданов В.В., Павлов А.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Аномальные изменения параметров, характеризующих состояние ионосферных областей E и F , наблюдаемые перед наступлением сейсмических событий, могут рассматриваться как возможные ионосферные предвестники этих землетрясений. В представленной работе по данным, которые получены на ионосферной станции вертикального радиозондирования, расположенной в с. Паратунка (52.97° с.ш., 158.24° в.д.) проведен анализ ионосферных возмущений, регистрируемых перед наступлением землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$, произошедших в Камчатском регионе за период 2012–2022 гг. В качестве возможных ионосферных предвестников землетрясений рассматривались статистически значимые отклонения от фонового уровня предельной частоты отражения $foEs$, частоты экранирования $fbEs$ и действующей высоты $h'Es$ спорадического слоя Es , а так же критической частоты $foF2$ слоя $F2$ и действующей высоты $h'F$ области F в условиях отсутствия геомагнитных возмущений. Произведена оценка прогностической эффективности аномального поведения комплекса рассматриваемых ионосферных параметров для землетрясений с $M \geq 5.0$. Получены эмпирические зависимости, связывающие эпицентральные расстояния землетрясения и время упреждения ионосферных возмущений момента наступления землетрясений с их магнитудой.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

3.6 Предвестники землетрясений в F-области ионосферы, статистика сейсмоионосферных эффектов по данным станций вертикального ионосферного зондирования Японии

Липеровская Е.В.¹, Родкин М.В.^{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*

По данным японских станций вертикального зондирования ионосферы (Kokubunji, Wakkanai and Yamagawa, 1957–2020 годы) рассмотрены часовые вариации критической частоты foF2 в связи с землетрясениями. Учтено различие физического механизма разноглубинных землетрясений и возможное различие сейсмоионосферного отклика на процессы их подготовки. Можно полагать различным механизмы самых приповерхностных землетрясений (до глубины слоя отделителя С.Н.Иванова), обычных тектонических землетрясений с глубиной от слоя отделителя до 30–40 км, землетрясений, в решающей степени связанных с процессами дегидратации (от 30–40 км до примерно 100 км) и более глубоких. Конкретные границы таких изменений в исследуемой области не известны, и мы их предварительно положили равными 33 и 70 км. Для событий, отвечающих этим глубинным интервалам, выявлено существование статистически значимых и различных по характеру сейсмоионосферных эффектов в области процессов подготовки, приблизительно на расстояниях до 500 км. Кроме этого, для коровых землетрясений (с глубинами менее 33 км), выявлен статистически значимый сейсмоионосферный эффект на больших расстояниях от очага, примерно от 800 до 1500 км. Такое различие в характере отклика может отвечать различным механизмам сейсмоионосферного взаимодействия — выделению радона, изменениям электропроводности, развитию тепловых аномалий и акустико-гравитационных волн.

3.7 Глобальные геомагнитные возмущения, вызванные удаленными землетрясениями: открытие или ошибка?

Пиллипенко В.А., Мартинес-Беденко В.А.

ИФЗ РАН

Рассмотрен вопрос о возможности возникновения глобальных геомагнитных возмущений во время удаленных землетрясений, о регистрации которых сообщалось в многочисленных публикациях в ведущих российских геофизических журналах. Если эти результаты подтвердятся, то это могло бы стать крупным открытием в геофизике, поэтому эти наблюдения требуют более детальной проверки. Сопоставление приведенных в публикациях возмущений с данными высокоширотных магнитных станций показало, что вся совокупность морфологических свойств длиннопериодных возмущений (с длительностью 10-40 мин) свидетельствует о том, что они являются характерными проявлениями активизации магнитосферно-ионосферной токовой системы на авроральных широтах. Таким образом, обнаруженные возмущения являются среднеширотным откликом на вариации электроджета в авроральной области и не связаны с сейсмической активностью. Короткопериодные периодические возмущения (с периодом порядка 1 мин) оказались пульсациями P_12 магнитосферного происхождения, случайно совпавшими с моментами удаленных землетрясений. Рассмотренный вопрос является наглядной иллюстрацией того, что выделение аномальных возмущений должно проводиться совместно специалистами по физике землетрясений и космической погоде.

3.8 LURR (load-unload response ratio): новые результаты на примере землетрясения Токачи-Оки (25.09.2003, M=8)

Закупин А.С.

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
Южно-Сахалинск, Россия*

В работе предлагается оригинальный подход к методологии LURR, который был применен к анализу сейсмичности острова Хоккайдо. Для обработки данных мы использовали программный комплекс Seis-ASZ, разработанный в Институте Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН, и авторские методики, которые отличаются универсальностью в выборе параметров обработки. Они использовались для определения параметров расчета параметра LURR во времени, правил выявления аномалий LURR, условий сканирования территории, которая во много раз превышает расчетную площадь, и объекты прогноза. Исследование проведено с сейсмическими данными в той части острова Хоккайдо, где в современный период произошло одно из сильнейших землетрясений в мире – Токачи-Оки (25.09.2003, M=8). Для этого исследования территория вокруг землетрясения Токачи-Оки была разделена на 9 расчётных областей (окружности радиусом 1°) с шагом 1° по широте и долготе (40° - 44° северной широты, 142° - 146° восточной долготы). Ретроспективный анализ проводился с 2000 по 2020 гг. За 20-летний период была определена одна прогнозная зона. Эта зона представлена двумя расчётными областями с аномалиями в конце 2001 – начале 2002 гг. и включает в себя эпицентр Токачи-Оки (по сути, является для него прогнозом). Такое низкое количество аномалий (по сравнению с Сахалином, где за 22 года их было больше 60) объясняется эффектом подавления незначительных вариаций через большой объём рабочей выборки (например, с Сахалином разница в 5 раз). Можно резюмировать, что сейсмический режим острова Хоккайдо является хорошим вариантом для прогноза землетрясений высшего порядка и практически не выдаёт ложных тревог. Такие оценки являются предварительными, так как изученная область составляет лишь 45% сейсмически активной территории острова.

3.9 Метеорологические аномалии и сильные камчатские землетрясения

Копылова Г.Н.¹, Серафимова Ю.К.¹, Любушин А.А.²

¹ *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»*

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

По данным многолетних (1962–2020 гг.) наблюдений за температурой воздуха и атмосферным давлением на двух метеостанциях в районе г. Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) анализируются гипотезы о связи повышенных и пониженных значений метеопараметров и их контрастных изменений с финальной стадией подготовки местных наиболее сильных землетрясений, вызвавших ощутимые сотрясения интенсивностью $\text{IMSK-64} > 4-5$ баллов в районе города. Магнитуды таких землетрясений $M = 5.2-8.3$, эпицентральные расстояния до метеостанций $d_e = 22-440$ км.

Для выделения метеоаномалий применялись: 1 — эмпирический способ сопоставления среднесуточных температур воздуха и атмосферного давления со среднесуточными величинами их годовых среднесезонных функций и 2 — формализованный метод оценок минимальной нормализованной энтропии, логарифма коэффициента эксцесса и авторегрессионной меры нестационарности временных рядов температуры воздуха и атмосферного давления в скользящем временном окне. В качестве «аномальных» величин метеопараметров принимались значения, выходящие за диапазон $X_i \pm S_i$ и $X_i \pm 2S_i$, как повышения, так и понижения. X_i — среднее суточное значение величины метеопараметра на каждый день календарного года, $i = 1, \dots, 365$ (366) (среднесезонная функция), S_i — среднее квадратическое отклонение величины метеопараметра для каждого дня календарного года.

Анализ связи различных видов метеоаномалий на временных интервалах от 7 до 112 суток перед землетрясениями проводился по соотношению величин надежности и достоверности условного метеорологического предвестника. С использованием такого подхода, обнаружен преимущественно случайный характер проявления различных видов метеоаномалий перед землетрясениями. Вместе с тем, примечательной оказалась гипотеза об «аномальном» изменении атмосферного давления — его превышении интервала $X_i \pm 2S_i$,

как превышения, так и понижения, на интервале времени один месяц до землетрясения. Такие аномалии наблюдались перед 10 - ю землетрясениями из 12. При регулярном анализе метеопараметров на такие «аномалии» следует обращать внимание, как на дополнительный признак, при комплексном подходе к поискам предвестников и прогнозу времени сильных землетрясений, сопровождающихся ощутимыми сотрясениями в районе г. Петропавловска-Камчатского.

Используемые методы анализа метеорологических данных также могут найти применение в работах по сейсмическому прогнозированию в районе Петропавловск-Елизовской агломерации Камчатского края для диагностики метеозависимых аномалий в изменениях наземных данных наблюдений.

Работа выполнена по проекту РНФ № 22-17-00125.

3.10 Наблюдение за изменением состояния среды поверхностного слоя почвы по результатам лингвистической обработки геоакустической эмиссии

Сенкевич Ю.И., Мищенко М.А.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Мониторинг состояния поверхностного слоя почвы позволяет проводить оценки геофизических процессов, таких как степень напряженно-деформированного состояния верхних слоев литосферы, интенсивность сейсмических волн, которые во многом определяют вероятность возникновения землетрясений и цунами. Для целей мониторинга применяют технологию прямых геофизических измерений с использованием разного рода деформографов и сейсмографов. Проводимые измерения сложны в установке, настройке, требуют регулярной поверки приборов. В ИКИР ДВО РАН с 2003 года разрабатывается и реализуется альтернативная технология с использованием косвенных измерений на основе обработки и анализа измерений сигнала геоакустической эмиссии. Опыт проведенных исследований показал достаточно высокую эффективность разработанных методов, позволяющих наблюдать изменения интенсивности потока импульсов геоакустической эмиссии, формы импульсов и их распределение под действием различных природных факторов. Целью настоящего исследования является развитие методов лингвистической обработки геоакустической эмиссии для анализа динамики состояния поверхностного слоя почвы. Показаны результаты вычислительных экспериментов с искусственными и естественными сигналами геоакустической эмиссии. Результат внедрения нового метода позволяет оперативно следить за скоростью и характером смены состояния почвенного слоя.

3.11 Оперативные предвестники землетрясения 16 марта 2021 г. с $M_w=6.6$, Камчатка.

Макаров Е.О., Акбашев Р.Р.

ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Камчатский филиал, Петропавловск-Камчатский

На Камчатке на протяжении многих лет ведутся наблюдения за вариациями подпочвенных газов (в первую очередь радона) с целью разработки методики прогноза сильных землетрясений. В последние годы была создана сеть наблюдений за вариациями электрического поля атмосферы с целью оценки вклада вулканической деятельности в электризацию приземного слоя атмосферы, а так же поиска связи между радиоактивными газовыми эманациями и электрическим полем.

Анализ и сопоставление данных электрического поля атмосферы с вариациями подпочвенного радона ретроспективно позволили выявить аномальные вариации параметров, возникшие за ~ 13 ч перед землетрясением 16 марта 2021 г. с $M_w=6.6$. Длительность аномалий, выделенных в поле подпочвенного радона, в гамма и бета излучении, регистрируемых в одном из пунктов камчатской сети на высотах 2.5 и 5 м над уровнем земли и электрическом поле атмосферы составила 20–30 ч. В данных электрического поля атмосферы так же выявлен возможный постсейсмический эффект длительностью около 2 часов. Обнаруженные аномальные возмущения, предваряющие землетрясение, можно рассматривать как его оперативные предвестники и свидетельство воздействия верхнего слоя земной коры на приземную атмосферу во время его подготовки.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФ № 22-17-00125.

3.12 Степенной составной и дробный процесс Пуассона в теории аномальных явлений

Шевцов Б.М., Шереметьева О.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

Степенной составной и дробный по времени процесс Пуассона рассматривается как масштабно инвариантная статистическая модель аномальных явлений в эредитарной теории критичности. Такая модель может быть полезной в исследованиях энергоактивных зон. Независимо от своей природы аномальные явления обладают универсальными свойствами, среди которых, в первую очередь, надо отметить масштабную инвариантность (скейлинг). Предложенная модель объединяет статистические свойства скейлинга случайных событий и эредитарные эффекты, найденные соотношения объясняются на примерах аналогий различной природы. Определены критические режимы процесса и исключительные значения критических индексов. Обсуждается обусловленная скейлингом структурная неустойчивость процесса и катастрофы в описании его статистических характеристик, которые можно рассматривать как проявления стохастического резонанса. Полученные результаты используются для исследования сейсмических данных и определения критических индексов деформационного процесса. Показано, что при определенных значениях критических индексов катастрофически возрастает скорость деформаций, что и создает условия для генерации различных геофизических полей, которые можно рассматривать в качестве предвестников землетрясений.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме (2021–2023 гг.) «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», регистрационный номер АААА-А21-121011290003-0.

3.13 Отклик геомагнитного поля на землетрясение в Турции 06.02.2023

Рябова С.А.^{1,2}, Шалимов С.Л.¹

¹ *ИФЗ РАН*

² *ИДГ РАН*

Посредством измерений на магнитных станциях Гроцка, Панагюриште и Сурлари проводится анализ и интерпретация специфических вариаций геомагнитного поля в период двух сильных землетрясений магнитудами 7,8 и 7,5 в Турции 06.02.2023, которые произошли с интервалом в девять часов. Геомагнитный отклик на эти землетрясения, зарегистрированный на расстояниях 1200–1600 км от эпицентра, можно интерпретировать в терминах распространения сейсмической волны Релея и атмосферных волн – акустических и внутренних, т.е. тех волн, источником которых является само землетрясение.

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

3.14 Сейсмический процесс Анатолийской плиты (Турция)

Сычева Н.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Россия

В работе исследована сейсмичность земной коры Турции (Анатолийская плита). Построение распределений сейсмичности (количество землетрясений в год на единицу площади), среднегодовой скорости СТД (интенсивность СТД) I_{Σ} , параметра концентрации сейсмогенных разрывов КСР и параметра Тсаллиса q выполнено на основе анализа данных каталога землетрясений (более 300000 событий), произошедших за 1900–2022 гг. Выполнено построение распределения Гутенберга-Рихтера и определена представительная часть каталога, которая включает в себя события с $M \geq 2.5$. Распределение указанных параметров рассчитано по представительной части каталога и для слоя 0–40 км, где локализована основная часть землетрясений. Глубокофокусные землетрясения происходят до глубины 170 км. Максимальное число землетрясений в год происходит в провинции Баликесир (более 90). Анализ сейсмичности и интенсивности СТД выполнен для различных временных периодов — 1997–2009 гг. и 2010–2022 гг. Отдельно рассматриваются западная и восточная часть Турции, а также область разрушительных землетрясений 6 февраля 2023 г. Количество землетрясений, происходящих в западной части Турции, значительно превышает количество землетрясений в восточной и составляет 75%. В период 2010–2022 гг. увеличилось количество землетрясений в восточной части Турции по отношению к периоду 1997–2009 гг. и составило 38% от общего числа событий.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания ИФЗ РАН.

3.15 Сеймотектонические деформации земной коры Анатолийской плиты (Турция)

Сычева Н.А.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Россия

В работе исследовано напряженно-деформированное состояние земной коры Турции, тектоника которой обусловлена относительными движениями Африканской, Эгейской, Аравийской, Анатолийской, Черноморской и Евразийской плит. Указанная область исследована методом сеймотектонических деформаций (СТД). Расчет СТД выполнен на основе подходов, предложенных в работах Ю.В. Ризниченко и С.Л. Юнга. Исследования направленности СТД основаны на данных о фокальных механизмах очагов 807 землетрясений, произошедших в период с 1976 по 2023 гг. Интенсивность СТД в области землетрясений 6 февраля 2023 года, с учетом этих землетрясений, составляет $1.34 \cdot 10^{-6}$ /год, а фоновая интенсивность за весь период наблюдений (1900–2022 гг.) имела порядок $-10 \cdot 10^{-10}$ /год. По картам СТД определены направления осей укорочения, которое меняется от субмеридианального на востоке до субширотного на западе Турции, и отмечено разнообразия деформационных обстановок на территории исследования. Большинство на территории Турции преобладает режим горизонтального сдвига (восточная и центральная часть), переходный режим от растяжения к горизонтальному сдвигу и режим растяжения (западная и южная часть). Область расположения оз. Ван характеризуется режимом транспрессии. На основе тензоров СТД, построены распределения коэффициента Лоде-Надаи, вертикальной компоненты. Проведено сравнение направлений осей укорочения и удлинения на основе сейсмических и GNSS-данных.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания ИФЗ РАН.

3.16 Явления космической погоды и их триггерные эффекты на земную сейсмическую и вулканическую активность

Комитов Б.П.¹, Кафтан В.И.²

¹ *БАН - Институт по астрономии*

² *РАН - Геофизический центр*

В настоящем исследовании даны доказательства того, что явления космической погоды могут играть роль триггерных механизмов для значительной части земных сейсмических и вулканических событий. Для статистического анализа были использованы несколько типов данных:

1. Полная совокупность данных для вулканических событий в последних 470 лет, начиная с 1551 и до 2020 года (6215 извержений с эруптивным вулканическим индексом $VEI=>0$);

2. USGS — каталог сильных землетрясений ($M=>5.8$) с 1958 года;

3. Полная совокупность данных солнечной активности в рентгеновской области и связанные с ней другие солнечные и геофизические события с NASA/NOAA STP-сервера начиная с 1958 года;

4. Полная совокупность данных о наблюдаемых группах солнечных пятен, начиная с 1874 и вплоть до 2023 года;

5. Исторические описания сильнейших землетрясений на Балканском полуострове в конце 19-го и начале 20-го века;

6. Ряд Шове как непрямая характеристика солнечной активности в 16-ом и 17-ом веках.

Сильные солнечные вспышки и связанные с ними солнечные протонные события (СПС), выбросы корональной массы (ИКМ), колебания солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) рассматриваются как первичные источники непосредственно связанные с солнечной активностью. Геофизические события, такие как внезапные возмущения ионосферы, радиационные бури, повышения естественного радиационного фона, геомагнитные бури и вариации потока галактических космических лучей (ГКЛ), которые возникают из-за вышеописанных явлений, ведут к значительным изменениям параметров в электрической токовой системе «нижняя ионосфера – стратосфера/тропосфера – литосфера».

Таким образом, эти явления могут влиять на концентрацию, движение и вертикальное распределение электрических зарядов в

упомянутых слоях. Тектонические разломы — те районы, в которых наблюдается большая часть тектонической активности, являются очень чувствительными к таким влияниям. Из-за этого упомянутые солнечно-геофизические события могут рассматриваться как триггеры для некоторых проявлений тектонической активности. Эти эффекты, очень четко видимы у мощнейших вулканических извержений, для которых вулканический эруптивный индекс VEI равен или выше 5. Подобная тенденция наблюдается и для землетрясений. В нашем исследовании установлены два пика сильнейших вулканических и сейсмических событий по отношению солнечному пятнообразовательному циклу Швабе-Вольфа. Первый из них привязан к максимумам солнечного цикла, а второй — к его минимумам. Оба пика относятся к двум типам первичных источников космической погоды, связанным с солнечными вспышками и максимумами потока ГКЛ, соответственно.

3.17 Статистические свойства фонового сейсмического шума на сети сейсмических станций в районе полуострова Камчатка и сильные землетрясения

Касимова В.А.

*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая Геофизическая служба РАН»,
Петропавловск-Камчатский, Россия*

Рассматриваются результаты многолетних исследований непрерывных записей на сети из 27 широкополосных сейсмостанций ФИЦ ЕГС РАН в районе полуострова Камчатка, Командорских о-вов и о-ва Парамушир (фоновый сейсмический шум, ФСШ) с использованием статистических параметров, предложенных д. ф.-м. н. А.А. Любушиным, ИФЗ РАН. Были созданы временные ряды ширины носителя спектра сингулярности, обобщенной экспоненты Херста, а также минимальной энтропии распределения квадратов ортогональных вейвлет-коэффициентов и вейвлетной спектральной экспоненты за 2011–2023 гг., рассчитанные во временном окне одни сутки для каждой сейсмостанции. Эти временные ряды использовались для построения карт и графиков пространственно-временного распределения и частотно-временных диаграмм эволюции спектральной меры когерентного поведения статистик ФСШ. Обнаружены пространственно-временные особенности проявления статистических параметров ФСШ в районах будущих очагов местных землетрясений с магнитудами $M=7.2-8.3$ в течение времени от месяцев до первых лет, проявляющиеся в понижении величин ширины носителя спектра сингулярности, обобщенной экспоненты Херста, вейвлетной спектральной экспоненты и в повышении минимальной энтропии распределения квадратов ортогональных вейвлет-коэффициентов. Обнаружен рост величины спектральной меры когерентного поведения четырехмерного ряда параметров ФСШ перед тремя сильнейшими землетрясениями с величинами магнитуд 7.5 и более. Установлено различие в проявлении эффекта увеличения меры спектральной когерентности в изменениях 4-хмерных временных рядов статистических параметров ФСШ, построенных по данным от групп станций, идентифицируемых с учетом пространственной конфигурации сети и локального

сейсмического фона под влиянием морского волнения и вулканической активности. Установленные закономерности поведения статистик ФСШ позволяют использовать представленную методику в задачах мониторинга сейсмической опасности в районе полуострова Камчатка и прогнозирования мест следующих сильных землетрясений с магнитудами 7.5 и более.

Автор выражает благодарность д.г.-м.н. Г.Н. Копыловой за постановку исследования, д.ф.-м.н. А.А. Любушину за предоставленные программные средства и полезные консультации по их использованию.

3.18 Исследования напряженно-деформированного состояния геосреды эманационными методами на примере $\alpha(t)$ -модели переноса радона

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

¹ *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

² *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия*

³ *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН*

Непрерывный мониторинг вариаций объемной активности радона с целью поиска ее аномальных значений, предшествующие сейсмическим событиям, является одной из эффективных методик исследования напряженно-деформированного состояния геосреды. Предлагается задача Коши, описывающая перенос радона с учетом его накопления в камере и наличия эффекта памяти геосреды. Модельное уравнение представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение с непостоянными коэффициентами с производной в смысле Герасимова-Капуто дробного переменного порядка. Показано, что за счет порядка дробной производной, а также квадратичной нелинейности в модельном уравнении результаты численного моделирования дают лучшую аппроксимацию экспериментальных данных радонового мониторинга, чем по классическим моделям. Это указывает на то, что эредитарная $\alpha(t)$ -модель переноса радона является более гибкой, что позволяет с помощью нее описывать различные аномальные вариаций в значениях объемной активности радона в следствии напряженно-деформированного состояния геосреды.

Исследования выполнены в рамках гранта Президента РФ МД-758.2022.1.1 по теме «Развитие математических моделей дробной динамики с целью исследования колебательных процессов и процессов с насыщением».

3.19 Причина аномального поведения дышащих почвенным и приземным воздухом животных перед землетрясениями

Руленко О.П.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

С глубокой древности известны многочисленные свидетельства очевидцев об аномальном поведении диких и домашних животных перед землетрясениями. Природа биологического предвестника во многом не ясна. В докладе рассматривается причина аномального поведения животных, которые дышат почвенным и приземным воздухом. К ним относятся живущие в норах змеи и ящерицы, мыши и крысы и вдыхающие выходящий из почвы воздух кошки, собаки, лошади, коровы и др. Удивительные истории их аномального поведения перед землетрясениями описаны в научной и научно-популярной литературе.

Перед землетрясениями увеличивается объемная активность радона и торона в почвенном воздухе, что приводит к увеличению интенсивности ионообразования и концентрации легких положительных и отрицательных ионов. Отрицательные ионы, подвижность и коэффициент диффузии которых больше, чем положительных, сильнее поглощаются на огромной суммарной поверхности стенок пор в почве. Поэтому в почвенном и выходящем из почвы воздухе увеличивается избыток положительных ионов, который известен в атмосферном электричестве. Разными исследователями обнаружено, что при увеличении концентрации положительных аэроионов в организме животных, в том числе человека, повышается содержание серотонина. Серотонин (5-гидрокситриптамин) является мощным и универсальным нейрогормоном, оказывающим сильное действие на эндокринные, метаболические и неврологические изменения в организме и играющим важную роль в передаче нервных импульсов. Он усиливает возбудимость, повышает двигательную активность рассматриваемых животных и вызывает их аномальное поведение перед землетрясениями.

1 Atmosphere physics

1.1 About dependence of Schumann resonance frequency at Altay on solar activity

Gvozdarev A.Y.¹, Uchaikin E.O.²

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

² *Gorno-Altai State University*

The results of monitoring of the first three Schumann resonances parameters at the Baigazan magnetic station (Russian Altay) in 2015–2022 are presented. The relationship of the diurnal dynamics of the amplitude of resonances with the activity of global thunderstorm centers (Southeast Asia, Africa, America) is discussed. It is shown that the frequency of the first Schumann resonance is correlated with the level of solar activity over these years.

The work was supported by RFBR grant 20-45-040013 r-a and Department of Education and Science of Altay Republic.

1.2 Analysis of $^{14}\text{N}^{18}\text{O}$ isotopolog in the 5200 – 5500 cm^{-1} infrared spectral region: Molecular constants for $v=3$ vibrational state

Borkov Yu.G., Sulakshina O.N., Serdyukov V.I., Sinitza L.N.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS

Continuing the investigation of various nitric oxide isotopic species, high resolution infrared spectrum of N^{18}O was analysed in the 5200-5500 cm^{-1} region. On a Bruker IFS-125M Fourier spectrometer with a spectral resolution of 0.0056 cm^{-1} the vibrational band 3-0 was recorded to the first time. As a result of the analysis, 99 Λ -doublets of vibration-rotational lines were found in the 3-0 band of the main transitions between the electronic states $^2_{1/2}$ and $^2_{3/2}$. For 58 of them, it was possible to obtain the positions and relative intensities of each component of the doublet. The whole set of 157 registered transitions frequencies, weighted in accordance with the experimental uncertainties, were processed by the program code using the non-linear least squares method. This processing made it possible to determine spectroscopic constants for the state $v=3$ vibrational state of the N^{18}O isotopologue. The Λ -doubling constants for this state are determined for the first time. The obtained results are compared with the well-known database of spectroscopic information HITRAN2020. The research was performed under contract № 23-23-00184 with the Russian Science Foundation.

1.3 Analysis of electromagnetic radiation during Shiveluch and Bezymyanniy volcano eruptions from 2017 to 2023

*Malkin E.I.¹, Cherneva V.I.², Makhlai D.O.², Cherneva N.V.¹,
Sannikov D.V.¹, Druzhin G.I.¹, Akbashev R.R.³,
Robert H. Holzworth⁴*

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

² *ITMO University, Russia*

³ *Kamchatka Branch of the Federal Research Center of the
Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

⁴ *Earth and Space Sciences, University of Washington, Seattle, USA*

The paper presents the analysis of monitoring of natural pulse electromagnetic radiation (PER) in VLF range (3-30 kHz) accompanying dirty thunderstorms occurred during Shiveluch and Bezymyanniy volcano eruptions. Lightning activity in ash-gas cloud during a volcano eruption is traced by radio technical monitoring devices located in the region of Karymshina river. More than 40 eruptions of Shiveluch volcano were analyzed during the investigations over the period of data collection from 2017 to 2023. More than 75% from the eruptions caused lightning generation whereas during the Bezymyanniy volcano eruptions over the indicated period, all the events were accompanied by PER increases typical for dirty thunderstorms. It was demonstrated that two-stage scenario of event development was characteristic for all the cases. The first stage of PER increase is accompanied by eruptive column formation and it depends on burst power and ash ejection height. The second stage depends on eruption power and eruptive cloud interaction during the process of its propagation with meteorological clouds (that can be indicated by the increase of the number of cloud-cloud strokes). The mechanism of thunderstorm formation in eruptive clouds, explaining their two-stage regime, was shown.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0.

1.4 Analysis of ionospheric parameters during solar events and magnetic storms

Mandrikova O.V., Fetisova N.V.

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

The response of the ionosphere to solar and geomagnetic events (geomagnetic storms and substorms, CMEs and solar flares, CIR) is manifested in the form of ionospheric disturbances (ionospheric storms). They can consist of positive and negative phases characterizing the changes in electron concentration. The nature of the course of an ionospheric storm depends on the coordinates of the registration station, season, geomagnetic storm and its intensity, and other parameters. Recent studies show that ionospheric disturbances can also be observed during the preparatory phase of magnetic storms, which is of particular interest for solving problems of space weather predicting.

This paper presents the results of an analysis of ionospheric parameters during magnetic storms that occurred from 2017 to 2022 (we analyzed the foF2 data from Paratunka station, Kamchatka). The behavior of the foF2 variations was studied depending on the strength of the geomagnetic disturbance (events of weak, moderate and high intensity were considered). The main interplanetary drivers of disturbances were also taken into account (CMEs, CIRs, events of mixed nature). The analysis was performed using a generalized multi-component model (GMCM) developed by the authors. GMCM is based on the joint use of wavelet transform and ARIMA models. In the process of modeling, ionospheric anomalies were detected and their parameters (intensity, duration, start time) were estimated. Typical features of ionospheric parameter dynamics during disturbed periods determined by space weather factors were detected. The high frequency of the pre-increase effect (positive anomaly) on the eve of moderate and strong magnetic storms was confirmed.

The work was carried out according to the Subject AAAA-A21-121011290003-0 “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric influences” IKIR FEB RAS. The authors would like to thank the institutes supporting the data registration stations used in the study.

1.5 Approximation of small amplitude atmospheric waves short in vertical

Kurdyayeva Y.A.^{1,2}, Kshevetskii S.P.^{3,1}

¹ *St. Petersburg State University*

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

³ *Immanuel Kant Baltic Federal University*

Acoustic and internal gravity waves generated by various tropospheric sources significantly affect the state of the atmosphere. In most large-scale atmospheric models, waves are taken into account by using parameterizations. In this paper, approximation formulas for waves short in the vertical variable are constructed that are suitable for parametrizing wave effects in numerical models of global atmospheric dynamics. When deriving the formulas, a variant of the short-wavelength approximation based on the method of different scales was used. The derived formulas are complete and more subtly take into account the change in the parameters of the atmosphere with height, in comparison with other versions of the approximation of short waves along the vertical. Applicability conditions for approximate formulas for describing acoustic-gravity waves propagating from tropospheric heights to thermospheric heights are formulated.

This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement 075-15-2021-583).

1.6 Carbon dioxide line broadening coefficients induced by N₂, N₂O and CO

*Laurentieva N.N.¹, Dudaryonok A.S.¹, Kitaeva A.V.²,
Krapivnaya O.N.³*

¹ *Institute of atmospheric optics SB RAS, 634055, Tomsk,
Akademician Zuev square, 1, Russia*

² *National research Tomsk state university, 634050, Tomsk, Lenina
av., 36, Russia*

³ *Institute of technical acoustics NAS of Belarus, 210023, Vitebsk,
Lyudvikova av., 13, Belorussia*

The study of the influence of solar activity on the dynamics of the atmosphere is impossible without knowing the exact parameters of the spectral lines used as input data in the problems of calculating the absorption of solar radiation in the atmosphere. Of paramount importance are the half-widths and shifts of the lines of carbon dioxide, which is one of the most active greenhouse gases, by the pressure of atmospheric components (primarily N₂). The carbon dioxide line broadening coefficients induced by nitrogen, nitrogen oxide and carbon monoxide at room temperature ($T = 296\text{ K}$) are presented. Using a tunable CO₂ laser the unsaturated absorption coefficients of carbon dioxide lines in the (1000)-(0001) band are obtained. The temperature dependences of the line broadening coefficients are received in the range $300\text{ K} \leq T \leq 700\text{ K}$. The measurements were carried out in a pure CO₂ gas and in binary CO₂ gas mixtures with N₂, N₂O and CO buffer gases in a ratio of 1:2 at pressure of 100 Torr. Calculations of the carbon dioxide line widths are performed for the P- and R-branch transitions in the investigated temperature range. The obtained data were compared with the experimental half-widths for the lines: P(8), P(22), P(36), R(8), R(22). Then calculations were made for a wide range of the rotational quantum number J (up to 100). The temperature exponents are calculated for every line widths. The calculations were performed by a semi-empirical method [Mol. Phys. 102 (2004) 1653], based on the semiclassical impact theory of line broadening and modified by introducing additional correction factor whose parameters can be determined by fitting the broadening or shifting coefficients to the experimental data.

1.7 Comparative study of atmospheric wave propagation from a meteorological source using the WRF model

Gross R.P.¹, Kurdyaeva Y.A.²

¹ *Immanuel Kant Baltic Federal University*

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

Internal gravity waves (IGWs) are an important element of atmospheric dynamics. Qualitative modeling of these waves is a relevant problem of modern geophysics. Different approaches to take into account the contribution of IGWs in numerical models to the energy balance of the atmosphere usually require a comparison of simulation results with experimental observational data. However, such a comparison is usually complicated by the interpretation of experimental results, which can be obtained, for example, in a complex heliophysical setting. Comparison of model results with more accurate data, uniquely associated only with a concrete tropospheric wave source, can significantly improve the quality of modeling and develop understanding of the vertical propagation of atmospheric waves.

In this study, a simulation of a real meteorological event in the Moscow region on May 29, 2017 was performed using the WRF mesoscale atmospheric model. The propagation of IGWs in the stratosphere and lower mesosphere throughout the period was studied. Estimates of wave drag and IGWs energy were obtained. The results of WRF modeling and simulation of the same event using the AtmoSym regional numerical model of the neutral atmosphere with different initial conditions were compared. The AtmoSym model accurately calculates the change in hydrodynamic functions due to a particular meteorological source. The comparison made it possible to assess how changes in the parameters of the lower atmosphere affect the propagation of atmospheric waves and other dynamic processes. The results obtained made it possible to analyze how well the WRF model can reproduce atmospheric waves generated by meteorological sources.

This investigation was performed with the financial support of the Russian Science Foundation Grant No. 21-17-00208.

1.8 Computer simulation of the propagation of a plane electromagnetic wave in a waveguide formed by the Earth's surface and the ionosphere under the condition of inhomogeneous boundary conductivity

Tverdyi D.A., Malkin E.I., Parovik R.I.

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

As a result of strong earthquakes with magnitudes of the order of 7 or more, the saturation of groundwater with secondary minerals increases, leading to a local increase in the conductivity of the earth. The electrophysical properties of the earth, which is the lower boundary of the waveguide, determine its parameters. Which affect the characteristics of electromagnetic waves propagating in the waveguide. Lightning discharges are natural sources of pulsed electromagnetic radiation (atmospherics). Atmospheric propagates in the Earth-Ionosphere waveguide as a plane electromagnetic wave with a stringy frequency spectrum with an intensity maximum in the range of 4-10 kHz.

Analyzing the parameters of the atmospheric, one can establish the presence of inhomogeneity in the conductivity of the waveguide wall. In order to test this assumption, computer simulations of the propagation of an electromagnetic broadband signal in a waveguide with inhomogeneous boundary conductivity were carried out. In the computer data space, both the source of this signal and its propagation region, which is a waveguide, were modeled. For the system of Maxwell equations, a boundary value problem is posed with conditions in the form of a Perfectly matched layer (PML), which makes it possible to determine the structure of the propagation region as a conducting volume of a waveguide with inhomogeneities on its walls. The mathematical model is solved by the Finite-Difference Time-domain numerical method. To solve the problem and conduct computer simulation, a software package was developed in the MATLAB environment. Having carried out a number of computer simulations, it is shown in the work that there is scattering of an electromagnetic wave on the inhomogeneity of the waveguide.

Thanks to mathematical modeling of the process of interaction of electromagnetic radiation with inhomogeneities in the waveguide, it is

possible to establish a relationship between the radiation characteristics and inhomogeneities.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0

1.9 Correlation between variations of the atmospheric electric field and the concentration of micron dust particles in the surface layer of the atmosphere

Toropov A.A.¹, Nagorskiy P. M²

¹ *Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy*

² *IMCES SB RAS*

Based on observations at Yakutsk and Tiksi points, an array of data of synchronous measurements of the atmospheric electric field, meteorological parameters of the atmosphere and the concentration of micron dust particles of 2.5 μm and 10 μm in size was obtained. The influence of strong electric fields in the atmosphere (pre-thunderstorm, thunderstorm, snowstorms) on the concentration PM2.5, PM10 particles and their fractional composition depending on the polarity and strength of the atmospheric electric field. The research was funded by RSF (project №22-27-00600, <https://rscf.ru/project/22-27-00600/>)

1.10 Dusty plasma in the area of active influence on the ionosphere

Sivokon V.P.

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

Studies of active influence on the ionosphere have been carried out for a long time, using significant capacities and various technologies. However, the expected results, as a rule, are significantly overestimated. Most likely, this discrepancy is caused by unaccounted for natural factors, such as the presence of dust in the plasma. In the report, based on the analysis of electromagnetic radiation from the EISCAT heating facility, an attempt is made to evaluate the effect of dust from the Geminid meteor shower on the scattering and dynamic characteristics of artificial magnetically oriented inhomogeneities of the ionosphere.

1.11 Dynamics of mesospheric ozone during geomagnetic and meteorological disturbances

Timchenko A.V.^{1,2}, Borchevkina O.P.^{1,2}, Bessarab F.S.^{1,2}

¹ *West Department Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation of the Russian Academy of Sciences*

² *Saint-Petersburg State University*

The data of satellite measurements of ozone concentration during a geomagnetic storm, as well as during meteorological storms in Eastern Europe, are analyzed. The following storms are considered at the heights of the mesosphere and lower thermosphere in the middle and high latitudes of the northern hemisphere: a geomagnetic storm in October 2015; meteorological storm — in March 2014 and in October 2018. SABER (Atmospheric Sounding Using Broadband Emission Radiometry) observations on the TIMED (Thermosphere, Ionosphere, Meso-sphere, Energy and Dynamics) satellite were used to determine ozone variations during selected events. In October 2015, there was a strong geomagnetic storm, the value of the Ap index reached 74 nT, and meteorological storms took place against the background of a weakly disturbed geomagnetic condition. The features of ozone concentration variation during geomagnetic storms and meteorological storms are considered, and possible mechanisms of the observed spatial and temporal ozone variations are discussed.

This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement 075-15-2021-583).

1.12 Event GLE66 (29.10.2003): solution of the inverse problem on a new basis

Balabin Yu.V.

Polar Geophysical Institute

In October-November 2003, a series of solar flares occurred, accompanied by coronal mass ejections and ground level enhancements (GLE) events in solar cosmic rays. The worldwide network of neutron monitors has registered the events GLE65, GLE66, and GLE67 (October 28, October 29, and November 2, respectively). Over the past time, these event have been studied more than once; the parameters of the spectrum of solar cosmic rays (SCR) and the anisotropy of the SCR flux have been determined. But the second GLE66 event was often omitted, focusing on the first and third events. The reason is that GLE66 happened at the time of a strong magnetic storm and a deep Forbush decrease in cosmic rays caused by the arrival to the Earth of a mass ejection from the previous flare. Such an extreme state of the magnetosphere rarely occurs; models describe the magnetosphere in such a state just approximately. For our technique for solving the inverse problem, which uses a detailed and accurate calculation of the asymptotic cones of neutron monitors of the global network, the uncertainty of the state of the magnetosphere introduces the main error in the solution. In this work, we used the Tsyganenko (T-03) storm model of the magnetosphere for the first time. The results of the first detailed study of the GLE66 event are presented, SCR spectra are obtained at different times, and their dynamics during the event is shown. A comparison of the obtained spectra with the spectra in the GLE65 and GLE67 events shows a gradual decrease of the spectrum hardness from GLE65 to GLE67. Another result of the work is the conclusion that the storm model of the magnetosphere T-03 satisfactorily describes the extreme state of the magnetosphere, since the obtained SCR spectra for GLE66 constitute a single system with the SCR spectra in GLE65 and GLE67, demonstrating the evolution of the SCR spectra throughout the entire series of events.

1.13 Evolution of Ionospheric Plasma Density Enhancement on 8 February and 4 November 2018

Yuan Wei¹, Xu Jiyao^{1,2}, Wu Kun¹

¹ *State Key Laboratory of Space Weather, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

² *School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

We, in this study, used observations from multiple instruments (all-sky imager [ASI], digisonde, and Beidou geostationary satellite global positioning system receivers) to show the occurrence and evolution of two plasma density enhancement structures (PDESs) during the night of 8 February and 4 November 2018. The PDESs were elongated from northwest to southeast. Their zonal scales were about 200–400 km and longitudinal ranges were about 800–1.400 km. Within the PDES, the plasma density can be enhanced by about two times over the background density. The PDESs appeared before midnight and gradually dissipated after midnight. Plasma density depletion structures appeared within the PDES at the later stage of PDES. Each PDES event lasted for over 4 hours. The morphology and evolution of the PDESs presented in this paper are different from those reported in previous studies.

1.14 GLE73: first solar cosmic ray event in 25th cycle

*Balabin Yu.V.¹, Germanenko A.V.¹, Mauricev E.A.²,
Gvozdevsky B.B.¹, Mikhalko E.A.¹*

¹ *Polar Geophysical Institute*

² *IZMIRAN*

A new, 25th cycle of solar activity began in mid-2019. On September 28, 2021, the first event of a new cycle in solar cosmic rays (GLE) was registered. Despite the small amplitude, it was registered by many stations of the world network of neutron monitors. On the neutron monitors in Apatity and Barentsburg (Shpitsbergen), the increase in the cosmic ray flux was 4%, while the maximum recorded amplitude of the increase was 6% at the Fort Smith station. The event has been given the designation GLE73. GLE73 originated from the A2887 Beta-Gamma type active region with coordinates S26E04, the event began at 16:20 UT according to five-minute data of neutron monitors. The flare had class X1.0, the maximum X-ray emission was reached at 15:35 UT, flare type II/VI. The interplanetary situation during the day when the GLE event occurred was calm, the Kp index was 1, the Dst index was about 0, and the speed and density of the solar wind were moderate. GLE73 caused an increase in the flux of cosmic rays 2–6% at the polar stations of the world network of neutron monitors, while the near-equatorial stations did not note the increase, which indicates that the spectrum of solar cosmic rays was soft. The world network data is enough to solve the inverse problem: determining the parameters of the solar cosmic ray flux. As a result of the performed solution, the energy spectra and the pitch-angle distribution of the solar cosmic ray flux were obtained during the maximum phase of the event with a step of 5 minutes. The spectrum at the growth phase had an exponential shape, then a gradual transition to a power dependence is observed. The value of the characteristic energy for the exponential spectrum was $E_0 = 0.57$ GeV at the maximum of the event, and the power function exponent was $\gamma = 5.5$. The adaptive form of specifying the pitch-angle distribution used in our technique makes it possible to describe a wide class of distribution forms from a simple Gaussian to a bidirectional distribution, and the choice of the appropriate form is made automatically in the process of finding a solution. After the initial phase, the pitch-angle distribution steadily acquires a linear shape with

a pedestal, which represents the isotropic part of the solar cosmic ray flux. The linear pitch-angle distribution is present only at pitch-angles less than 90° . Comparison of this event with the previous ones in the 24th cycle shows that the characteristics of the spectrum and the pitch-angle distribution are typical. A linear pitch-angle distribution has been observed in GLE events since the end of cycle 23.

1.15 Generation of a secondary planetary waves in the middle and upper atmosphere

Didenko K.A.^{1,2}, *Koval A.V.*^{1,2}, *Ermakova T.S.*^{1,2},
*Toptunova O.N.*²

¹ *Saint Petersburg State University*

² *Russian State Hydrometeorological University*

Planetary waves (PW), known as Rossby waves, are large-scale oscillations in the hydrodynamic parameters of the atmosphere (wind, temperature, density) and are formed due to the latitudinal gradient of potential vorticity. PW transfer energy and momentum, causing stratospheric circulation anomalies, while propagating from their sources in the troposphere, and are a link between different atmospheric layers and regions. In order to study the effect of individual planetary waves on the global atmospheric circulation, a number of numerical experiments were carried out using the model of the general circulation of the middle and upper atmosphere (MUAM) for the winter conditions of the Northern Hemisphere (January–February). A reference run of the model was carried out with the inclusion of all sources of the considered PW: waves with periods of about 5, 10, 16 days (zonal number $m = 1$), 4 and 7 days (zonal number $m=2$), eastward propagating ultrafast Kelvin wave with a period of about 3.5 days (zonal number $m = 1$). Moreover, runs were carried out with individual wave sources turned off. The effect of 16-day PW generation by an internal atmospheric source in the southern lower thermosphere, independent of the tropospheric sources of PW specified in the model, was found from experimental results. To explain the observed effect, the variability of the perturbed potential enstrophy (PE) – the potential vorticity squared was investigated. Using this approach, the contribution of various nonlinear processes to the balance of the perturbed potential enstrophy is investigated. It is shown, that the nonlinear interaction of 4-day PW with a wave number 2 and 5-day PW with a wave number 1 leads to the generation of a secondary 16-day PW.

1.16 Influence of solar activity on the optical properties of the atmosphere

Shevtsov B.M.

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

The project of lidar observations in the altitude range of 0–700 km is being considered in order to: study the modification of the optical properties of the thermosphere in the lines of atomic oxygen 555.5, 557.7 and 630 nm and in the line of atomic nitrogen 534 nm under the influence of ultraviolet light and precipitation of charged particles; study the effect of solar activity on ionization and transparency of the middle and lower atmosphere; develop lidar sensing methods with taking into account different types of scattering at different heights of the atmosphere.

The lines of atomic oxygen and nitrogen were selected based on observations of the glow of the night sky during the precipitation of charged particles over Kamchatka in February 2012. The possibility of lidar observations of resonance scattering in atomic oxygen and nitrogen lines is estimated by analyzing the spectral data base, Grotrian diagrams and the results of lidar observations of scattering on atomic oxygen and nitrogen ions performed earlier. The need for these studies is due to the fact that atomic oxygen prevails at altitudes of 200–500 km, the interaction of which with solar radiation is responsible for the optical state of the upper atmosphere. The optical state of the middle and lower layers of the atmosphere must be known in order to perform lidar observations in the thermosphere. The obtained complex results can be used in studies of climatic changes caused by the variability of solar activity, as well as in the development of optical communication systems.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) «Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact», registration number AAAA-A21-121011290003-0.

1.17 Intra-year dynamics of the background stratospheric aerosol over Tomsk according to the data of lidar monitoring

Marichev V.N., Bochkovsky D.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS

The report presents an analysis of the data on the intra-annual variability of the vertical-temporal structure of the background aerosol and its integral content in the stratosphere, obtained at the lidar complex of the high-altitude atmospheric sounding station of the IAO SB RAS for 2022. According to the results of monitoring, as in previous years, a steady trend of accumulation of stratospheric aerosol was established during the cold period of the year with a maximum content in January and a decrease in spring to a virtual absence in June-July. Since September, the aerosol content in the stratosphere begins to increase to its maximum value in winter. In the upper stratosphere (30–50 km), there is no background aerosol throughout the year.

1.18 Introduction on The Ground-Based Airglow Network of China

Xu Jiyao, Yuan Wei

National Space Science Center

Recent observational studies have found that the topographic environment has an important impact on the middle and upper atmosphere and ionosphere. And the fluctuation and variation characteristics of the middle and upper atmosphere and ionosphere change with longitude and latitude.

China, from north to south, spans from the middle latitudes to the low latitude both in geographic latitude and geomagnetic latitude. And China has a variety of topography environment, which including high lands, hill, plains, seas, and long coasts. This is a natural laboratory to study the effects of different latitudes and topography on the middle and upper atmosphere. Airglow observation is one of the important means to study the middle and upper atmosphere. We have established a ground-based airglow network in China gradually since 2010, which consists of 16 stations and more than 40 all sky imagers. The network almost covers China and has double-layer detection capability, which focuses on two airglow layers: the red line of atomic oxygen (~ 250 km) and OH (~ 87 km) airglow layers. In some stations, we also make observations of green line and 777.4 nm of atomic oxygen and sodium layer airglow at 589 nm.

This report will introduce the airglow network and related research progresses, which include thunderstorm and typhoon effects, influence of Tibet Plateau on gravity waves, characteristic of equatorial plasma bubble (EPB) and medium-scale traveling ionospheric disturbance (MSTIDs), and so on.

1.19 Introduction to the Progress of the Chinese Meridian Project

Xu Jiyao, Wang Chi

National Space Science Center

The Chinese Meridian Project (CMP) is a ground-based space environment monitoring facility covering China's territory and polar region. Its full name is Space Environment Ground Based Comprehensive Monitoring Network. CMP consists of 31 ground-based observatories located roughly along 100°E, 120°E longitudes and 30°N, 40°N latitudes respectively, forming a two-cross network configuration. CMP will build a detection architecture of "One chain" (from sun to geospace), "Three networks" (middle and upper atmosphere, ionosphere, and magnetosphere), and "Four-focus" (polar regions, north area of China, south of China, and Tibetan plateau). It will have abilities to monitor the solar atmosphere, interplanetary space, magnetosphere, ionosphere and the middle and upper atmosphere. The CMP is constructed in two phases. The CMP phase I was completed from 2008 to 2012 and has been in operation since 2012. The CMP phase I consists of 15 ground-based observatories roughly following the 120°E longitude chain and 30°N latitude chain and China's Zhongshan Station in Antarctica. 87 sets of geomagnetic, radio, and optical space environment monitoring equipment have been deployed. Since 2019, the construction of the second phase has been conducted, which is expected to be completed in 2023. At that time, the CMP will be completed and put into operation as a whole. Since 2012, the CMP phase I has been running for more than ten years, and a large amount of space environment data has been obtained. This report will give a brief introduction on the progresses in some important scientific issues by CMP phase I, and the construction progress of CMP phase II.

1.20 Lidar studies of the thermal regime of the middle atmosphere over Tomsk in 2022

Marichev V.N., Bochkovsky D.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS

The paper presents the results of lidar studies of the behavior of the thermal regime of the middle atmosphere over Tomsk in the period for 2022. Note that such studies in the monitoring mode at the Institute of Atmospheric Optics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences began in 1994 and are currently ongoing. Particular attention is paid to studying the manifestation of sudden disturbances in the stratosphere caused by winter stratospheric warming (SP). Based on the experience of many years of studying the thermal regime of the middle atmosphere, we have found that the warming SPs for middle latitudes (Tomsk, 56.5 N) appear every winter. They arise unexpectedly and differ significantly in the amplitude of the positive temperature spike in the upper stratosphere (minor and major warmings), the duration of the course (from a week to two months), and the height of the stratopause subsidence. The presented monitoring results were carried out during periods of disturbed (SP winters 2021/22 and 2022/23), calm (summer) and transitional (spring, autumn) states of the middle atmosphere.

1.21 Meteor aerosol observations in the stratosphere over Tomsk in August 2013

*Cheremisin A.A.¹, Novikov P.V.^{1,2}, Romanchenko I.I.¹,
Marichev V.N.³, Bochkovsky D.A.³*

¹ *V.V. Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB
RAS, Novosibirsk*

² *Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk*

³ *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk*

In August 2013, an aerosol layer was registered in the stratosphere above Tomsk, its maximum was at the altitude of 28.5 km. At the same time, the backscattering coefficient had a high value equal to 24. Due to the high intensity of the Perseid meteor shower in August, the initial interpretation of the observations was that the registered stratospheric aerosol layer is a consequence of this stream meteor particle combustion in the upper atmosphere and further sedimentation of the resulting aerosol to the stratospheric altitudes.

Earlier, with the help of observations by the Russian stratospheric lidar stations network and trajectory analysis of the movement of air masses in the stratosphere, we analyzed the transport of the aerosol layers that formed during the fall of the Chelyabinsk meteorite. A characteristic feature of the aerosol layers observed with lidar at altitudes of about 30 km (Obninsk, Moscow, Yakutsk) was that they were very narrow. This property corresponded to the trajectory analysis data.

In August 2013, the layer at an altitude of 28.5 km was also narrow. Therefore, we assumed that in this case this layer was formed as a result of the combustion of a fairly large meteor body. While the main stream of Perseids consists of relatively small meteor bodies. The trajectory analysis method was used to analyze the place of the assumed fall of the meteor body. The method of backward isentropic trajectories of the air mass transport started from Tomsk on the days of aerosol observation was applied. To calculate trajectories up to a height of 25 km, the HYSPLIT software package with GDAS data was used, and above 25 km, the TrCalc package created by us with UKMO and ERA5 wind velocity data in the Northern Hemisphere was used.

Additionally, the observation data OMPS/LP limb sensor on the Suomi NPP satellite and the CALIOP lidar on the CALIPSO satellite were used. According to OMPS/LP data, a place of increased aerosol

extinction was found on the trajectory of the air masses movement. We assume that a meteor body fell at this place. At the same point, according to CALIPSO, the stratospheric aerosol was observed at altitudes near 30 km. This place of meteor body falling and the aerosol formation was located in Eastern Siberia, far away from the observation point in Tomsk.

The report also presents a comparison the result of meteoric aerosol observation in this case with the results of observations of the aerosol belt formed as a result of the Chelyabinsk meteorite fall.

1.22 Near-surface atmospheric electric field changes through magnetic clouds via coronal mass ejections

Li Lei^{1,2}

¹ *National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

² *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

The Earth's electrical environment is influenced by both external and internal driving factors. Internal driving factors include the global charging current produced by lightning storms, global aerosol concentrations and cloud coverage. External factors are caused by various space weather phenomena, including changes in the Sun's magnetic field, solar flares, coronal mass ejections, and ionization changes from high-energy particles from the Sun and galactic cosmic rays. This study focuses on the cosmic ray intensity changes observed at the OULU Station and the atmospheric electric field changes observed at the Azores and Studenec stations during a famous solar activity event in September 2017. The results indicate that the atmospheric electric field at the two stations (Azores and Studenec) simultaneously decreased by 80% and 120% of the mean atmospheric electric field value, respectively, during the same time as the significant decrease in cosmic ray intensity. The linear correlation coefficient between the decreased atmospheric electric field measured at these two stations was 0.60, indicating a global effect from the coronal mass ejections on atmospheric electricity. Finally, this study describes coronal mass ejections from magnetic clouds that impede the propagation of galactic cosmic rays, resulting in a decrease in ionospheric potential and atmospheric electric field.

1.23 New spectroscopic data on water and carbon dioxide molecules absorption lines

*Petrova T.M.¹, Deichuli V.M.¹, Solodov A.M.¹, Solodov A.A.¹,
Laurentieva N.N.¹, Kitaeva A.V.²*

¹ *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS*
² *Tomsk State University*

Modern problems of atmospheric physics require an increase in the accuracy of measurement and calculation of the absorption of solar radiation passing through the Earth's atmosphere and bringing it to several percent. The main components that absorb radiation in the atmosphere are water, carbon dioxide and methane molecules. Water vapor plays a leading role in various physical and chemical processes in the atmosphere; water vapor is responsible for approximately 70 percent of radiation absorption. Carbon dioxide and methane are strong absorbers of infrared radiation trapping heat and causing a powerful greenhouse effect. An increase in their concentration in the atmosphere can have serious consequences for the Earth's climate.

Spectroscopic methods are the effective methods for monitoring the gases concentration the Earth's atmosphere. In this regard, the requirements for the initial spectroscopic information on the absorption lines of these gases are increasing. Using a high-resolution Fourier spectrometer IFS-125HR (Tomsk) the absorption spectra of the gases under consideration were measured in a wide spectral range with variations of the atmospheric pressure. Using modern processing methods, new values of the absorption lines parameters were obtained which include the values of the line center positions, its intensity, broadening and shift coefficients by atmospheric pressure.

The results of the measurements are compared with calculations using the semiempirical method where intramolecular effects are taken into account on the basis of the exact wave functions and energy levels obtained from variational calculations.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant 22-22-00800).

1.24 Numerical simulation of sudden stratospheric warming events at different phases of the solar activity cycle

Koval A.V.¹, Gavrilov N.M.¹, Ermakova T.S.², Didenko K.A.²

¹ *Saint-Petersburg State University*

² *Russian State Hydrometeorological University*

Global-scale atmospheric disturbances, such as planetary waves (PWs), play a significant role in the formation of the general circulation of the atmosphere, affecting its dynamic and thermal regime. In particular, an increase in PW in winter in the northern hemisphere can lead to onset of the sudden stratospheric warming (SSW) event. Changes in solar radiation caused by cyclic changes in solar activity (SA), in turn, affect the thermodynamic state of the atmosphere and change the conditions for PW propagation at different layers of the atmosphere. In order to study the features of the occurrence of SSW depending on the change in solar forcing, numerical modeling of the general atmospheric circulation for winter conditions in the northern hemisphere was carried out and cases of SSW occurrence in January-February were considered. A non-linear numerical mechanistic model of the general circulation of the middle and upper atmosphere (MUAM) is used, which makes it possible to reproduce the atmospheric circulation and PW structures at altitudes of 0 - 300 km. The results obtained demonstrate the features of the occurrence of SSW at different levels of SA. The main mechanism of these changes is a change in the conditions of propagation and reflection of PW generated in the lower layers of the atmosphere, and as a result, a change in the interaction of PW with the mean flow, indirectly expressed through the calculated Eliassen-Palm fluxes, as well as changes in the Brewer-Dobson circulation.

1.25 On the possibility to control emissions of CO₂ in seismic active regions using the OCO-2 satellite data

Tashkun S.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, SB RAS

It is believed that there is a relationship between seismic activity and the emissions of CO₂ and radon. Ground based measurements of CO₂ in seismic active regions are hampered by many methodological and technical factors. On the other hand, there are dry-air column average CO₂ daily means over the globe measured by the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) starting from 2015. OCO-2 is NASA's first dedicated Earth remote sensing satellite to study atmospheric carbon dioxide from space. It was launched in 2014. OCO-2 is an exploratory science mission designed to collect space-based global measurements of atmospheric CO₂ with the precision, resolution, and coverage needed to characterize sources and sinks (fluxes) on regional scales (≥ 1000 km). Using the available OCO-2 data for the period 2015–2022, we analyzed CO₂ daily means for the areas of the strongest earthquakes. The results will be presented and discussed.

1.26 Radio pulses of multicomponent lightning in Yakutia

Kozlov V.I., Tarabukina L.D.

The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

The importance of the study of repeated discharges is determined by the fact that they, with very short inter-discharge intervals and the same termination point on the ground, often cause damage when directly hitting equipment or power lines compared to other types of repeated strikes. Using the WWLLN data, we have considered repeated discharges in the territory of Yakutia, limited by 56 - 90 degrees north latitude and 105 - 160 degrees east longitude. Repeated discharges taken with time interval restrictions up to 200 ms and distances between the points of repeated discharges up to 30 km are analyzed. Note that in our video recordings there were cases with the duration of the lightning glow (its repeated components) in the interval up to 300 ms. It is noted in (Ballarotti, M.G. Frequency distributions of some parameters of negative downward lightning flashes based on accurate-stroke-count studies / M.G. Ballarotti, C. Medeiros, M.M. Saba, W. Schulz, O. Pinto Jr. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. –2012. – V. 117, № D6. – P. D06112) that there are intervals between repeated discharges of up to 700 ms. The number of repeated discharges varies, for example, for 2022 from two (41575 cases of observation) to 10 (two cases of observation). The number of repeated discharges N depending on the number of repeated discharges k can be described as a power function. The occurrence of the interval between the components was distributed in 2022: up to 5 ms - 153616 times, up to 10 ms there was a decrease in the occurrence up to 557 times, and the next maximum occurrence is observed at 35 ms (3156 cases). An interval of about 200 ms occurs 566 times. Range on the ground between repeated discharges up to 0.5 km is much more common (65260 times) than up to 1 km (775 times). For large distances between repeated discharges, a gradual decrease in the occurrence to 4 at 27 km is observed. In (Rakov, V.A. Origin of lightning electric field signatures showing two return-stroke waveforms separated in time by a millisecond or less / V.A. Rakov, M.A. Uman // J. Geoph. Res. Atmospheres. – 1994. – V. 99, № D4. – P. 8157-8165), the presence of discharges with very short time intervals between them, from several tens to several hundreds of microseconds, is indicated. We

also observe similar intervals. With a given resolution of 0.1 ms, we observe, in the shortest intervals, a decrease in the occurrence of cases from 14133 for 0.1 ms to 2 at 0.7 ms and then a maximum at 68 at 1.4 ms, followed by a decrease to 6 at 5 ms. The processes occurring during the first millisecond after the kickback require further study.

1.27 Reconstruction of regional distributions of electron density in the ionosphere from heterogeneous remote sensing data

Pavlov I.A., Padokhin A.M.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics

In this paper, a new iterative algorithm has been developed for solving the problem of reconstructing regional, two-dimensional, altitude-latitudinal distributions of electron density in the ionosphere based on heterogeneous data from low-orbit satellite radio translucence at a pair of coherent frequencies VHF/UHF and UV spectrometry of the upper atmosphere's own glow at a wavelength of 135.6 nm. This makes it possible to use complementary probing geometries. Each iteration of the algorithm is split into two, in which problems concerning the electron concentration and its square are sequentially solved with diffusion smoothing between steps. In addition, the algorithm implements the possibility of taking into account the absorption of the intrinsic UV radiation of the thermosphere by molecular oxygen, which makes it possible to include low perigee rays, the absorption of which plays a significant role, into consideration. The developed algorithm was tested on synthetic observational data obtained on the basis of the NRLMSISE00 and NeQuick2 models for real operation modes of the CERTO and SSUSI/SSULI equipment. It is shown that the proposed algorithm provides better spatial resolution compared to the traditional RT approach, and also removes the problem of correctly specifying the initial approximation, which is typical for ionospheric RT problems, due to the presence of quasi-horizontal rays in the sounding geometry.

1.28 Relation between sprites and whistlers based on AWDANET and WWLLN data

*Malkin E.I.¹, Kazakov E.A.¹, Cherneva N.V.¹, Sannikov D.V.¹,
Druzhin G.I.¹, Lichtenberger J.²*

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

² *Eotvos University, Budapest, Hungary*

In order to confirm the cause-effect relations between whistlers recorded at a definite point on the Earth's surface and lightning strokes, initiating them at a magnetically conjugated region, data from the observation sites of Automatic Whistler Detector and Analyzer Network (AWDANET) and the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) (Karymshina and Dunedin sites) were analyzed. A map of lightning stroke density distribution with maximums at 11 regions was made. Distribution of the number of coincidences from delay time between the times of whistler recording and a lightning stroke for all the regions was obtained and unambiguity of the cause-effect relation was detected. It was discovered that not all lightnings at a magnetically conjugated region produce whistlers but only stroke pairs with time interval of less than 100 ms and the distance of 40 between them. Analysis with a marker (distance and delay time between strokes) in WWLLN data showed that these pairs are a positive cloud-ground stroke and a sprite and just the second stroke initiates a whistler. The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0.

1.29 Results of the experiment on joint lidar and balloon-balloon sounding of the troposphere and stratosphere

Marichev V.N.¹, Yushkov V.A.², Balugin N.V.², Bochkovsky D.A.¹

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

² *Central Aerological Observatory*

The urgent problem of climate change requires the study of changes in the composition and properties of the atmosphere that affect its radiation balance. Obtaining knowledge in this direction is possible on the basis of regular measurements of the climate-forming components and characteristics of the atmosphere and their subsequent analysis. There are contact and remote methods and means of sensing the atmosphere at its different altitude levels, including aerological, aircraft, satellite, lidar and rocket. At the same time, the development of research requires the development and creation of new effective methods and technical means for organizing and conducting measurement data. In this paper, we propose a technology for monitoring the aerosol component and the thermal regime of the stratosphere based on remote (lidar) and contact (aerological) optical sounding.

The task of the work was to create a measuring complex for lidar and aerological monitoring of the stratosphere and its application in experimental studies. The results of simultaneous remote (lidar) and direct (probe) measurements of the vertical distribution of temperature and aerosol filling of the troposphere and stratosphere, carried out on March 15–16, 2023 in Tomsk, are presented. The purpose of the experiment was to continue the development of joint lidar-balloon measurements (the first experiment was carried out on January 27–30, 2022) and the validation of aerosol backscatter profiles in the upper troposphere and stratosphere to create an all-weather system for lidar-balloon monitoring of the spatio-temporal and microphysical characteristics of the aerosol. Lidar measurements were carried out in the altitude range from 7 to 50 km, with a probe, from 0 to 30 km. Vertical profiles of the scattering ratio were obtained at wavelengths of 355 and 532 nm (lidar) and 470, 850, 940 nm (probe). Good agreement was demonstrated in the obtained vertical profiles for the backscatter ratio $R(H)$ for close wavelengths (528 and 532 nm for the aerosol backscatter probe and lidar, respectively). To restore the microphysical parameters of the aerosol during joint lidar-balloon experiments, the

possibility of expanding 2-wave (353 and 532 nm) lidar measurements with an additional set of wavelengths (470, 850, 940 nm) using an optical balloon aerosol probe was shown.

The lidar and probe measurements of the vertical temperature distribution were also carried out synchronously. Lidar — by optical signals of Raman and Rayleigh backscattering of light, probe — directly by a contact sensor.

According to the results of the experiment, close values of vertical temperature profiles were obtained.

1.30 Single station absolute TEC estimation based solely on dual frequency GNSS phase observables

*Ivanov A.K., Medvedev A.I., Varzar L.S, Pavlov I.A.,
Kurbatov G.A., Padokhin A.M.*

Lomonosov Moscow state university

This paper presents an original algorithm for estimating vertical absolute TEC that uses only single station dual-frequency GNSS phase observations and does not require estimation of differential code biases both of satellites and receivers hardware. This makes it easy to use data from different navigation systems simultaneously within the algorithm. The algorithm is based on the representation of the TEC field as a two-dimensional Taylor series expansion, a simple single-layer mapping function, and a difference approach to eliminate initial phase ambiguity. The algorithm was tested on synthetic observational data obtained using real GNSS satellite orbits and the NeQuick2 ionospheric model, and showed average reconstruction errors of the order of 1TECu.

1.31 Space project “Modulation”, a new approach to studying the fluxes of galactic cosmic rays in the field of solar modulation energies

Kalegaev V.V., Karmanov D.E., Kovalev I.M., Kurganov A.A., Panov A.D., Podzolko M.V., Podorozhny D.M., Turundaevsky A.N.

SINP MSU

Discussion of the “Modulation” project at the Russian space station ROSS. The purpose of the space mission is to study the solar modulation of galactic cosmic rays (GCR) in the heliosphere. A new approach is presented for obtaining data on accurate long-term measurements of GCR particle fluxes, as well as solar cosmic rays (SCR), with energies from ≈ 30 to 1500 MeV/nucleon in a wide charge range $Z=1-26$. The project involves the creation of a databank of GCR and SCR for the entire cycle of solar activity. Such a bank is necessary for improving numerical models of energetic heliospheric particle fluxes.

1.32 Study of factors influencing polar ozone using CCM SOCOL-3: solution of the problem with difference from satellite data

Mironov A.D.¹, Zubov B.A.², Rozanov E.V.^{3,1}

¹ *Saint Petersburg State University (SPbU), St.Petersburg, Russia*

² *Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia*

³ *Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC), Davos, Switzerland*

Comparison of the results of numerical modeling of atmospheric ozone using the SOCOL-3 chemistry-climate model (CCM) with the corresponding measurements from the IASI (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer) satellite instrument shows significant differences in total ozone for the polar regions of the southern hemisphere. This problem is common for chemistry-climate modeling of the Earth's ozone layer.

To resolve this problem and to assess the role of the main physical and photochemical processes affecting the annual cycle of polar ozone in the southern hemisphere, we carried out a number of numerical experiments, changing the following model parameters: 1) the rate of ozone photodissociation at large zenith angles of the Sun; 2) the rates of stratospheric heterogeneous reactions under polar night conditions; and 3) the intensity of meridional mixing on the subgrid scales of the model in the region of the circumpolar vortex.

Comparison of the results of these experiments with the corresponding IASI measurement data showed that the most important characteristics for improving ozone modeling are the rate of ozone photolysis at large zenith angles and the intensity of horizontal mixing at subgrid scales. A reasonable adjustment of these factors has made it possible to significantly improve the model representation of the annual ozone cycle over the polar region in the southern hemisphere.

The work was carried out at the St. Petersburg State University "Ozone Layer and Upper Atmosphere Research laboratory" with the support of the Government of the Russian Federation (grant no. 075-15-2021-583).

1.33 Systematization of Spectral Data Sources Containing the Parameters of Spectral Lines of the Carbon Dioxide Molecule and Its Isotopologues in the W@DIS

Fazliev A.Z., Lavrentiev N.A., Lavrentieva N.N., Privezentsev N.A.

V.E.Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS

To study the influence of solar activity on the dynamics of the atmosphere, it is important to know the parameters used as input data in problems of atmospheric radiation transfer. Of paramount importance are the centers, intensities, half-widths, and shifts of spectral lines necessary for calculating the absorption of solar radiation in the atmosphere. The most well-known databases of expert spectral data related to molecular spectroscopy emerged about 40 years ago and were intended to be used as input data in problems of atmospheric radiation transfer.

At present, it is necessary to expand the intension of the Hitran database in order to use it to solve problems of the influence of solar activity on the dynamics of the Earth's atmosphere. Such an expansion is connected, first of all, with the structure of the parameters of the spectral lines related to different approximations of the contours of the spectral lines with a significant variety of thermodynamic conditions realized in the atmosphere. In 2006-2010 The Information System (IS) W@DIS was created, which was originally used to systematize the sources of spectral data on the states and transitions of isolated water and hydrogen sulfide molecules. In 2007, W@DIS IS began work on importing the parameters of spectral lines characterizing the Lorentz contour. The collection of data sources includes contour characteristics for all broadening agents found in the literature. The paper gives a brief classification of the contours of spectral lines and their parameters, and presents the results of the systematization of spectral

This work gives a brief classification of the contours of spectral lines and their parameters, and presents the results of the systematization of spectral data related to different contours of the spectral lines used in the processing of the spectra of the carbon dioxide molecule. In the digital library of articles we have collected, there are data related to 11 contours of the spectral lines associated with the CO₂ molecule. All the contours found in our library are described, a system for importing the parameters of spectral data obtained when solving the direct and

inverse problems is built. The main properties of the data generated in the W@DIS system are related to the description of the results of the analysis of the quality of the imported data.

1.34 Thunderstorm activity in the Arctic region according to observations in Tiksi

Toropov A.A.

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy

An analysis of thunderstorm activity near Tiksi for 2013-2023 was carried out. Nearby thunderstorms were recorded by characteristic variations of the atmospheric electric field using a electric field-mill Boltek EFM-100. An electric field-mill registers individual lightning discharges at a distance of 15–20 km and determines the electrical structure of a thundercloud. Data with a resolution of one second were used for the analysis. It is shown that the number of thunderstorms near Tiksi increases every year.

1.35 Variations in the parameters of the middle atmosphere during geomagnetic disturbances

*Mironova I.A.*¹, *Bazilevskaya G.A.*², *Grankin D.V.*¹, *Mironov A.D.*¹,
Rozanov E.V.^{1,3}

¹ *Saint Petersburg State University (SPbU), St.Petersburg, Russia*

² *P. N. Lebedev Physical Institute RAS (FIAN), Moscow, Russia*

³ *Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World
Radiation Center (PMOD/WRC), Davos, Switzerland*

In this work, we compare the spectra of precipitating energetic electrons with energies from keV up to relativistic energies about 1 MeV, based on balloon observations in the high-latitude atmosphere and precipitation of energetic electrons recorded by the NOAA POES satellites in 2003. Here, we estimate the spectra and ionization rates of the atmosphere during energetic electron precipitation, according to various observations, in different periods of geomagnetic disturbances. Using a one-dimensional radiative-convective model with ion chemistry, we show the response to precipitation of energetic electrons in a polar atmosphere.

The work was carried out at the “Laboratory for the Study of the Ozone Layer and Upper Atmosphere” with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract No. 075-15-2021-583.

2 Geophysical fields and their interaction

2.1 Methods of improving the energy efficiency of communication systems taking into account dynamic characteristics in an ice environment.

Korochentsev V.I.¹, Xue Wei², Statsenko L.G.¹, Bengard A.V.¹

¹ *Far Eastern Federal University, Russia*

² *Harbin Engineering University, China*

Methods of increasing the energy efficiency of communication systems by synthesized antennas located on moving platforms under the condition of extremely low temperatures are proposed. The energy efficiency is estimated by the directional coefficient of the antenna. The directional coefficient of the antenna is determined by the boundary conditions and the excitation function of the antenna array. Optimal excitation of the antenna array, taking into account the elastic characteristics of the ice, allows you to increase the active energy, which increases the range of the system.

2.2 About observed quasi-periodicity of geomagnetic jerks according to the data of the Moscow Observatory

Riabova S.A.^{1,2}, Shalimov S.L.¹

¹ *IPE RAS*

² *IDG RAS*

Using the geomagnetic data from 2000 to 2020 at Moscow Observatory, located 18 km from the city of Moscow, in the village of Krasnaya Pakhra, we analyze the variations of the first derivatives of the geomagnetic field components. Using segmented regression analysis, it was found that jerks follow with a quasi-period of 3–4 years. The mechanism is proposed for the occurrence of rapid changes in the geomagnetic field due to unstable processes in the Earth’s core.

The studies were carried out within the framework of the state task of the IDG RAS No. 1220329000185-5 “Manifestation of processes of natural and technogenic origin in geophysical fields” and the IPE RAS.

2.3 About some small effects in magnetic field at observatories Paratunka (Kamchatka, Russia) and Choutuppall (India)

Gvozdev A.Y.¹, Khomutov S.Y.¹, Arora K.², Chandrashekhar P.²

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

² *CSIR-NGRI, India*

For many years, small variations have been observed in the magnetic data obtained at the Paratunka Observatory (PET, IKIR FEB RAS, Kamchatka, Russia) and at the Observatory Choutuppall (CPL, CSIR-NGRI, India). These variations are within the limits defined by the INTERMAGNET standards, but they are quite obvious and require explanation. Such variations at PET include, for example, seasonal fluctuations in the gradient of the total field F inside the absolute pavilion with amplitude up to 0.5 nT and its long-term trend up to 0.1 nT per year, measured by the POS-1 Overhauser magnetometer. Other example is daily fluctuations of F obtained by dIdD GSM-19FD magnetometer with amplitude up to 0.8 nT. At the CPL, diurnal variations of the differences of the F_{var} calculated from the total field components H, D, Z of the variometers, and F_{scal} directly measured by a scalar magnetometer, $dF = F_{var} - F_{scal}$, are noted. These diurnal variations of dF with amplitude up to 1 nT do not correlate with the temperature of magnetic sensors and electronics. Temperature fluctuations inside and outside the pavilions can be considered as the main cause, and the influence of magnetic susceptibility and its temperature changes can be considered as the mechanism of influence.

A set of magnetic micro-surveys were made inside and outside the pavilions at PET in different seasons and the distribution of the magnetic field and its dynamics were studied. The magnetic susceptibility of near-surface rocks in the area of the pavilions was studied under various temperatures (from room temperature to deep freezing), the expected effects in the magnetic field were calculated on models. At the CPL, possible induction effects occurring in the underlying rocks are considered as the cause. Estimation of the possibility to use obtained results in the real practice of the magnetic observatories are made.

The work of A.Y. Gvozdev and S.Y. Khomutov was carried out within the framework of realization of the State Task No.

AAAA-A21-121011290003-0, the work of Kusumita Arora and Phani Chandrasekhar are supported by CSIR National Geophysical Research Institute, Ref.No : NGRI/Lib/2023/ Pre-116.

2.4 Acoustic emission during granite specimen deformation in the experiments on three-point bending

*Larionov I.A.¹, Mishchenko M.A.¹, Marapulets Yu.V.¹,
Bogomolov L.M.², Vaskin V.A.¹*

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

² *Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Russia*

Acoustic emission during granite three-point bending was investigated with the help of piezoceramic accelerometers. Deformation impact was provided by a constructed press with a bending control system. The investigation showed that the developed system allows one to obtain controllable bending and acoustic pulse generation during the time of load increase on a specimen under study. The dependence of acoustic pulse number on bending magnitude in time was obtained. As the result of the work, the possibility of investigation of acoustic emission of different materials during compression load change was shown.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0.

2.5 Advanced Instruments for Geo and Helio Environment Monitoring on the Cubesat Format Spacecraft

*Bogomolov V.V.^{1,2}, Svertilov S.I.^{1,2}, Osedlo V.I.¹, Bengin V.V.¹,
Zolotarev I.A.¹, Iyudin A.F.¹, Klimov P.A.¹, Nechaev O.Yu.¹,
Yashin I.V.¹, Antonyuk G.I.¹, Kucherenko I.A.^{1,2}*

¹ *Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics*

² *Lomonosov Moscow State University, Physics Department*

Within the framework of the Moscow University project “Constellation-270”, scientific instruments for the cubesat format satellites were developed, including the universal detectors of cosmic radiation DeCoR, DeCoR-2, the KODIZ instrument, which is a combined detector of spaces radiation, spectrometers-photometers AURA and AURA-2, a spectrometer of charged particles SUP.

The DeCoR and DeCoR-2 instruments are designed to study fast variations in electron fluxes, as well as gamma-ray bursts of various nature. The DeCoR instrument is a scintillation spectrometer of gamma rays and electrons, its energy range is 0.05–2.0 MeV, effective area is about 18 cm². It successfully operated on satellites of the cubesat format SiriusSat-1,2, AmurSat, VDNKh-80, Norbi, DEKART, etc. The DeCoR-2 instrument is a modified version of the DeCoR instrument. In comparison with it, it is characterized by an increased sensitive area up to ≈ 60 cm² and a wider energy range of 0.03–3.0 MeV. Just like the DeCoR, it basically contains a phoswich detector CsI(Tl)/plastic scintillator. Unlike the DeCoR instrument, both vacuum and semiconductor (silicon) photomultipliers can be used to read signals from a scintillation detector. The instrument has a wide range of options for setting the details of the measurements, depending on the daily data volume available for transmission to Earth.

The DeCoR-2 instrument in the version with vacuum photomultipliers are installed on the Skoltech-b1 and Skoltech-b2 satellites of the cubesat 3U format, which were launched into orbit on August 9, 2022. The DeCoR-2 instruments in the version with silicon photodetectors are installed on four satellites developed by Sputniks and Sirius. The launch of this equipment on 3U cubesat satellites is scheduled for 2023. Further modifications of the DeCoR instrument are also being developed, including its addition with a spectrometric

unit based on a larger scintillation crystal. A similar instrument is also planned for launch in 2023 on a spacecraft developed by NILAKT DOSAAF.

The KODIZ instrument is designed to test equipment designed to detect radiation-dangerous fluxes of solar cosmic rays. The instrument includes a Cherenkov detector for detecting relativistic protons capable of penetrating the Earth's atmosphere, as well as semiconductor detectors for measuring the radiation dose and a neutron detector. Similar instrument was launched on August 9, 2022 as part of the Monitor-1 spacecraft of Moscow University. At present, the first scientific data have been obtained from the KODIZ instrument, and their processing and analysis are underway.

2.6 Analysis of cosmic ray variations during periods of strong magnetic storms in 2022-2023 (according to neutron monitors data)

Mandrikova O.V., Mandrikova B.S.

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

Anomalous phenomena and processes on the Sun are reflected in the recorded variations in the intensity of cosmic rays. Therefore, cosmic ray data is an important factor in space weather. In the works of scientists from different scientific groups, anomalous changes in the cosmic ray flux preceding the onset of magnetic storms were noted.

The paper presents the results of an analysis of cosmic ray variations during periods of strong magnetic storms in 2022–2023. The analysis was carried out on the basis of a hybrid approach developed by the authors, including the use of nonlinear approximating wavelet schemes and the singular spectrum analysis method. The efficiency of the approach for detecting anomalies of different intensity in cosmic ray variations is shown. The components of cosmic ray variations that have a strong correlation with the Dst index are identified. The result confirms the importance of taking into account the dynamics of cosmic rays in the methods of forecasting strong magnetic storms.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

2.7 Analysis of ionospheric parameters based on threshold wavelet filtering (from foF2 data of Paratunka (Russia) and Wakkanai (Japan) stations)

Mandrikova O.V., Polozov Y.A.

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

The paper analyzes the critical frequency of the F2 ionospheric layer during periods of magnetic storms 2018-2022. Structure of ionosphere changes dynamically, includes local inhomogeneities of different size. Changes in the regular course of ionospheric parameters affect various aspects of life, the functioning of spacecraft and stable operation of radio communications. The foF2 analysis was performed using the adaptive threshold wavelet filtering method developed by the authors. The results showed the presence of anomalies of different intensity and duration in foF2 variations during periods of magnetic storms. Comparison of the results of different stations showed a significant dependence of ionospheric dynamics on local factors. The effects of anomalous increase and anomalous decrease on the eve of magnetic storms of different intensity were noted.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021-2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0. The work was carried out by the means of the Common Use Center “North-Eastern Heliogeophysical Center” CKP 558279, USU 351757.

2.8 Atypical Quasi-Periodic VLF Emissions Associated with Large-Scale Atmospheric Processes

Savina O.N.¹, Bespalov P.A.², Zharavina P.D.¹

¹ *Higher School of Economics*

² *Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences*

The paper considers new information about quasi-periodic VLF emissions in the plasmasphere contained in the observational data carried out onboard the Van Allen Probe spacecrafts. Quasi-periodic sequences of electromagnetic radiation bursts were noted at frequencies below and about 2 kHz with a period of deep intensity modulation of about 90-240 s. Morphologically, individual bursts of radiation are similar to a fragment of QP 2 emissions. The sequences of bursts under consideration can have different temporal structures. First, they can be clearly periodic. Secondly, bursts of different intensity can periodically alternate in them. Thirdly, the sequence of bursts can be random. The excitation of radiations considered noise by their nature probably occurs during the development of cyclotron instability. Many properties of radiation are explained by the theory of a plasma magnetospheric maser, which admits the existence of a self-oscillating process of radiation generation due to modulation of the anisotropy of the distribution function of energetic electrons. The theory explains the new results of observations of quasi-periodic emissions with a more complex temporal structure in the presence of a periodic external influence on the dynamics of a plasma magnetospheric maser. In the considered cases, the absence of signs of geomagnetic pulsations with periods comparable to the periods of repetition of spectral forms in the spectrograms of VLF emissions was verified using the spacecraft magnetometer data. Model calculations have shown that large-scale atmospheric disturbances at the base of the magnetic field tube can provide the formation of the considered quasi-periodic VLF emissions.

The work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 22-22-00397.

2.9 Auroral disturbances during two magnetic storms in 2023

Despirak I.V.¹, Kleimenova N.G.², Lubchich A.A.¹

¹ *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia*

In this paper, we considered two interesting disturbed periods when strong magnetic storms were observed, at the end of March and April 2023. Both events were associated with coronal mass ejections (CMEs). During each event, a long period of the negative B_z component of the interplanetary magnetic field (IMF) was recorded, which was observed in the Sheath or MC (magnetic cloud) region, respectively. As a result, two strong magnetic storms developed: on March 23-24 (Dst \sim -170 ... -160 nT) and on April 23-24, 2023, when a level 4 superstorm (Kp=8) was registered. In our study, the development of substorms during different storms was compared. The auroras were analyzed according to the data of the all-sky cameras in Lovozero and Verkhnetulomsky; magnetic disturbances were analyzed according to the data of the Scandinavian chain of IMAGE magnetometers. The solar wind and IMF parameters are taken from the OMNI database. The features of the behavior of auroras and magnetic disturbances observed against the background of the development of these strong magnetic storms are discussed.

2.10 Chaotic regimes in hereditary two-mode dynamo models

Kazakov E.A.

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

Report dedicated to the results of computational experiments with a hereditary dynamical system, which is a packing model for a hydromagnetic dynamo. The detected regimes used when working with control parameters are numerically investigated. By calculating the selected Lyapunov exponents in the field of annual observation and chaotic dynamics. Cases were considered when hereditary feedback occurred or with a delay. The results of measurements that make up a number of observed regimes characteristic of the observed space dynamic systems.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0.

2.11 Conditions for generating a chaotic regime in a low-mode $\alpha\Omega$ -dynamo model with hereditary α -quenching by field energy

Sheremetyeva O. V.

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

To describe dynamo systems of the Earth type, the important properties of which are the strong differential rotation of the object and turbulence in the nature of the motion of the conductive medium, the mechanism $\alpha\Omega$ is classically used. Such objects are also characterized by the presence of chaotic reversals without significant restructuring of the conducting medium.

Simple low-dimension dynamical systems, including a limited set of parameters that carry information about the velocity field, the magnetic field and the relationships between them, help to achieve an understanding of the physical causes of the phenomenon of polarity reversal.

Within the framework of the $\alpha\Omega$ -dynamo model, the generation of the magnetic field and the velocity field is determined by the action of Ω - and α -generators, the intensities of which are regulated by the Lorentz force. The change in the intensity of the α -effect under the influence of the Lorentz force is included in the model as a process with hereditary properties (finite “memory”), depending on the energy of the magnetic field.

The nature of the impact of the process is determined by an exponential kernel with variable damping frequency and coefficient. The control parameters are the Reynolds number and the measure of the α -effect, which contain information about the action of large-scale and turbulent generators.

In the framework of this model, a study of the magneto-hydrodynamic system solution stability in the vicinity of the rest point, depending on the values of the control parameters and the kernel parameters, was carried out, and regions on the phase plane of the control parameters were determined where it is possible to reproduce the chaotic regime of magnetic field generation.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

2.12 Correlation of integral characteristics of equivalent magnetic dipoles in January–February 2023 according to observatory data

Semakov N.N.^{1,2}, *Gniteeva O.S.*², *Kovalev A.A.*¹

¹ *IPGG SB RAS*

² *NSU*

The use of the angular and force parameters of the magnetic induction vector for comparison with the characteristics of seismic activity is complicated by two significant circumstances. The first is that the value of each of the seven elements of terrestrial magnetism depends not only on the distance to the equivalent radial magnetic dipole, but also on its magnetic moment, as well as on the orientation of this dipole relative to the point of observation. And the second circumstance is due to the fact that each of the elements of terrestrial magnetism is subject to regular variations, among which the most significant are diurnal and secular. At the same time, the amplitudes of diurnal variations depend not only on the above reasons, but also on the seasons of the year, and the amplitude of secular variations depends on the degree of variability of the deep sources of the Earth's magnetic field.

Integral magnetic characteristics, to a much lesser extent dependent on these circumstances, are the coordinates of the poles of an equivalent radial magnetic dipole, as well as a local magnetic constant directly proportional to the magnetic moment of the equivalent dipole and inversely proportional to the cube of the distance to it. The “constancy” of this characteristic of the measured magnetic field is manifested in its independence from the orientation of the equivalent dipole.

Sliding 24-hour averaging of these integral parameters, made on the basis of observational data, makes it possible to identify those features in the behavior of the magnetic field that are associated with both irregular exposure to the solar wind and geodynamic processes. To identify and separate these causal relationships, appropriate statistical processing of archival records of magnetic observatories is necessary.

2.13 Development of adaptive methods of synthesis of hydroacoustic antennas used for work in an ice environment

Korochentsev V.I.¹, Jianjun Zhu², Ryzhikh V.V.¹, Shpak Yu.V.¹

¹ *Far Eastern Federal University, Russia*

² *Harbin Engineering University, China*

A new synthesis method is proposed for the formation of the specified directional patterns of antenna arrays located on moving ice platforms. The essence of the method is to adapt mathematical algorithms that make it possible to calculate an optimal directional pattern that takes into account changes in boundary conditions in time and space. By optimal diagrams we mean such a distribution of the field when, with a given width of the main lobe, the level of the additional lobes of the diagram is minimized. The mathematical apparatus of synthesis is Fredholm integral equations of the first kind. The kernel of the integral equation is represented by the sum of directed Green functions.

2.14 Effect of the asymmetry of the Earth's magnetic field on the precipitation of energetic particles

Popova T.A., Yahnina T.A., Lubchich A.A., Demekhov A.G.

Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

The asymmetry of the Earth's magnetic field at the altitudes of the NOAA POES satellite (850 km) in the northern and southern hemispheres has been studied. The calculations were carried out in AACGM (Altitude Adjusted Corrected Geomagnetic Coordinates) geomagnetic coordinates using the IGRF (International Geomagnetic Reference Field) model of the Earth's internal field in the GEOPACK-2008 software package by Tsyganenko N.A. Calculations have shown that the magnetic field in the southern hemisphere can be lower by more than 10,000 nT compared to the northern hemisphere. The difference is about 40% at 50° latitude and decreases to about 3% at 80° latitude.

According to the experimental data of the NOAA POES satellites, it was established that the flux of energetic protons and relativistic electrons measured by a low-orbiting satellite increases with a decrease in the magnetic field value. Tracing along the field line showed that this fact is explained by the effect of a decrease in the magnetic field on the pitch angle of charged particles at the altitudes of the NOAA POES satellites.

2.15 Estimation of geinduced currents in the power system of the Altay Republic according to the Baigazan magnetic station data

Gvozdarev A.Y.¹, Kazantseva O.V.², Uchaikin E.O.²

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

² *Gorno-Altai State University*

The rates of change of the horizontal components of the geomagnetic field at the Baigazan magnetic station during the registration period (2010–2023) are analyzed. Events with the highest rates of field change have been identified. For a number of such cases, estimates of the potential difference between the groundings of the power system of the Altay Republic and possible geinduced currents in it were calculated.

The work was supported by the RSF grant 23-27-10055 and the Ministry of Science and Education of the Altai Republic.

2.16 Excitation of Chorus VLF Emissions in the Daytime Magnetosphere

Bespalov P.A.

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences

The features of the implementation of the beam pulse amplifier (BPA) mechanism of whistler waves in rarefaction magnetospheric waveguides with refractive reflection are considered. Waveguides stretched along the magnetic field with a width of about 100–300 km often occur after magnetic disturbances in the morning and daytime magnetosphere outside the plasmopause, where chorus emissions are excited under the same conditions. The dispersion characteristics of whistler radiation in a planar waveguide are analyzed under conditions of WKB approximation and refractive reflection from the “walls”. For rarefaction waveguides, it is shown that for the first ten modes at frequencies above half of the electron cyclotron frequency (in the upper frequency band), the conditions for excitation of discrete spectral elements with angles of the wave normal to the magnetic field of less than 20 degrees can be met. The proposed model explains the possibility of excitation of chorus emissions with spectral forms predominantly in the upper frequency band and individual elements in the lower frequency band in the daytime magnetosphere, when the distribution function of energetic electrons does not have a high degree of anisotropy. The work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 20-12-00268.

2.17 Generation of atmospheric gravity waves before the earthquake in Japan on March 16, 2022 M=7.3

Smirnov S.E.¹, Zhizhin M.N.^{2,3}

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

² *Space Research Institute RAS*

³ *Colorado School of Mines*

Gravitational waves in the atmosphere are generated by various sources. One of the sources of such generation is the processes in the lithosphere before and during earthquakes. At the Paratunka observatory in Kamchatka, the generation of atmospheric gravity waves can be detected by amplifying the power spectra in variations of the atmospheric quasi-static electric field in the surface air layer in fair weather conditions. On March 15, 2022, the day before the earthquake in Japan, there was an increase in the power spectra of the atmospheric quasi-static electric field compared to previous days. At the same time, characteristic line structures were observed in the cloud cover over Japan, the Kuriles and Kamchatka using satellite images. Such line structures were formed from the passage of atmospheric gravity waves through clouds. On March 16, 2022, an earthquake occurred in Japan with a magnitude of M=7.3. Thus, the generation of atmospheric gravity waves before an earthquake was discovered by two independent types of observations.

The work was partially carried out within the framework of the State task of the Russian Federation No. AAAA-A21-121011290003-0.

2.18 Geomagnetic measurements at “Pleshchenitsy” observatory (Minsk)

*Aronov G.A., Aronov A.G., Saladukhin I.A., Kadymau A.A.,
Laziuk V.M.*

*Center for geophysical monitoring of National Academy of Sciences
of Belarus*

Since 1960, continuous variational observations of the elements of the geomagnetic field D , H , Z have been carried out to study the secular variations of the Earth's magnetic field in Belarus at the “Pleshchenitsy” observatory. So, according to observations, the average annual values of the magnetic field components for 2022 year were: $D = 9.271^\circ$, $H = 17749$ nT, $Z = 48329$ nT, $F = 51485$ nT.

The secular variations of elements D , H , Z , F of the geomagnetic field for the period from 1960 to 2022 was considered. Analysis of the magnetic declination rate change shows its substantial increase over time. On average, magnetic declination increases with a gradient of about 3–4 arcmin/year, although at certain time intervals this growth reaches 6–8 arcmin/year. The modulus of the full vector of the geomagnetic field has also a clear tendency to increase over time.

The number of magnetic storms has a periodic change, which may be due to variations in the degree of activity of the Sun within 11-year cycles.

2.19 Geomagnetically induced currents during a strong magnetic storm in April 2023

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

¹ *Polar Geophysical Institute*

² *Northern Energetics Research Centre KSC RAS*

The work considers cases of the appearance of geinduced currents (GIC) in the neutral of the transformer at the stations of the Karelian-Kola power line and on the Finnish gas pipeline near the Mantsala station during a magnetic storm on April 23-24, 2023 (Dst \sim -190 ... -160 nT). A strong magnetic storm was associated with a powerful flare of M1.7 intensities on the Sun that occurred on April 21, 2023. Following the flare, a huge protuberance broke away from the Sun, which formed the CME. On April 23, the CME reached the Earth at \sim 17:30 UT, when the shock wave arrived, then a compressed plasma region (Sheath) and a magnetic cloud (MC) were observed. Two long periods of the negative Bz component of the interplanetary magnetic field (IMF) were registered in the SHEATH region (\sim -15 nT) and at the beginning of the MC (\sim -30 nT). As a result, a strong two-stage magnetic storm developed with two Dst minima: \sim -160 nT on April 23 at \sim 23 UT and \sim -190 nT on April 24 at \sim 04 UT, Kp=8. It is shown that during the development of strong substorms (AL<-1000 nT) from \sim 17:30 UT on April 23 to \sim 06 UT on April 24, intense GICs (>25 A) were observed at Vykhodnoy (VKH) and Mäntsälä (MAN) stations. The work demonstrates a good correspondence between the spatiotemporal dynamics of the substorm observed by the IMAGE network magnetometers and the appearance of GIC at the EURISGIC recording stations – the expansion of the western electrojet was reflected in the appearance of GIC at different latitudes. Other possible sources of intense GICs are also discussed.

2.20 Local variations of the total electron content of the ionosphere as measured in the North Caucasus Mountains

Khaerdinov N. S.

Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Russia

A method of measuring the local variations of the total electron content (TEC) in the region of the Carpet air shower array of the Baksan Neutrino Observatory (43.3 N, 42.7 E) is described. The standard 6-channel one-frequency satellite clocks GPS170PCI are used. The period from 29.07.2019 to 06.09.2019 is analyzed to make statistical estimates of the coupling coefficients between command execution duration for getting GPS170PCI precise time and TEC variations according to global ionosphere maps. Conclusions are compared with calibration results obtained during a magnetic storm. It is shown that there are considerable variations correlating with the muon intensity measured at the ground level. A significant local TEC disturbance (about 15 min) is shown to occur in the 02.09.2019 event, its commencement being in coincidence with an underground electric discharge. The form of the TEC disturbance correlates with the variation of the electric current that propagates along the river near the experiment location. Cause-and-effect relations of the observed phenomena are analyzed.

2.21 Localization of acoustic emission sources according to the data of a distributed system of combined receivers

Shcherbina A.O., Solodchuk A.A., Vaskin V.A., Torgonskyi V.E.

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

The results of an experiment to determine the distance to acoustic emission sources in near-surface sedimentary rocks are presented. To record signals, a system consisting of two combined receivers and one sound pressure receiver was installed in Mikizha lake. The sources were localized in two ways: by triangulation and by the difference in the time of arrival of signals from spaced receivers. The coordinates of more than 50 emission sources was measured, and their spatial distribution was constructed.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

2.22 Magnetosheath Filamentary Structures Driven by Foreshock Energetic Ions

Cai Chunlin

*State Key Laboratory of Space Weather, National Space Science
Center, CAS, Beijing, China*

Previous simulation studies have revealed the formation of magnetosheath filamentary structures by foreshock energetic ions. We report Cluster and Double Star observations of three such events triggered by a foreshock bubble, a hot flow anomaly and a traveling foreshock, respectively. In each case, in association with the onset of foreshock energetic ions, the magnetosheath energetic ion fluxes have quasi-periodic modifications. Their azimuthal and pitch angular distributions indicate that these populations flow into the magnetosheath along the magnetic field lines. As a result, filamentary plasma structures form and display as a series of ion density and pressure oscillations anticorrelated to temperature oscillations. Moreover, our statistical analyses of their properties show that filamentary structures primarily form in the magnetosheath with the magnetic field lines connecting to the quasi-parallel bow shock and under favorable formation conditions similar to those of foreshock transients. Magnetosheath filamentary structures are field-aligned and are often associated with large-amplitude ion density and temperature perturbations comparable to the unperturbed background levels.

2.23 Main features of substorms on the contracted oval

*Despirak I.V.¹, Kleimenova N.G.², Malysheva L.M.², Gromova L.I.³,
Lubchich A.A.¹*

¹ *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia*

³ *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio
Wave Propagation, Troitsk, Russia*

The high-latitude magnetic substorms observed at geomagnetic latitudes higher 70° MLAT under the substorm absence at the lower latitudes are known as “substorms on the contracted oval” or “polar” substorms. Such substorms appear during quiet or weakly disturbed space weather conditions. The study of 254 “polar” substorms, recorded at the IMAGE magnetometers during the winter seasons of 2010-2020, confirmed a tendency to occur in the late evening (19-23 MLT), that is a bit earlier than the “normal” substorms (22-24 MLT). The ionospheric electrojets and field- aligned currents (FAC) distribution was studied basing on the AMPERE satellites measurements. We found that “polar” substorm onsets are associated with an enhancement of FACs in a localized evening area. It was found also that before the onset of “polar” substorms, like “normal” substorms, there is an increase in the PC-index indicating an energy input into the magnetosphere. We established that “polar” substorms, like “normal” substorms, are accompanied by positive mid-latitude magnetic bays, demonstrating a substorm current wedge (SCW) development. Our observations showed that during “polar” substorms, the auroras, recorded at the high-latitude Barentsburg station, demonstrated the dynamics, typical for “normal” substorms, but spiral auroral structures were sometimes registered. It was shown that like “normal” substorms “polar” substorms are accompanied by Pi2 and Pi1B geomagnetic pulsations. Thus, the “polar” substorms exhibited the properties, typical for “normal” substorms, and they could be referred as a specific type of substorms developing under rather quiet space weather conditions.

2.24 Manifestation of seismic-acoustic and seismic-electric response of near-surface rocks in Kamchatka

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

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

² *Institute of volcanology and seismology FEB RAS*

Investigation of joint seismic-acoustic and seismic-electric response of the near-surface sedimentary rocks, detected by the authors in Kamchatka earlier, has been continued. Peculiarities of its manifestation during rock deformation by seismic waves from earthquakes with the energy class $11.0 \leq K_s \leq 14.7$, which occurred at the hypocentral distance D up to 600 km from «Karymshina» site ($52.83^\circ N, 158.13^\circ E$) were under consideration. When twelve new cases of joint responses of sedimentary rocks for 2012–2023 were added to the eighteen cases for 2017–2021 considered earlier, reliability of the nonparametric correlation relation between K_s and D was improved. During near-surface rock deformation, two cases of acoustic signals of higher frequency than seismic waves, detected earlier at «Karymshina» site during P -wave passage from strong Kamchatka earthquakes ($M_w \geq 6.6$), were observed and analyzed. They were recorded at «Krutoberego» site ($56.26^\circ N, 162.71^\circ E$) located 480 km to the North-East from «Karymshina» site and indicate the possibility of generation of high-frequency geoacoustic signals in other structural and tectonic conditions.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0.

2.25 Matching the parameters of shell turbulence models with the probabilities of interaction of wave shells

Feshchenko L.K., Vodinchar G.M.

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

In this paper, we have developed a technique for constructing complex and real cascade models of MHD turbulence, the equations exactly satisfy the given conservation laws. This technique is carried out using symbolic calculations. The technique allows to perform automated generation of model equations for arbitrary long-range interactions of nonlinear interactions in the scale space. Verification of this technique was carried out on GOY and Sabra models. The calculations were made in the Maple environment.

After setting the conservation laws, the coefficients are calculated, which have several free parameters. And then the question of choosing free parameters arises. One of the options for determining the coefficients is the following consideration. It is necessary to choose the coefficients in such a way as to minimize the difference between these coefficients and the probabilities of interaction in terms of wave vectors. From a formal point of view, this is just an optimization problem. But since it is not the coefficients themselves that need to be compared, but their modules, therefore, the objective function becomes non-differentiable. Thus, one of the possible options is the iteration option. This stage of work is no longer carried out in symbolic calculations, but in real calculations. The calculations were made in the C++ environment.

It seems that the technique described in the paper will be useful in the study of problems by dynamo spectral methods.

The work is carried out within the framework of the State task on the topic (2021-2023) "Physical processes in the system of near space and the geosphere under solar and lithospheric influences", registration number AAAA-A21-121011290003-0

2.26 Modeling the electric field of eruptive clouds from explosions of the Ebeko volcano taking into account the terrain

Akbashev R.R.^{1,2}, Malkin E.I.³, Budilova E.A.¹

¹ *Kamchatka Branch of the Federal Research Center of the Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

² *Vitus Bering Kamchatka State University*

³ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

From July 29, 2020 to August 5, 2020, field observations were carried out to register the potential gradient atmospheric field (PG) during the eruptions of Ebeko Volcano. The responses were recorded at three observation points. The points were set at different distances from the crater and in such a way that they defined a straight line from the crater of the volcano. More than 20 responses were recorded in PG variations. Responses were observed in various meteorological conditions. In order to determine the charge in the formed electrostatic structure of the eruptive cloud and to take into account the terrain in the model calculation of the electric field of the eruptive cloud, one eruption was selected, which occurred in fair weather conditions. For the selected event, the eruptive cloud propagated over the observation points located on the slope of the volcano. These data served as an experimental basis for mathematical modeling of the electric field of eruptive clouds, taking into account the relief of the volcano slope.

2.27 Observations of space weather effects from the Moscow University nano-satellite constellation SOZVEZDIE-270

*Svertilov S.I.^{1,2}, Bogomolov V.V.^{1,2}, Bogomolov A.V.², Osedlo V.I.²,
Bengin V.V.², Zolotarev I.A.², Iyudin A.F.², Kalegaev V.V.²,
Yashin I.V.², Antonyuk G.I.², Zhilchenko K.S.², Mutin A.A.^{1,2}*

¹ *Physical Department MSU*

² *Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics*

Within the framework of the Moscow University space project SOZVEZDIE-270, a constellation of cubesat nano-satellites with a set of instruments is being deployed, which, among other goals, provides monitoring of the near-Earth space radiation environment, control of the geo- and heliophysical conditions. Along with the space constellation, a network of ground receiving stations is also being created. These stations should be distributed both in longitude and in latitude to ensure the reception of telemetry and scientific data. Processing of the received data is carried out at the SINP MSU Data Center for Operational Space Monitoring to implement an operational forecast of the near-Earth space radiation conditions. As a result, a system of orbital and ground-based facilities should be created, which allows, in a mode close to real time, determination of the radiation load levels caused by ionizing radiation not only in the region of the spacecraft (SC) orbits themselves, but also determination of the radiation conditions in a large part of the radiation belts, up to the orbits of global navigation satellite systems or geostationary.

During the project implementation, 11 SCs of the cubesat format have been launched to date. Currently, there are 6 such spacecraft operating in near-Earth orbit, which transmit scientific and telemetric data. During 2023–2024 it is planned to launch at least 8 more such satellites into low circular polar orbits.

Multi-satellite constellation has been implemented, which makes it possible to carry out simultaneous measurements of particle and quantum fluxes using the same type of instruments at different points in the near-Earth space. Such measurements provide unique information about the sub-relativistic electron flux dynamics, including variations due to precipitation, which is of great importance for understanding the mechanisms of trapped and quasi-trapped electron acceleration and

losses. As examples, we consider an increase in the fluxes of energetic particles in the polar cap in late October – early November 2021 due to the arrival of solar cosmic rays (SCR), as well as changes in electron fluxes in the outer radiation belt during geomagnetic activity in March 2022. In addition, the observational data on the sub-relativistic electron fluxes in various near-Earth space regions during high helio and geomagnetic activity in March-April 2023 are analyzed.

2.28 Oscillator associated with one two-mode dynamo model with memory

Vodinchar G.M.

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

The report considers an oscillator that can be obtained from the two-mode $\alpha\omega$ -dynamo model of the following form:

$$\begin{aligned}\frac{dB^T}{dt} &= \omega B^P - \eta^T B^T, \\ \frac{dB^P}{dt} &= (\alpha - z) B^P - \eta^T B^T, \\ z(t) &= \frac{1}{T_K} \int_0^t K\left(\frac{t-\tau}{T_K}\right) \frac{|B^T(\tau)|^2 + |B^P(\tau)|^2}{B_0^2} d\tau,\end{aligned}$$

where $B^T(t)$ and $B^P(t)$ are the amplitudes of the toroidal and poloidal modes; $1/\eta^T$ and $1/\eta^P$ are the characteristic decay times of the modes; α – measure of the α -effect in a weak field; ω – differential rotation measure; B_0 – typical value of the field; $K(\cdot)$ – some dimensionless memory kernel; T_K – kernel timescale.

It is shown that after dimensionless and passing to the dimensionless phase variables $x \sim B^T$ and $y \sim B^P$ the system can be reduced to the equation

$$\begin{aligned}\frac{d^2x}{dt^2} + (1 + \sigma) \frac{dx}{dt} + sK(0)x^3 + x[-\sigma(D - 1) + u(t) + w(t)], \\ u(t) = \frac{s}{\sigma} \int_0^t K\left(\frac{t-\tau}{p}\right) \left(\frac{dx}{d\tau}\right)^2 d\tau, \\ w(t) = \int_0^t J\left(\frac{t-\tau}{p}\right) x^2(\tau) d\tau, \\ J(\cdot) = \frac{\sigma(1 + s^2)}{s} K(\cdot) + \frac{s}{p} K'(\cdot).\end{aligned}$$

where σ , D , p and s – dimensionless control parameters.

This equation can be considered as an oscillator with linear friction and hereditary potential $U(x) = Ax^3 + B[x]x$. Heredity is determined by the coefficient $B[x] = -\sigma(D - 1) + u(t) + w(t)$.

The report discusses the results of numerical simulation of this oscillator. The observed dynamic regimes are interpreted from the point of view of the oscillators theory.

The work was carried out within the framework of realization of the State Task No AAAA-A21-121011290003-0.

2.29 Possible railway effects in magnetic measurements at Geophysical Observatory Novosibirsk

Khomutov S.Y.¹, Kovalev A.A.², Gvozdarev A.Y.¹, Semakov N.N.²

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

² *IPGG SB RAS, Russia*

After renewing the Geophysical Observatory Novosibirsk (NVS) from analog photorecording to digital magnetometers, noise in the form of spikes and short jumps of records with an amplitude of up to several nT, which were not previously visible, appeared in the measurement results. The main effect was observed in the vertical intensity Z and total field intensity F . A direct current railway running 12 km west of the observatory was considered as a possible source of these disturbances. In 2016–2012, route surveys of F were carried out along two profiles of different lengths, approximately perpendicular to the railway. It has been shown that the noise amplitude decreases linearly with the distance from the source. In later years, an attempts were made to identify the noise origin, linking them with the traffic by rail, primarily with suburban trains with a fixed schedule. The summary results of the studies are presented here.

The work of A.Y. Gvozdarev and S.Y. Khomutov was carried out within the framework of realization of the State Task No. AAAA-A21-121011290003-0. The work of N.N. Semakov and A.A. Kovalev was supported by Minobrnauki of Russia (Project FWZZ-2022-0019).

2.30 Recording the “Rock Battery” current

Khaerdinov N. S.

Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Russia

Under “fair weather” conditions the experimental setup of the Baksan Neutrino Observatory (43.3 N, 42.7 E) had recorded on the night of September 1-2, 2019 unique variations of the atmosphere electrical state, similar to those of a thunderstorm. It was established during the analysis that, in addition to the thunderstorm-like electric field in the troposphere, this event included an electric current flowing down along the floodplain of the nearby mountain river. The current is presumably a result of tectonic activity in the form of slow vibrations of the ground surface. Based on the measured parameters and a well-known model of electric charge generation due to rock stress, the characteristic value of this charge and associated electric current in the river floodplain are estimated.

2.31 SME geomagnetic index data prediction based on wavelet transform and LSTM neural networks

Polozov Y.A.

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

This paper proposes an approach for forecasting the geomagnetic activity index SME based on the interplanetary magnetic field data and the joint application of the wavelet transform and LSTM neural networks. The constructed neural network models allow us to perform SME prediction for several hours ahead. The analysis of the results during quiet and perturbed periods of geomagnetic activity showed the dependence of the data approximation quality on the input data of the neural network models and the forecasting depth.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021-2023) «Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact», registration number AAAA-A21-121011290003-0.

2.32 Seismoacoustical signatures of inverse seismoelectrical effect of II kind during electric soundings

*Bogomolov L.M.¹, Kostylev D.V.^{1,2}, Kostyleva N.V.¹,
Dudchenko I.P.¹, Gulyakov C.A.¹, Mischenko M.A.³, Stovbun N.S.¹*

¹ *Institute of marine geology and geophysics, FEB RAS*

² *Sakhalin Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences*

³ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
FEB RAS, Russia*

The results of experiments on electric sounding of the near-surface layer of the Earth's crust in the fault zone have been represented. The soundings occurred with the recording seismoacoustic and seismic noise recording in the close zone near the source (the primary inducing dipole). The experiments were carried out in three different regions: in Kamchatka Peninsula, in the zone of multi-rank faults, at the ICIR FEB RAS Karymshina observational station, 2018, in the Moscow region (Russian Platform), on the territory of the geophysical observatory of the IDG RAS Mikhnevo, 2019 and in the southern part of the Sakhalin island, at the Petropavlovsk mini test-site in the zone adjacent to the Central Sakhalin fault (2020–2022). Rechargeable batteries with an automatic switch developed at IMGG FEB RAS were used as a source of electric soundings in 2018–2019. Some modifications of an electric pulse source of 3 kW maximal power, also developed at IMGG FEB RAS, were used in the experiments on Sakhalin (2020–2022). The generator unit provided the current in the dipole significantly higher than its typical values in the case of sounding for electrical exploration by resistance methods, and that for conventional seismic electrical exploration. Such a range of current amplitudes was much smaller than that in the case of deep sounding using geophysical MHD generators or powerful electric pulse units supplying currents to an exciting dipole of the order of a kA with a current closure area of tens of kilometers. Seismic responses to electric soundings with the use of powerful current sources have already been investigated. Also, the seismoelectric effects are well known, which are caused by currents sources of relatively small power, and, hence, by currents below level of tens or hundreds milliamps, the current densities in the medium being low, and spreading zone being from few meters to tens of meters. Meanwhile, up to now, the inverse seismoelectric effect has

remained practically unexplored at currents in the “intermediate” range of ~ 10 A and at scales of the order of hundreds of meters. The aim of our experiments is to investigate the seismoacoustic signatures of the medium reaction to soundings with current pulses of 5–13 A, to identify features in the recordings of seismoacoustic noises. Background noise in the seismic and seismoacoustic range and expected variations during soundings were recorded using molecular electronic devices: a borehole hydrophone and a CME-6111 seismometer. Other, more sensitive hydrophones installed in a man-made reservoir, as well as a high-frequency seismic receiver (geophone A1638, CJSC Geoacoustics) were also used in experiments in Kamchatka.

In experiments held in the zone the Central Sakhalin fault in 2021–2022, the effect of an increase in the level of seismoacoustic noise was established in the surface layers near the source — the exciting electric dipole was established. The revealed reaction of the medium to the current pulses is a kind of inverse seismoelectric effect of the second kind, which is realized at sufficiently high current densities. At lower current densities, as in the case of the Karymshina experiment, such a reaction of the medium does not occur. Also, changes in seismoacoustics were not observed during electric sounding in the aseismic region. The results obtained on the increase in the level of seismoacoustic noise during electric sounding differ from the responses of seismicity to current pulses of powerful sources (geophysical MHD generators, electric pulse installations) by the practical absence of delay after the onset of exposure.

The development and application of more powerful, but economically acceptable generator devices can provide additional information about the possibility of active monitoring of fault segments based on the reverse seismoelectric effect of the second kind.

2.33 Selkov Dynamic System with Variable Heredity for Describing Microseismic Regimes

Parovik R.I.

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

The paper proposes a new mathematical model for describing the microseismic modes of interaction of two types of fractures - seed and fractures that directly generate microseisms. The mathematical model is a system of two non-linear differential equations with derivatives in the sense of Gerasimov-Caputo of fractional variable orders. The dynamical system under study is a generalization of the Selkov fractional dynamical system studied earlier. The purpose of the study of the proposed model is to establish self-oscillatory modes using numerical calculations. The algorithm based on the theory of finite-difference schemes serves as a numerical algorithm for studying the problem. The paper shows that the proposed dynamic system can have different oscillatory modes depending on the choice of the dependence of the orders of fractional derivatives on time, as well as on the values of the model parameters.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-11-00064.

2.34 Some Aspects of the Qualitative Analysis of the High-Frequency Geoacoustic Emission Model

Mingazova 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, Russia*

Geoacoustic emission is an indicator of the stress-deformed state of the geosphere, therefore, the study of high-frequency (up to the first tens of kilohertz) geoacoustic emission plays an important role in the development of methods for predicting strong earthquakes in seismically active regions such as Kamchatka. An approach based on the construction of a mathematical model of high-frequency geoacoustic emission was used in the work. The mathematical model is a system of two linear ordinary differential equations of the second order with non-constant coefficients. Each differential equation represents a pulse of high-frequency geoacoustic emission with certain characteristics, and the interaction between the pulses is carried out using a linear coupling coefficient.

In this paper, we continue to further investigate the qualitative properties of the solution of the mathematical model of high-frequency geoacoustic emission. For the model under consideration, the substantiation of the existence and uniqueness of the solution based on the methods of functional analysis is given, the stability of the zero solution of the mathematical model is investigated, and its stability at long times with using the Raus-Hurwitz criterion. A study on stiffness was carried out, the influence of model parameters on the stiffness of the system of differential equations under study was revealed, visualization of studies of the dependence of stiffness on time was given. By means of Maple computer mathematics, the Rosenbrock numerical method, waveforms and phase trajectories are constructed under various conditions: the presence of rigidity, instability, etc. The results of the study are formulated in the form of theorems, and directions for further research of the mathematical model of high-frequency geoacoustic emission are given.

The work was carried out within the framework of the State Task on the topic (2021-2023) «Physical processes in the system of near space

and geospheres under solar and lithospheric influences», registration number AAAA-A21-121011290003-0, as well as under the grant of the President of the Russian Federation No. MD-758.2022.1.1.

2.35 Space Weather Prediction in SINP MSU Space Weather Analysis Center

Myagkova I.N., Dolenko S.A., Kalegaev V.V.

SINP MSU

Geomagnetic storms and radiation environment in the near-Earth space are the most important factors of space weather. Space Weather Analysis Center at SINP MSU provides operational monitoring and forecast of geomagnetic conditions and also radiation environment both at Geostationary Orbits (GEO) and at Low Earth Orbits (LEO) using data of current and recent space missions. The Internet portal of Space Weather Analysis Center at Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University (<https://swx.sinp.msu.ru/index.php?lang=en>) provides possibilities to monitor and analyze geomagnetic conditions and the space radiation environment in the real time mode. The prediction models are built using machine learning methods, algorithms of selection of significant input features of the mode, and classification algorithms.

This study has been conducted at the expense of the grant of the Russian Science Foundation no.23-21-00237, <https://rscf.ru/en/project/23-21-00237/>.

2.36 The main features of the spatio-time relationship of the thermo-mineral water regime and the development of the stress-strain state of the Earth's crust in Kyrgyzstan

Kendirbaeva Zh.Zh.

Institute of Seismology NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan

Combined and comparative analysis methods are used to study the nature of the spatio-temporal relationship between the regime of thermomineral waters (TMW) and the stress-strain state of the earth's crust. As an example, the territories of Kyrgyzstan are proposed. Parameters of the source mechanism (MF) of earthquakes are based on the Honda-Vvedenskaya model.

Time charts of TMW are sinusoids with a slight shift in the minimum in summer and autumn-winter periods. The greatest effects, amounting to 20–50 percent, were recorded in the epicentral zones: for example, on average, useful signals for temperature reach up to 30° C, the level (H) ranges from 0.5 to 2 m, and the flow rates vary from 20 to 100 percent, while in some TMWs there are no reactions of nitrogen (N_2), CO_2 and helium, and there is also a complete indifference of the gas factor (GOR) against the background of appreciable fluctuations in chlorine, bicarbonate, carbonate and calcium, as well as the values pH, although there were significant fluctuations in atmospheric pressure values. During this time, in fifteen cases, where energy class from 5.1 to 7.4, shifts of the “spreading” and “thrust” types were recorded, and with an energy class more 10 had a “fault” and “slip-thrust” character.

Combining in spatio-temporal terms the data of regime observations of TMW and migration of earthquake epicenters, it was found that in the “harbinger-earthquake-reaction” system with an internal load of energy class less than more 10 there are no relationships, since their mode of behavior in the annual and long-term sections is in within the confidence corridor hidden by the influence of oscillatory movements and seasonal cyclicity. In this case, between them and the course of atmospheric pressure, there are indeed periods of a quasi-stable and unstable state of the medium. Thus, the sources are located at depths from 16 to 30 km, among which an earthquake with energy

class 11.6, with a hypocenter located at a depth of 25 km during “shear-thrust” deformation turned out to be noticeable. Of these, seven gave the sign “+”, and three earthquakes — “-”. In the first case, the deformations are of a “shear-thrust” nature, and of the three earthquakes with energy class 7.7, they are of a “shear-thrust” nature. Thus, the location and epicenters of strong with energy class more 10.6 earthquakes in the territory of Kyrgyzstan regions are located unevenly and are concentrated in groups in areas with linear dimensions of 50–70 km, while they quite steadily retain their configuration, and their compact concentration has a real physical nature.

It is possible to actually record the change in the properties of the geological and hydrogeological environment and the types of movements emanating from stress deformations, due to information about the TMW regime, taking into account the role of the epicentral distance and exceeding the ultimate strength of rocks.

Thus, the combination and comparative analysis of seismic manifestations of parameters and geological and geophysical fields, taking into account the prevailing sizes of active tectonic structures and the factors involved in their relationship, create favorable conditions for scientifically based solution of the most important applied problems. associated with identifying areas where seismic activity is possible in the medium and short term.

2.37 The methods of long-term forecasting of volcanic eruptions in Kamchatka: their effectiveness and significance according to retrospective data

Shyrokov V.A.¹, Yakunina E.N.²

¹ Kamchatka branch of FRC EGS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

² National Research Tomsk State University

In the early 1960s, there were a number of papers noted that some space factors like solar activity, gravitational fields of the Moon and Sun, etc., as well as well-known astronomical rhythms, are related to geodynamic processes in the solid Earth. It is obvious that generally known overlapped rhythms method facilitates to reveal the significant active phases that can be the foundations for highlighting the alarm time intervals for expecting volcano eruptions.

The choice of rhythms being calculated to the nearest thousandth of a year makes it possible to determine the alarm time more exactly and increase the effectiveness and validity of prediction in the comparison of the forecasting method, which uses the quasi-periodic recurrence of huge volcanic eruptions in time, being used as in the world as in Kamchatka region. It should be noted that volcanic eruptions and earthquakes are usually related therefore general methods are frequently used for their long-term forecasting. The paper reflects the relevant outputs of perennial Shyrokov's research work:

- Forecast of Kamchatka eruptions based on the use of the lunar rhythm of 18.613 and its three harmonics.
- The influence of the rhythm of 18.613 on strong volcanic eruptions of Kamchatka.
- The forecasting method of the strongest Kamchatka eruptions and the non-intersection of active phases of eruptions and earthquakes.
- The method of phase trajectories for Kamchatka eruptions forecasting.

2.38 Variations in atmospheric pressure anomalies during strong earthquakes in Kazakhstan

Bakhareva L.T., Vilyaev A.V.

Institute of Seismology Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan

In studies of the mechanism of earthquakes, variations in atmospheric pressure are usually attributed to a trigger effect on the state of the environment close to destruction at the last stage of earthquake preparation. Some researchers have shown that atmospheric pressure causes deformation of the earth's crust and confinement of the epicenters of strong earthquakes to a certain spatial position of baric fields. The possibility of using variations in atmospheric pressure gradients over large areas in short-term earthquake prediction was noted.

In this paper, we considered the consistency of baric anomalies and epicenters of strong earthquakes for seismically active regions of Kazakhstan and its border areas. The main attention is paid to the anomalies of surface atmospheric pressure that existed a few days before and during strong seismic events (M more than or equal to 5.6) for the period 1979–2022. Maps of pressure anomalies and corresponding epicenters were analyzed.

Seismic information was obtained from the National Earthquake Information Center (NEIC), data on the average daily atmospheric pressure at stations closest to the epicenter were taken from the archive of the National Centers for Environmental Information (NCEI), plots of maps of atmospheric pressure anomalies at sea level were built using Global Data Assimilation System (GDAS) National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Statistical analysis was used to estimate the frequency repeatability of the largest anomalies on the eve or during seismic events and visual classification in a graphical mode.

The types of baric formations during seismic events corresponded to the long-term seasonal distribution of atmospheric pressure. Over the territory under consideration in the cold period, the high-pressure area (Az) prevails, in the summer — the low-pressure field (Zn) in the vast majority of cases. Earthquakes occurred on the periphery of atmospheric pressure anomalies. The epicenter of 75% of them, up to 3 days before the earthquake or on the day of the earthquake, regardless

of the season of the year, was located in the area of zero or near-zero values of anomalies, when their transition from positive (negative) to negative (positive) values was observed.

The result obtained confirms similar studies for other regions and is consistent with the theory of a mechanism that explains the possible triggering effect of atmospheric pressure on a seismic event.

2.39 Variations in the parameters of the signal from the A1F3 VLF transmitter received at the Mikhnevo geophysical observatory during a series of earthquakes in Turkey in February 2023

Poklad Yu.V., Ryakhovsky I.A., Gavrilov B.G.

IDG RAS

The Mikhnevo geophysical observatory, located 100 km south of Moscow, continuously registers signals from VLF transmitters. One of them is the A1F3 VHF transmitter located in Israel, in the Negev desert.

In February 2023, a series of earthquakes hit Turkey. The first, most powerful shock with magnitude M7.8 occurred on February 6, 2023 at 01:17:35 UT. The second strongest shock with magnitude M7.5 was on the same day at 10:24:49 UT. A total of 109 aftershocks with a magnitude greater than M4.5 occurred that day. Earthquakes in this region continued until the end of February. The signal path from the A1F3 transmitter to the Mikhnevo GFO passed at a distance of 125–130 km west of the epicenters of the strongest shocks. The epicenters of weaker earthquakes were located closer, up to 25 km from the route.

On the night before the first, most powerful earthquake with a magnitude of M7.8, strong variations began in the amplitude of the received signal with a characteristic period of 20–40 minutes. Spectral analysis showed that on the night of February 5–6, 2022, there was a noticeable increase in variations at frequencies of 0.2–0.6 mHz and about 1 mHz. Similar, only much weaker, variations in the signal amplitude were also observed on subsequent days when earthquakes occurred.

2.40 Monitoring of radiation fields in near-earth space with the use of KODIZ instrument on-board cubesat “Monitor-1”

*Osedlo V.I.¹, Antonyuk G.I.¹, Bengin V.V.¹, Zolotarev I.A.¹,
Nechaev O.Yu.¹, Svertilov S.I.²*

¹ *Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobeltsyn Institute of
Nuclear Physics*

² *Lomonosov Moscow State University, Physics Department*

On August 9, 2022, as part of the SOZVEZDIE-270 project of Moscow University, the Monitor-1 spacecraft was launched, on which the KODIZ instrument, a combined space radiation detector, was installed as a payload.

The KODIZ instrument is designed to test equipment for detecting radiation-dangerous fluxes of solar cosmic rays, which can create an additional radiation load on satellites and high-altitude aircraft. The KODIZ instrument contains a Cherenkov detector in the form of a plexiglas cylinder with a diameter of 38 mm and a height of 20 mm, viewed by a photomultiplier. For dosimetry of charged particles, the instrument also includes two silicon semiconductor detectors of 0.3 mm thick. The instrument power consumption at a nominal voltage of 27 V is not more than 3 W, regardless of the operating mode. The instrument mass without a set of cables is not more than 0.9 kg. The instrument makes it possible to detect the deterioration of the radiation environment in outer space in the vicinity of the Earth and obtain information for assessing the radiation hazard of such deterioration.

Currently, the processing and analysis of data transferred from the KODIZ instrument on-board the Monitor-1 satellite is being carried out. The instrument detects radiation fluxes and dose load due to radiation fields in various areas of the near-Earth space, including the South Atlantic Anomaly, the outer radiation belt, and the polar cap. Data were obtained both for geomagnetically quiet conditions and during geomagnetic disturbances caused by an increase in helioactivity, including the beginning and the spring of 2023.

3 Physics of earthquake precursors

3.1 A seismic phenomenon considered from the standpoint of nonequilibrium thermodynamics as a process of destruction of an unstable nonlinear structure on the example of the Kronotsky earthquake on 05 December 1997

Bogdanov V.V., Pavlov A.V.

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

In the presented work, the preparation of an earthquake is considered from the standpoint of nonequilibrium thermodynamics, in which the evolution of systems is determined by the processes of self-organization. With this approach, the lithosphere is an open nonlinear system in which, due to internal dissipation and the coordinated interaction of its elements, the process of development (self-organization) can take place, leading the system to a critical state. Development according to Prigogine is possible only in stationary states that are far from equilibrium, when the linear approximation does not work and it is impossible to assert with certainty about the absolute stability of stationary states. In turn, the instability of the system means that the fluctuations existing in it do not die out, as in stable ones, but, on the contrary, increase as a result of nonlinear processes. They reach a macroscopic level and cause an abrupt transition of the system (seismic event) to a new stable state with reduced entropy (seismic lull). In other words, as Prigogine noted, “order is established through fluctuations”, which he interprets as a gradual transition of the system to a stationary state with decreasing entropy. In this case, the scales of the connection between different parts of the nonlinear structure change, i.e. the scales of temporal and spatial correlation change. In turn, the methods of seismological monitoring of the stress-strain geoenvironment can be extended if, for its study, the method of calculating the probability distribution of earthquakes for various random events is used, based on the axiomatic approach of A.N. Kolmogorov which applied to the catalog of Kamchatka earthquakes. This makes it possible to follow self-consistent changes in space and time in the probability distributions of random variables (for example, depth) for weak (“background”) earthquakes preceding a strong event. A hypothesis is formulated that “background” earthquakes

with the approach of the main shock over several years tend to group on large spatial scales approximately at the depth of the impending major event. The article deals with the Kronotsky event that occurred on 05 December 1997 with a magnitude of $M_c = 7.7$.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

3.2 Analysis of the seismicity of Sakhalin from the standpoint of non-extensive statistical physics

Sychev V.N.¹, Bogomolov L.M.¹, Kostylev D.V.², Kostyleva N.V.¹

¹ *The Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS*

² *Sakhalin Regional Seismological Centre, Yuzhno-Sakhalinsk, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences*

The Sakhalin earthquake catalog is considered from the point of view of non-extensive statistical physics (NESP). The analysis is based on the concept of entropy, which was introduced in 1988 by Constantino Tsallis as a generalization of the standard Boltzmann–Gibbs entropy. The Tsallis entropy serves as the basis for the generalization of standard statistical physics for the case of non-extensive (non-additive) systems [Tsallis, 1988]. To describe the distribution functions of earthquakes, we used a modified stick-slip earthquake source model, i.e. stick-slip of two plates relative to each other along a fault in the presence of friction and filling fragments between the fault surfaces, and the Tsallis entropy maximum principle [Sotolongo-Costa and Posadas, 2004]. In this model, the fragments filling the space between the fault planes can play the role of bearings, as well as hinder the relative movement of the planes. In this model, the stress accumulates until the filling fragments are displaced or destroyed, and energy is released. Based on this, the displacement of tectonic blocks and the released energy are proportional to the size of the fragments between the faults. In [Telesca, 2011], an analytical expression was obtained that describes the energy distribution of earthquakes over the entire magnitude range, in contrast to the empirical Gutenberg–Richter formula, which is demanding on the choice of the boundaries of the linear section of the recurrence graph. The proposed approach makes it possible to estimate the degree of non-extensive seismicity in the region under consideration. The Tsallis parameter q can be used as a measure of the stability of an active tectonic zone. A sharp increase in the q parameter indicates an increase in the interaction between fault blocks and their fragments and is associated with their deviation from the equilibrium state [Complexity of . . . , 2018].

It is shown that the earthquake flux is a system with memory and long-range spatial correlations, and the calculated values of the Tsallis parameter $q \sim 1.5$ almost coincide with the values obtained for the magnitudes of the catalogs of various seismically active regions. At the

same time, when analyzing the flow of events related to technogenic impacts (explosions), it was determined that the value of the Tsallis parameter q is lower than that calculated from the earthquake catalog. Such areas where blasting is carried out are characterized by a low value of the Tsallis parameter q . This may mean that there is no mutual correlation between these events, or, in other words, earthquakes caused by explosions are not related in any way.

3.3 Atmosphere and lithosphere interaction could triggered the 2023 M_w 7.8 Turkey earthquake

Volkov V.A.¹, Dubrov M.N.², Larionov I.A.³, Mrlina J.⁴, Polak V.⁴, Aleksandrov D.V.², Golovachev S.P.²

¹ *Shmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Russia*

² *Fryazino Branch of Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS, Russia*

³ *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

⁴ *Institute of Geophysics CAS, Czech Republic*

Preliminary data analysis based on the recently carried out the Earth's tilts and strain precise measurements by means of far distanced instruments and their comparison with atmospheric and cyclonic activity together with worldwide meteorological, oceanology and space environmental data are presented. The obtained results confirm the earlier proposed atmosphere, ocean and lithosphere interaction as a possible drive of triggering mechanism of major earthquakes. We have described this process as development of successively arising hurricanes (typhoons) in form of spatial-temporal swings of cyclonic active zones over the Earth's tectonic plates in E-W or N-S directions. The process starts 4–7 weeks before an earthquake and, after some cyclonic activity descending, it resumes wherein occurring a power seismic shock becomes high probable. Investigation of the decade 1997–2007 major earthquake series showed that above period of cyclones system swinging and earthquake preparation may increases up to 1–2 months for the most strong M_w 8–9 seismic events. This study considers the initiation of powerful Turkey earthquake (6 February 2023) that could be a result of tropical cyclones interaction in the Indian Ocean and extratropical windstorms in North Atlantic and Mediterranean basins. The excitation of the Indo-Australian and African tectonic plates which border the southern side of the Arabian tectonic plate has progressed as NW-SE spatial and temporal swings of cyclonic disturbances between Atlantic and Indian Ocean basins during December 2022 – January 2023. The number of intense extratropical cyclones affected Central Europe and Mediterranean areas adjacent to the north border of the Arabian tectonic plate in its narrowest and most vulnerable flank, where the chain of strong earthquakes occurred in the beginning of February 2023. The observed atmosphere and lithosphere interaction was accompanied

by tilt-baric and strain-baric disturbances detected by our instruments over wide distances from the Central and East Europe to the Far East regions. Tilt-baric effects of the order of 1.2–1.5 $mas/mbar$ and strain-baric events of $(2-3) \cdot 10^{-8} mbar^{-1}$ were observed for the most intensive European windstorms and Indian Ocean tropical cyclones 7 weeks and 2 weeks before the M_w 7.8 Turkey earthquake.

The work was partially carried out within the framework of the State task No. AAAA-A21-121011290003-0.

3.4 Atmospheric electric field negative abnormal signals from multiple stations along Xianshuihe rupture zone before Luding Ms 6.8 Earthquake

Chen Tao

*National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences,
Beijing, China*

The hourly scale precursor signal atmospheric electrostatic anomaly before strong earthquakes has recently attracted many researchers, and combined with an effective atmospheric electrostatic monitoring network means, the anomaly can be detected about 2-48 hours before the earthquake (Chen et al., 2023). On September 5, 2022, at 12:52 (UTC+8), a strong earthquake of Ms 6.8 occurred in Luding County, Sichuan, China (102.08°E, 29.59°N). The authors have analyzed the atmospheric electric field data from three stations, Ganzi, Guzhan and Yanzigou, in the same seismic rupture zone (Xianshui River Rupture Zone) near the epicenter of the earthquake in this report, and then compared the meteorological observations to find possible precursors of atmospheric electrostatic signal anomalies about 2 days before the strong earthquake, with the distances of 11 km, 60 km and 299 km from the epicenter of the three anomalous stations, respectively. Many atmospheric electrostatic monitoring instruments will be likely to be sensed about 2-48 hours before the arrival of a strong earthquake in the future by forming a joint observation of multiple precursor signals of earthquakes and combining with artificial intelligence machine recognition technology.

3.5 Connection of the seismic regime of the Northern Tien-Shan with changes in electromagnetic field parameters

Beloslyudtsev O.M., Vilyaev A.V.

Institute of Seismology Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan

On the territory of the North Tien Shan seismically active region, long-term studies of variations in the components of the geomagnetic field and natural electromagnetic radiation in the range of 10^{-4} Hz–40 kHz are being carried out. The studied parameters are the ratio of the amplitudes of synchronous quasi-sinusoidal oscillations Z/H (vertical and horizontal) at periods from 8 to 120 minutes. The result of measurements of the components of the geomagnetic field is the coefficient of the transfer function of the geomagnetic field, which reflects the electrical conductivity of the layers of earth's crust at different depths of the field penetration.

Natural electromagnetic radiation is measured at frequencies of 0.125–40 kHz in 4 ranges. The measured parameters are the number of pulses and their total energy per unit time. Due to the high level of noise in the measured parameters, a processing technique was developed using the normalized pulse energy. The output series is calculated as the ratio of the normalized energy in each of the ranges to the low-frequency one, which is the reference one.

The obtained results are applicable for identifying reliable precursors on the eve of earthquakes with M_s more or equal 4.5 that occurred within a radius of 100 km from the measurement point. A joint analysis of the parameters of electromagnetic radiation and the number of microshocks made it possible to assume the nature of the radiation source as the generation of high-frequency pulses during the development of fracturing in the earth's crust directly in the station area.

Anomalous deviations of the course of the transfer function of the geomagnetic field on the eve of earthquakes may have a different sign depending on the change in electrical conductivity at different depths. During the observation period, a number of reliable short-term anomalies were obtained, identified with the precursors of earthquakes with M_b more or equal 5.

A physical model is proposed for the occurrence of anomalous variations in the components of the geomagnetic field and natural electromagnetic radiation on the eve of earthquakes.

3.6 Disturbances in E and F layers of the ionosphere preceding earthquakes in the Kamchatka region

Bogdanov V.V., Pavlov A.V.

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

Anomalous changes in the parameters characterizing the state of the ionospheric layers E and F , observed before the onset of seismic events, can be considered as possible ionospheric precursors of these earthquakes. In this work, according to the data obtained at the ionospheric station of vertical radio sounding, located in Paratunka (52.97° N, 158.24° E), an analysis of ionospheric disturbances recorded before the onset of earthquakes with magnitude $M \geq 5.0$ that occurred in the Kamchatka region over the period 2012–2022 was carried out. As possible ionospheric precursors of earthquakes, statistically significant deviations from the background level of the limiting reflection frequency $foEs$, the screening frequency $fbEs$ and the effective height $h'Es$ of the sporadic Es layer, as well as the critical frequency $foF2$ of the $F2$ layer and the effective height $h'F$ of the F layer in the absence of geomagnetic disturbances were considered. The predictive efficiency of the anomalous behavior of the complex of considered ionospheric parameters for earthquakes with $M \geq 5.0$ is estimated. Empirical dependences are obtained that relate the epicentral distances of an earthquake and the lead time of the appearance of ionospheric disturbances relative to the moment of the onset of earthquakes with their magnitude.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

3.7 Earthquake precursors in the F-region of the ionosphere, statistics of seismoionospheric effects according to the data of vertical ionospheric sounding stations of Japan

Liperovskaya E.V.¹, Rodkin M.V.^{2,3}

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences*

² *Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences*

³ *Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences*

Based on data from Japanese vertical ionospheric sounding stations (Kokobunji, Wakkanai and Yamagawa, 1957-2020), hourly variations in the critical frequency foF2 due to earthquakes are considered. The difference in the physical mechanism of earthquakes of different depths and the possible difference in the seismoionospheric response to the processes of their preparation are taken into account. It can be assumed that the mechanisms are different for the near-surface earthquakes (down to the depth of the S.N. Ivanov separator layer), ordinary tectonic earthquakes with a depth of up to 30-40 km from the separator layer, earthquakes that are decisively associated with dehydration processes (from 30-40 km to about 100 km). The specific boundaries of such changes in the area under study are not known, and we preliminarily set them equal to 33 and 70 km. The existence of statistically significant and different in nature seismoionospheric effects in the region of earthquakes preparation processes was revealed approximately at distances up to 500 km for events corresponding to these depth intervals. In addition, a statistically significant seismoionospheric effect was revealed at large distances, approximately from 800 to 1500 km from the source for crustal earthquakes with depth smaller than 33 km. The difference in the character of the ionospheric response may correspond to various mechanisms of seismoionospheric interaction - the release of radon, changes in deep electrical conductivity, the development of thermal anomalies and acoustic-gravity waves.

3.8 Global geomagnetic disturbances associated with distant earthquakes: discovery or error?

Pilipenko V.A., Martines-Bedenko V.A.

Institute of Physics of the Earth

The possibility of the occurrence of global geomagnetic disturbances during remote earthquakes, the registration of which was reported in numerous publications in leading Russian geophysical journals, is considered. If these results are confirmed, then this could be a major discovery in geophysics, so these observations require more detailed verification. A comparison of the disturbances given in the publications with the data of high-latitude magnetic stations has shown that the entire set of morphological properties of long-period disturbances (with a duration of 10–40 min) indicates that they are characteristic manifestations of the activation of the magnetospheric-ionospheric current system at auroral latitudes. Thus, the detected disturbances are a mid-latitude response to electrojet variations in the auroral region and are not associated with seismic activity. Short-period periodic disturbances (with a period of about 1 min) have turned out to be Pi2 pulsations of magnetospheric origin, which coincided by chance with the moments of distant earthquakes. The question considered is a clear illustration of the fact that the identification of anomalous disturbances should be carried out jointly by specialists in earthquake physics and space weather.

3.9 LURR (load-unload response ratio): new results on the example of the Tokachi-Oki earthquake (25.09.2003, M=8)

Zakupin A.S.

*Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern
Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

The paper proposes an original approach to the LURR methodology, which was applied to the analysis of the seismicity of the island of Hokkaido. For data processing, we used the Seis-ASZ software package developed at the Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, and the author's methods, which are versatile in the choice of processing parameters. They were used to determine the parameters for calculating the LURR parameter in time, the rules for detecting LURR anomalies, the conditions for scanning an area that is many times larger than the calculated area, and forecast objects. The study was conducted with seismic data in that part of the island of Hokkaido, where one of the strongest earthquakes in the world – Tokachi-Oki (25.09.2003, M=8) occurred in the modern period. For this study, the area around the Tokachi-Oki earthquake was divided into 9 calculated areas (circles with a radius of 1°) with a step of 1° in latitude and longitude (40° - 44° north latitude, 142° - 146° east longitude). A retrospective analysis was carried out from 2000 to 2020. Over a 20-year period, one forecast zone was determined. This zone is represented by two calculated areas with anomalies in late 2001 – early 2002 and includes the epicenter of Tokachi-Oki (in fact, it is a forecast for it). Such a low number of anomalies (compared to Sakhalin, where there were more than 60 of them in 22 years) is explained by the effect of suppressing minor variations through a large sample size (for example, with Sakhalin, the difference is 5 times). It can be summarized that the seismic regime of the island of Hokkaido is a good option for predicting earthquakes of the highest order and practically does not give false alarms. Such estimates are preliminary, since the studied area is only 45% of the seismically active territory of the island.

3.10 Meteorological anomalies and strong Kamchatka earthquakes

Kopylova G.N.¹, Serafimova Yu.K.¹, Lyubushin A.A.²

¹ *Kamchatka branch of the Federal Research Center “Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences”*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences*

Based on the data of long-term (1962–2020) observations of air temperature and atmospheric pressure at two weather stations in area of the Petropavlovsk-Kamchatsky city (Kamchatka Krai), a hypothesis is analyzed about the relationship between increased and decreased values of meteorological parameters as well as their contrast changes with the final stage preparation of local earthquakes which caused perceptible shaking with intensity IMSK-64 \geq 4–5 points in the city. The magnitudes of such earthquakes $M=5.2-8.3$, epicentral distances to weather stations 22–440 km.

To identify meteorological anomalies, an empirical method was used to compare the average daily air temperatures and atmospheric pressure with the average daily values of their annual mean seasonal functions as well as a formalized method for estimating the minimum normalized entropy, the logarithm of the kurtosis coefficient, and the autoregressive measure of nonstationarity of air temperature and atmospheric pressure time series in a sliding time window. As “anomalous” values of meteorological parameters, values were taken that were outside the range of $X_i \pm S_i$ and $X_i \pm 2S_i$, both increases and decreases. X_i is the average daily value of the meteorological parameter for each day of the calendar year, $i=1, \dots, 365$ (366) (average seasonal function), S_i is the standard deviation of the meteorological parameter for each day of the calendar year.

An analysis of the relationship between various types of meteorological anomalies at time intervals from 7 to 112 days before earthquakes was carried out according to the ratio of the reliability and validity values of a supposed meteorological precursor. A predominantly random nature of the various types of meteorological anomalies before strong perceptible earthquakes was found. At the same time, the hypothesis of an “anomalous” change in atmospheric pressure – its increase and/or decrease by more than $X_i \pm 2S_i$ during the time up to one month before earthquakes turned out to be noteworthy. Such

anomalies were observed before 10 earthquakes out of 12. With a regular analysis of meteorological parameters, such “anomalies” should be paid attention to as an additional feature in an integrated approach to the search for precursors and forecasting the time of strong earthquakes, accompanied by tangible shaking in the area of the Petropavlovsk-Kamchatsky city.

The proposed methods for analyzing meteorological data can be used in works on seismic forecasting in the area of the Petropavlovsk-Yelizovo agglomeration of the Kamchatka Krai for diagnosing weather dependent anomalies in the ground-based observational data.

The work was carried out according to the RSF project 22-17-00125.

3.11 Observation for changes in the surface soil layer state from the linguistic processing of geoacoustic emission results

Senkevich Yu.I., Mischenko M.A.

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

Monitoring the surface sedimentary rocks state makes it possible to control geophysical processes, such as the stress-strain state degree of the lithosphere upper layers, the intensity seismic waves, which largely determine the earthquakes and tsunamis probability. For monitoring purposes, the technology of direct geophysical measurements is used using various strainmeters and seismographs types. The measurements carried out are difficult to install, configure, and require regular verification of instruments. Since 2003 IKIR FEB RAS has been developing and implementing an alternative technology using indirect measurements based on the processing and analysis measurements of the geoacoustic emission signal propagating in the sedimentary rock mass. Conducted studies experience has shown a rather high efficiency of the developed methods, which make it possible to observe changes in the geoacoustic emission pulse flux intensity, the pulses shape and their distribution under the various natural factors influence. This study goal is to develop methods for observing the dynamics of geoacoustic emission for check the surface sedimentary rocks state based on calculating results the variability patterns distribution of pulse durations and their amplitudes. Results are shown for computational experiments with artificial and natural geoacoustic emission signals . The new method introduction allows you to quickly monitor the speed and characteristics of the change in the surface sedimentary rocks state at a new qualitative level.

3.12 Operational precursors of the earthquake on March 16, 2021 with Mw=6.6, Kamchatka

Makarov E.O., Akbashev R.R.

Kamchatka Branch of the Federal Research Center of the Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

In Kamchatka, for many years, observations have been made of variations in subsoil gases (primarily radon) in order to develop a methodology for predicting strong earthquakes. A network of observations of variations in the electric field of the atmosphere was also created in order to assess the contribution of volcanic activity to the electrification of the surface layer of the atmosphere, as well as to search for a connection between radioactive gas emanations and the electric field.

Analysis and comparison of atmospheric electric field data with variations in subsoil radon retrospectively revealed anomalous variations in parameters that arose ~ 13 hours before the March 16, 2021 earthquake with Mw=6.6. The duration of the identified anomalies in the field of subsoil radon, in gamma and beta radiation, registered at one of the points of the Kamchatka network at heights of 2.5 and 5 m above ground level and the electric field of the atmosphere, was 20–30 hours. A possible post-seismic effect lasting about 2 hours was also revealed in the atmospheric electric field data.

The detected anomalous disturbances preceding an earthquake can be considered as its operational precursors and evidence of the impact of the upper layer of the earth's crust on the surface atmosphere during its preparation.

The work was carried out according to RSF project 22-17-00125.

3.13 Power-law composite and fractional Poisson process in the theory of anomalous phenomena

Shevtsov B.M., Sheremetyeva O.V.

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

The power-law composite and time-fractional Poisson process is considered as a scale invariant statistical model of anomalous phenomena in the hereditary theory of criticality. Such a model can be useful in the research of energy-active zones. Regardless of their nature, anomalous phenomena have universal properties, among which, first of all, it should be noted scale invariance (scaling). The proposed model combines statistical properties of scaling of random events and hereditary effects, the found relations are explained on examples of analogies of different nature. Critical process regimes and exceptional values of critical indexes are determined. The structural instability of the process caused by scaling and catastrophes in the description of its statistical characteristics, which can be considered as manifestations of stochastic resonance, are discussed. The obtained results are used to study seismic data and determine the critical indices of the deformation process. It is shown that at certain values of critical indices, the rate of deformations increases catastrophically, which creates conditions for the generation of various geophysical fields that can be considered as precursors of earthquakes.

The work was carried out within the framework of the State task on the topic (2021–2023) “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric impact”, registration number AAAA-A21-121011290003-0.

3.14 Response of the geomagnetic field to the earthquake in Turkey on February 6, 2023

Riabova S.A.^{1,2}, Shalimov S.L.¹

¹ *IPE RAS*

² *IDG RAS*

Using measurements at the magnetic Grotska, Panagyurishte and Surlari stations, we analyze and interpret specific variations of the geomagnetic field during two strong earthquakes of magnitudes 7.8 and 7.5 in Turkey on February 6, 2023, which occurred with an interval of nine hours. The geomagnetic response to these earthquakes, recorded at distances of 1200–1600 km from the epicenter, can be interpreted in terms of the propagation of the Rayleigh seismic wave and atmospheric waves, both acoustic and internal, i.e. the waves that are generated by the earthquake itself.

The studies were carried out within the framework of the state task of the IDG RAS No. 1220329000185-5 “Manifestation of processes of natural and technogenic origin in geophysical fields” and the IPE RAS.

3.15 Search for geoacoustic emission signals during the passage of penetrating particles of cosmic rays through the earth's crust

Iskakov B.A.^{1,2}, Sadykov T.Kh.¹, Salikhov N.M.³, Zhukov V.V.⁴, Mukashev K.¹, Tautayev Y.M.¹, Shepetov A.L.⁴

¹ *Satbayev University, Institute of Physics and Technology*

² *Al-Farabi Kazakh National University*

³ *Institute of Ionosphere*

⁴ *P. N. Lebedev Physical Institute of the RAS*

The energy of elastic deformation accumulated at the edges of a fracture of the earth's crust in a seismically active region can be released under a small external influence, giving rise to vibrations that propagate in the form of a sound wave over lithosphere and can be detected on its surface. As a trigger effect which provokes such vibration, the ionization created deep in lithosphere by the particles of penetrative cosmic ray component was suggested in a number of theoretical studies. An experiment aimed to verification of this hypothesis was initiated at the cosmic ray installation of Tien Shan Mountain Scientific Station. As a result, the short time sporadic pulses of acoustic emission were detected by the high sensitive microphone detector of the station. Presumably, the origin of this emission can be connected with seismic processes which take place in the region of a deep earth fault situated just beneath the station. It was found a statistically significant time correlation between such pulses and passage events of the high energy (100 TeV) cosmic ray muons which were signalled both by the extensive air showers, and by the events of multiple neutron production in the underground detector of Tien Shan station. If confirmed by further studies, the effect of stimulated acoustic emission from the seismically active region of earth's crust could be of interest for the problem of earthquake forecast.

Since the muons of the said energy are known to penetrate immediately into the region of a deep seismic fault which is situated beneath the territory of Tien Shan Mountain Station, the detected temporal correlation might be an experimental prove of a theoretical assumption on stimulation possibility of acoustic emission under a small trigger influence of penetrative cosmic ray particles. In the case if this hypothesis would be confirmed by further investigation, a systematic study of such correlations could become a perspective instrument

for real-time monitoring of the current conditions in the seismic fault region, which is of special interest for the problem of operative earthquake forecast. Thanks to its presently existing multipurpose detector complex, Tien Shan Mountain Scientific Station of LPI is the appropriate place for development of such experimental activity.

3.16 Seismic process of the Anatolian plate (Türkiye)

Sycheva N.A.

*Institute of Physics of the Earth. O.Yu. Schmidt of the Russian
Academy of Sciences, Russia*

The seismicity of the earth's crust of Turkey (Anatolian plate) is studied in this work. The construction of seismicity distributions (the number of earthquakes per year per unit area), the average annual velocity of STDs (STD intensity) I_{Σ} , the concentration parameter of seismogenic ruptures KSR and the Tsallis parameter q was performed on the basis of an analysis of data from a catalog of earthquakes (more than 300,000 events) that occurred over 1900–2022. The Gutenberg-Richter distribution was constructed and the representative part of the catalog was determined, which includes events with $M \geq 2.5$. The distribution of these parameters was calculated for the representative part of the catalog and for the 0–40 km layer, where the main part of earthquakes is localized. Deep-focus earthquakes occur down to a depth of 170 km. The maximum number of earthquakes per year occurs in the province of Balıkesir (more than 90). The analysis of seismicity and STD intensity was performed for different time periods — 1997–2009 and 2010–2022. The western and eastern parts of Turkey, as well as the area of devastating earthquakes on February 6, 2023, are considered separately. The number of earthquakes occurring in the western part of Turkey significantly exceeds the number of earthquakes in the eastern part and is 75%. In the period 2010–2022 the number of earthquakes in the eastern part of Turkey increased in relation to the period 1997–2009 and accounted for 38% of the total number of events.

The work was carried out within the framework of the state task of the IPE RAS.

3.17 Seismo-tectonic deformations of the earth's crust of the Anatolian plate (Türkiye)

Sycheva N.A.

Institute of Physics of the Earth. O.Yu. Schmidt of the Russian Academy of Sciences, Russia

The paper investigates the stress-strain state of the earth's crust in Turkey, the tectonics of which is determined by the relative movements of the African, Aegean, Arabian, Anatolian, Black Sea and Eurasian plates. This area was studied by the method of seismotectonic deformations (STD). The STD calculation was performed on the basis of the approaches proposed in the works of Yu.V. Riznichenko and S.L. Yunga. STD directionality studies are based on data on focal focal mechanisms of 807 earthquakes that occurred in the period from 1976 to 2023. The intensity of the STD in the area of earthquakes on February 6, 2023, taking into account these earthquakes, is $1.34 \cdot 10^{-6}$ /year, and the background intensity for the entire observation period (1900-2022) was about $-10 \cdot 10^{-10}$ /year. According to STD maps, the directions of shortening axes were determined, which varies from submeridian in the east to sublatitudinal in western Turkey, and a variety of deformation conditions in the study area was noted. For the most part, Turkey is dominated by a horizontal shear regime (eastern and central part), a transitional regime from extension to horizontal shear, and an extensional regime (western and southern part). The area of the lake Wang is characterized by the mode of transpression. Based on the STD tensors, the distributions of the Lode-Nadai coefficient, the vertical component, are constructed. The directions of shortening and elongation axes are compared on the basis of seismic and GNSS data.

The work was carried out within the framework of the state task of the IPE RAS.

3.18 Space Weather Phenomena And Their Trigger Effects Over Earth Seismic And Volcanic Activity

Komitov B.P.¹, Kaftan V.I.²

¹ *BAS -Institute of Astronomy*

² *RAS -Geophysical Center*

In the present study evidences that the space weather phenomena could to play a trigger mechanisms role for a significant part of Earth's seismic and volcanic events is given. A few types of data for statistical analysis has been used:

1. The whole volcanic events data set for the last 470 years since 1550 to 2020 AD (6215 eruptions with volcanic eruptive index $VEI=>0$);

2. The USGS catalog for the strong earthquakes ($M=>5.8$) since 1958 AD;

3. The full data set for solar X-ray flare activity and related to them other solar and geophysical events from NASA/NOAA STP –server since 1958 AD;

4. Catalog of the whole information for the observed sunspot groups since 1874 and up to 2023 AD;

5. Historical descriptions for the strongest earthquakes in the region of Balkan peninsula in the end of 19th and the beginning of 20th century.

6. The Schove's series as an historical indirect proxy of solar activity for the 16th and 17th centuries.

The strong solar flares and related to them solar proton events (SPE), coronal mass ejections (CME) and solar wind and interplanetary magnetic field (IMF) variations as a primary ,related to solar activity sources are consider. Geophysical events such as sudden ionosphere disturbances (SID), radiation storms, ground level enhancements, geomagnetic storms and galactic cosmic rays (GCR) flux variations, which are generate due to the above mentioned phenomena, lead to significant changes of the electrical current parameters in the system “low ionosphere- stratosphere/troposphere- lithosphere”.

Thus these events could affect the concentrations, motion and spatial distribution of electrical charges in the mentioned layers. These regions, which are too sensitive to the corresponding phenomena are the terrestrial faults, where the larger part of tectonic activity (volcanic and

seismic) occurs. That's why in these regions the above mentioned solar-geophysical events could consider as a trigger mechanisms for some of the tectonic activity events. The effects are especially very clear visible for the most powerful volcanic eruptions, where the eruptive volcanic index VEI is equal to 5 or higher, There is also a similar tendency for the earthquakes. Two main peaks of strongest volcanic and seismic events in relation to the Schwabe-Wolf 's sunspot cycle has been established in our study – the first one near to sunspot cycle maxima and the second one – near to sunspot minima. The both peaks correspond to two types of primary space weather phenomena- the solar flares activity and GCR flux maxima respectively.

3.19 Statistical properties of background seismic noise on a network of seismic stations in the region of the Kamchatka peninsula and strong earthquakes

Kasimova V.A.

Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

The results of a long-term study of continuous records at a network of 27 broadband seismic stations of GS RAS in the region of the Kamchatka Peninsula, Commander Islands and Paramushir Island (background seismic noise, BSN) using the statistical parameters proposed by Dr. Sci. A.A. Lyubushin, IPE RAS, are considered. Time series of the generalized Hurst exponent, medium width of the singularity spectrum, as well as the minimum normalized entropy of the squared orthogonal wavelet coefficients and wavelet spectral exponent, calculated in the time window of one day for each seismic station were created for 2011–2023. These time series were used to construct plots and maps of the spatio-temporal distribution and time-frequency evolution diagrams of the spectral measure of the BSN statistics coherent behavior.

Spatio-temporal peculiarities of BSN statistical parameters in the regions of future sources of local earthquakes with magnitudes $M=7.2-8.3$ were detected during the period from months to the first years in a decrease the values of the medium width of the singularity spectrum, the generalized Hurst exponent, wavelet spectral exponent and in increase the minimum normalized entropy of the squared orthogonal wavelet coefficients. An increase in the value of the spectral measure of coherent behavior of the four-dimensional time series of BSN parameters was detected before the three strongest earthquakes with magnitudes at least 7.5. The differences in manifestation of the effect of spectral coherence measure increase in changes of four-dimensional time series of BSN statistical parameters constructed from data from groups of stations identified taking into account spatial configuration of the network and local seismic background under the influence of sea wave and volcanic activity were established. Revealed regularities in behavior of the BSN statistics make it possible to use presented methodology in the seismic hazard monitoring in the region of Kamchatka Peninsula

and predicting the locations of earthquakes with magnitudes of 7.5 or more.

The author is grateful to Doctors of Sciences Kopylova G.N. and Lyubushin A.A. for setting up research and useful advice.

3.20 Studies of the stress-strain state of the geoenvironment by emanation methods, for example, alpha(t)-radon transport models

Tverdyi D.A.^{1,2}, Makarov E.O.^{1,3}, Parovik R.I.^{2,1}

¹ *Kamchatka State University named after Vitus Bering*

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

³ *Kamchatka branch FSBIS FRC Unified Geophysical Service of the
RAS*

Continuous monitoring of variations in radon volumetric activity in order to search for its anomalous values preceding seismic events is one of the effective methods for studying the stress-strain state of the geoenvironment. The Cauchy problem is proposed, which describes the transport of radon, taking into account its accumulation in the chamber and the presence of the geo-environment memory effect. The model equation is a nonlinear differential equation with non-constant coefficients with a derivative in the sense of Gerasimov-Caputo of a fractional variable order. It is shown that due to the order of the fractional derivative, as well as the quadratic nonlinearity in the model equation, the results of numerical simulation give a better approximation of the experimental data of radon monitoring than by classical models. This indicates that the hereditary alpha(t)-model of radon transport is more flexible, which makes it possible to describe various anomalous variations in the values of radon volumetric activity due to the stress-strain state of the geoenvironment.

The research was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation MD-758.2022.1.1 on the topic "Development of mathematical models of fractional dynamics in order to study oscillatory processes and processes with saturation".

3.21 The reason for abnormal behavior of animals that use the soil and surface air for breathing prior to the earthquake

Rulenko O.P.

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS

Since ancient times, numerous evidence for abnormal behavior of wild and domestic animals before earthquakes has been known. The nature of the biological precursor is not clearly understood. The paper considers the cause of abnormal behavior of the animals that use soil and surface air for breathing like snakes, lizards, mice and rats living in burrows, as well as cats, dogs, horses, cows, etc., who use the air coming out of the soil for breathing. Amazing stories of their abnormal behavior before earthquakes are described in scientific and popular science papers.

Before earthquakes, the volumetric activity of radon and thoron in the soil air increases that lead to the rise of both the intensity of ion formation and the concentration of small positive and negative ions. The negative ions whose mobility and diffusion coefficient is greater than that of positive ones, are absorbed more strongly on the huge total surface of the pore walls in the soil. Therefore, the excess of positive ions, which is known in atmospheric electricity, increases in the soil air and in the air coming out of the soil. Various researchers have revealed that the increase of positive air ions concentration in the body of animals, including humans, increases serotonin concentration. Serotonin (5-hydroxytryptamine) is a powerful and universal neurohormone that significantly influences endocrine, metabolic and neurological processes and plays an important role in nervous impulses transmission. It increases nervous irritability and motor activity of the mentioned animals and causes their abnormal behavior before earthquakes.

Авторский указатель

- Акбашев Р.Р., 25, 88, 124
Александров Д.В., 114
Антонюк Г.И., 67, 89, 108
Аронов А.Г., 81
Аронов Г.А., 81
Арора К., 64
- Базилевская Г.А., 60
Балабин Ю.В., 36, 37
Балугин Н.В., 52
Бахарева Л.Т., 105
Белослюдцев О.М., 116
Бенгард А.В., 62
Бенгин В.В., 67, 89, 108
Беспалов П.А., 71, 79
Бессараб Ф.С., 35
Богданов В.В., 110, 117
Богомолов А.В., 89
Богомолов В.В., 67, 89
Богомолов Л.М., 66, 96, 112
Борков Ю.Г., 24
Борчевкина О.П., 35
Бочковский Д.А., 41–43, 52
Будилова Е.А., 88
- Варзарь Л.С., 54
Васькин В.А., 66, 84
Виляев А.В., 105, 116
Водинчар Г.М., 87, 91
Волков В.А., 114
- Гаврилов Б.Г., 107
Гаврилов Н.М., 46
Гвоздарев А.Ю., 23, 64, 78, 93
Гвоздецкий Б.Б., 37
Германенко А.В., 37
Гнитеева О.С., 76
Головачев С.П., 114
- Гранкин Д.В., 60
Громова Л.М., 85
Гросс Р.П., 29
Гуляков С.А., 96
- Дейчули В.М., 45
Диденко К.А., 39, 46
Доленко С.А., 101
Дружин Г.И., 25, 51
Дубров М.Н., 114
Дударенок А.С., 28
Дудченко И. П., 96
Дэспирак И.В., 73, 82, 85
- Ермакова Т.С., 39, 46
- Жаравина П.Д., 71
Жижин М.Н., 80
Жильченко К.С., 89
- Закупин А.С., 120
Золотарев И.А., 67
Золотарев И.А., 89, 108
Зубов В.А., 56
- Иванов А.К., 54
Июдин А.Ф., 67, 89
- Казаков Е.А., 51, 74
Казанцева О.В., 78
Калегаев В.В., 55, 89, 101
Карманов Д.Е., 55
Касимова В.А., 131
Кафтан В.И., 129
Кендирбаева Дж.Ж., 102
Китаева А.В., 28
Китаева А.В., 45
Клейменова Н.Г., 73, 85

- Климов П.А., 67
 Ковалев А.А., 76, 93
 Ковалев И.М., 55
 Коваль А.В., 39, 46
 Кодымов А.А., 81
 Козлов В.И., 48
 Комитов Б.П., 129
 Копылова Г.Н., 121
 Короченцев В.И., 62, 77
 Костылев Д.В., 96, 112
 Костылева Н.В., 96
 Костылева Н.В., 112
 Крапивная О.Н., 28
 Курбатов Г.А., 54
 Курганов А.А., 55
 Курдяева Ю.А., 27, 29
 Кучеренко И.А., 67
 Кшевецкий С.П., 27
- Лаврентьев Н.А., 57
 Лаврентьева Н.Н., 28, 57
 Лаврентьева Н.Н., 45
 Лазюк В.М., 81
 Ларионов И.А., 66, 114
 Липеровская Е.В., 118
 Лихтенбергер Я., 51
 Любушин А.А., 121
 Любич А.А., 73, 82, 85
- Макаров Е.О., 124, 133
 Малкин Е.И., 31, 51, 88
 Малкин Е.И., 25
 Малышева Л.М., 85
 Мандрикова Б.С., 69
 Мандрикова О.В., 26, 69, 70
 Марапулец Ю.В., 66, 86
 Маричев В.Н., 41–43, 52
 Мартинес-Беденко В.А., 119
 Маурчев Е.А., 37
 Махлай Д.О., 25
 Медведев А.И., 54
- Мингазова Д.Ф., 99
 Миронов А.Д., 56
 Миронов А.Д., 60
 Миронова И.А., 60
 Михалко Е.А., 37
 Мищенко М.А., 66, 86, 96, 123
 Мрлина Я., 114
 Мутин А.А., 89
 Мягкова И.Н., 101
- Нагорский П.М., 33
 Нечаев О.Ю., 67, 108
 Новиков П.В., 43
- Оседло В.И., 67, 89, 108
- Павлов А.В., 110, 117
 Павлов И.А., 50, 54
 Падохин А.М., 50, 54
 Панов А.Д., 55
 Паровик Р.И., 31, 98, 99, 133
 Петрова Т.М., 45
 Пилипенко В.А., 119
 Подзолко М.В., 55
 Подорожный Д.М., 55
 Поклад Ю.В., 107
 Полак В., 114
 Полозов Ю.А., 70, 95
 Привезенцев А.И., 57
- Родкин М.В., 118
 Розанов Е.В., 56, 60
 Романченко И.И., 43
 Руленко О.П., 86, 134
 Рыжих В.В., 77
 Рябова С.А., 63, 126
 Ряховский И.А., 107
- Савина О.Н., 71
 Санников Д.В., 25, 51
 Сахаров Я.А., 82

Свертилов С.И., 67, 89, 108
Селиванов В.Н., 82
Семаков Н.Н., 76, 93
Сенкевич Ю.И., 123
Серафимова Ю.К., 121
Сердюков В.И., 24
Сецко П.В., 82
Сивоконь В.П., 34
Синица Л.Н., 24
Смирнов С.Э., 80
Солодов А.А., 45
Солодов А.М., 45
Солодухин И.А., 81
Солодчук А.А., 84
Стаценко Л.Г., 62
Стовбун Н.С., 96
Сулакшина О.Н., 24
Сыгчев В.Н., 112
Сычева Н.А., 127, 128
Сюэ Вей, 62

Тарабукина Л.Д., 48
Ташкун С.А., 47
Твёрдый Д.А., 31, 133
Тимченко А.В., 35
Топтунова О.Н., 39
Торгонский В.Е., 84
Торопов А.А., 33, 59
Турундаевский А.Н., 55

Учайкин Е.О., 23, 78

Фазлиев А.З., 57
Фетисова Н.В., 26
Фещенко Л.К., 87

Хаердинов Н. С., 83, 94
Холсворт Р., 25
Хомутов С.Ю., 64, 93

Цзяньцзюнь Чжу, 77

Чандрашекхар Ф., 64
Черемисин А.А., 43
Чернева Н.В., 51
Чернева В.И., 25
Чернева Н.В., 25

Шалимов С.Л., 63, 126
Шевцов Б.М., 40, 125
Шереметьева О.В., 75, 125
Широков В.А., 104
Шпак Ю.В., 77

Щербина А.О., 84

Юшков В.А., 52

Якунина Е.Н., 104
Яшин И.В., 67, 89

Author index

- Akbashev R.R., 138, 205, 242
Aleksandrov D.V., 231
Antonyuk G.I., 183, 206, 225
Aronov A.G., 197
Aronov G.A., 197
Arora K., 180
- Bakhareva L.T., 222
Balabin Yu.V., 148, 150
Balugin N.V., 168
Bazilevskaya G.A., 176
Beloslyudtsev O.M., 234
Bengard A.V., 178
Bengin V.V., 183, 206, 225
Bespalov P.A., 187, 195
Bessarab F.S., 147
Bochkovsky D.A., 154, 157, 158, 168
Bogdanov V.V., 227, 235
Bogomolov A.V., 206
Bogomolov L.M., 182, 213, 229
Bogomolov V.V., 183, 206
Borchevkina O.P., 147
Borkov Yu.G., 137
Budilova E.A., 205
- Cai Chunlin, 201
Chandrashekar P., 180
Chen Tao, 233
Cheremisin A.A., 158
Cherneva N.V., 138, 167
Cherneva V.I., 138
- Deichuli V.M., 161
Demekhov A.G., 193
Despirak I.V., 188, 198, 202
Didenko K.A., 152, 162
Dolenko S.A., 218
- Druzhin G.I., 138, 167
Dubrov M.N., 231
Dudaryonok A.S., 141
Dudchenko I.P., 213
- Ermakova T.S., 152, 162
- Fazliev A.Z., 173
Feshchenko L.K., 204
Fetisova N.V., 139
- Gavrilov B.G., 224
Gavrilov N.M., 162
Germanenko A.V., 150
Gniteeva O.S., 191
Golovachev S.P., 231
Grankin D.V., 176
Gromova L.I., 202
Gross R.P., 142
Gulyakov C.A., 213
Gvozdarev A.Y., 136, 180, 194, 210
Gvozdevsky B.B., 150
- Iskakov B.A., 245
Ivanov A.K., 170
Iyudin A.F., 183, 206
- Jianjun Zhu, 192
- Kadymau A.A., 197
Kaftan V.I., 249
Kalegaev V.V., 171, 206, 218
Karmanov D.E., 171
Kasimova V.A., 251
Kazakov E.A., 167, 189
Kazantseva O.V., 194
Kendirbaeva Zh.Zh., 219

Khaerdinov N. S., 199, 211
 Khomutov S.Y., 180, 210
 Kitaeva A.V., 141, 161
 Kleimenova N.G., 188, 202
 Klimov P.A., 183
 Komitov B.P., 249
 Kopylova G.N., 239
 Korochentsev V.I., 178, 192
 Kostylev D.V., 213, 229
 Kostyleva N.V., 213, 229
 Koval A.V., 152, 162
 Kovalev A.A., 191, 210
 Kovalev I.M., 171
 Kozlov V.I., 164
 Krapivnaya O.N., 141
 Kshevetskii S.P., 140
 Kucherenko I.A., 183
 Kurbatov G.A., 170
 Kurdyaeva Y.A., 140, 142
 Kurganov A.A., 171

 Larionov I.A., 182, 231
 Lavrentiev N.A., 173
 Lavrentieva N.N., 141, 161, 173
 Laziuk V.M., 197
 Li Lei, 160
 Lichtenberger J., 167
 Liperovskaya E.V., 236
 Lubchich A.A., 188, 193, 198, 202
 Lyubushin A.A., 239

 Makarov E.O., 242, 253
 Makhlai D.O., 138
 Malkin E.I., 138, 143, 167, 205
 Malysheva L.M., 202
 Mandrikova B.S., 185
 Mandrikova O.V., 139, 185, 186
 Marapulets Yu.V., 182, 203
 Marichev V.N., 154, 157, 158, 168
 Martines-Bedenko V.A., 237
 Mauricev E.A., 150

 Medvedev A.I., 170
 Mikhalko E.A., 150
 Mingazova D.F., 216
 Mironov A.D., 172, 176
 Mironova I.A., 176
 Mischenko M.A., 213, 241
 Mishchenko M.A., 182, 203
 Mrlina J., 231
 Mukashev K., 245
 Mutin A.A., 206
 Myagkova I.N., 218

 Nagorskiy P. M, 145
 Nechaev O.Yu., 183, 225
 Novikov P.V., 158

 Osedlo V.I., 183, 206
 Osedlo V.I., 225

 Padokhin A.M., 166, 170
 Panov A.D., 171
 Parovik R.I., 143, 215, 216, 253
 Pavlov A.V., 227, 235
 Pavlov I.A., 166, 170
 Petrova T.M., 161
 Pilipenko V.A., 237
 Podorozhny D.M., 171
 Podzolko M.V., 171
 Poklad Yu.V., 224
 Polak V., 231
 Polozov Y.A., 186, 212
 Popova T.A., 193
 Privezentsev N.A., 173

 Riabova S.A., 179, 244
 Robert H. Holzworth, 138
 Rodkin M.V., 236
 Romanchenko I.I., 158
 Rozanov E.V., 172, 176
 Rulenko O.P., 203, 254
 Ryakhovskiy I.A., 224

Ryzhikh V.V., 192
 Sadykov T.Kh., 245
 Sakharov Ya.A., 198
 Saladukhin I.A., 197
 Salikhov N.M., 245
 Sannikov D.V., 138, 167
 Savina O.N., 187
 Selivanov V.N., 198
 Semakov N.N., 191, 210
 Senkevich Yu.I., 241
 Serafimova Yu.K., 239
 Serdyukov V.I., 137
 Setsko P.V., 198
 Shalimov S.L., 179, 244
 Shcherbina A.O., 200
 Shepetov A.L., 245
 Sheremetyeva O.V., 190, 243
 Shevtsov B.M., 153, 243
 Shpak Yu.V., 192
 Shyrovkov V.A., 221
 Sinitza L.N., 137
 Sivokon V.P., 146
 Smirnov S.E., 196
 Solodchuk A.A., 200
 Solodov A.A., 161
 Solodov A.M., 161
 Statsenko L.G., 178
 Stovbun N.S., 213
 Sulakshina O.N., 137
 Svertilov S.I., 183, 206, 225
 Sychev V.N., 229
 Sycheva N.A., 247, 248

 Tarabukina L.D., 164
 Tashkun S.A., 163
 Tautayev Y.M., 245
 Timchenko A.V., 147
 Toptunova O.N., 152
 Torgonskyi V.E., 200

 Toropov A.A., 145, 175
 Turundaevsky A.N., 171
 Tverdyi D.A., 143, 253

 Uchaikin E.O., 136, 194

 Varzar L.S., 170
 Vaskin V.A., 182, 200
 Vilyaev A.V., 222, 234
 Vodinchar G.M., 204, 208
 Volkov V.A., 231

 Wang Chi, 156
 Wu Kun, 149

 Xu Jiyao, 149, 155, 156
 Xue Wei, 178

 Yahnina T.A., 193
 Yakunina E.N., 221
 Yashin I.V., 183, 206
 Yuan Wei, 149, 155
 Yushkov V.A., 168

 Zakupin A.S., 238
 Zharavina P.D., 187
 Zhilchenko K.S., 206
 Zhizhin M.N., 196
 Zhukov V.V., 245
 Zolotarev I.A., 183
 Zolotarev I.A., 206, 225
 Zubov B.A., 172

ХIII Международная конференция
**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА
ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Сборник тезисов докладов

Научный редактор: д.ф.-м.н. Марапулец Ю.В.

Ответственный редактор: к.ф.-м.н. Чернева Н.В.

Редактор: к.ф.-м.н. Ларионов И.А.

Технический редактор: к.ф.-м.н. Солодчук А.А., Иванов А.В.

Верстка оригинала-макета: к.ф.-м.н. Солодчук А.А., Иванов А.В.

Научный комитет:

János Lichtenberger (Венгрия)	Богданов В.В. (Россия)
Kusumita Agora (Индия)	Мандрикова О.В. (Россия)
Dr. Emmanuel Nahayo (ЮАР)	Сивоконь В.П. (Россия)
Dr. Battuulai Tsegmed (Монголия)	Хомутов С.Ю. (Россия)
Wei Xue (КНР)	Шевцов Б.М. (Россия)
Дмитриев А.В. (Тайвань)	Сенкевич Ю.И. (Россия)

Издательство Института космофизических исследований и
распространения радиоволн ДВО РАН
684034, Камчатский край, Елизовский район,
с. Паратунка, ул.Мирная, д. 7
Тел.: 8 (41531) 33193

ISBN 978-5-6045275-2-8



Утверждено к печати Ученым советом
Института космофизических исследований и
распространения радиоволн ДВО РАН.
Протокол № 9 от 14.09.2023.

Формат 60x84/16, бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 12.21.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Камчатпресс».